UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS
JOSÉ FERNANDO MOURA ROCHA

ORIGEM E EVOLUÇÃO DO CURSO DE FÍSICA, LICENCIATURA, NOTURNO, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA:

O Caso das Disciplinas Física Básica III e Física Básica IV

Salvador - BA
2014

JOSÉ FERNANDO MOURA ROCHA

ORIGEM E EVOLUÇÃO DO CURSO DE FÍSICA, LICENCIATURA, NOTURNO, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA:
O Caso das Disciplinas Física Básica III e Física Básica IV

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Aurino Ribeiro Filho

Salvador - BA

2014

Rocha, José Fernando Moura.
Origem e evolução do curso de física, licenciatura, noturno, da Universidade Federal da Bahia : o caso das disciplinas física básica III e física básica IV / José Fernando Moura Rocha. - 2014.
711 p.: il.

Inclui apêndices e anexos.
Orientador: Prof. Dr. Aurino Ribeiro Filho.
Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2014.

1. Física - História. 2. Física - Estudo e ensino. 3. Licenciatura. I. Ribeiro Filho, Aurino. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Física. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDD - 530.09
CDU - 53(091)

JOSÉ FERNANDO MOURA ROCHA

ORIGEM E EVOLUÇÃO DO CURSO DE FÍSICA, LICENCIATURA, NOTURNO, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA:
O Caso das Disciplinas Física Básica III e Física Básica IV

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências como requisito para a obtenção do título de Doutor.

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr. Ademir Eugênio de Santana _____
Universidade de Brasília

Dr. Aurino Ribeiro Filho _____
Universidade Federal da Bahia

Dr. Elder Sales Teixeira _____
Universidade Estadual de Feira de Santana

Dr. José Ernane Carneiro Carvalho Filho _____
Universidade Estadual da Bahia

Dr. Micael Dias de Andrade _____
Universidade Federal da Bahia

Dra. Nice Maria Americano da Costa _____
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dr. Raimundo Muniz Teixeira Filho _____
Universidade Federal da Bahia

Aprovado em 10 / 06 / 2014

Aos alunos, pelo que significaram neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto não seria possível sem a participação dos alunos. Agradeço com imensa satisfação a todos os alunos que participaram das discussões realizadas em sala de aula e sou grato também aos incentivos continuados que me foram transmitidos. Sinto não poder citar o nome de cada um para expressar meu reconhecimento, mas insisto em agradecer especialmente àqueles que colaboraram diretamente, respondendo a questionários ou participando de entrevistas sobre os temas aqui tratados. A colaboração dos funcionários da UFBA também foi fundamental, mas, da mesma forma, não há como relacionar o nome de cada servidor sem correr o risco de cometer injustiça. Não é demais, entretanto, citar os órgãos da UFBA onde obtive as informações que procurava. Agradeço aos servidores do Instituto de Física, da Faculdade de Filosofia, do Instituto de Matemática, da Escola Politécnica, do Instituto de Geociências, da Pró-Reitoria de Planejamento e Orçamento - Setor de Informação e Documentação, e da Secretaria Geral de Cursos, especialmente dos Setores de Diploma e de Currículo. Não poderia deixar de agradecer também a colaboração de ex-alunos, ex-funcionários e ex-professores do Instituto de Física e da UFBA e ainda aos colegas professores que me incentivaram e colaboraram diretamente para a realização deste trabalho, inclusive concedendo entrevistas. Finalmente, agradeço ao Professor Aurino Ribeiro Filho pelas ideias sugeridas e segurança transmitida na orientação desta tese.

RESUMO

Este trabalho narra o processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, turno noturno, da Universidade Federal da Bahia, e discute as inovações trazidas pela sua matriz curricular, tudo precedido de um breve relato da origem e evolução do Curso de Física, diurno, desta Universidade. Dentre estas inovações, encontra-se a criação de quatro novas disciplinas, denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV, oferecidas paralelamente às tradicionais Físicas Gerais e Experimentais, destinadas a alunos dos dois primeiros anos dos cursos universitários da área de ciências exatas. Apesar da importância dessas quatro disciplinas, o foco deste trabalho foi voltado especialmente para o relato histórico dos cursos ministrados através das disciplinas Física Básica III e IV, em razão do papel desempenhado pelas mesmas na consolidação do projeto das Físicas Básicas e pelo fato do autor desta tese as ter ministrado por vários semestres, desde a instalação do curso noturno, em 1999.

A narrativa foi desenvolvida em seis capítulos. No primeiro, foi feito um breve relato das origens históricas do Curso de Física, diurno, desde a sua criação, em 1941, seguido, no Capítulo 2, por uma descrição do processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Nestes dois primeiros capítulos, foram incluídos dados estatísticos do desempenho desses cursos (diurno e noturno), desde sua criação, especialmente aqueles referentes ao número de alunos matriculados e ao número de alunos concluintes a cada ano. Os dois capítulos seguintes foram dedicados ao relato histórico dos cursos ministrados nas disciplinas Física Básica III e IV e, no Capítulo V, foi narrada a repercussão dos seus resultados na formação dos alunos graduados pelo Curso de Física, Licenciatura, noturno.

A narrativa do processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, e o breve relato da origem e evolução do Curso de Física, diurno, foram baseados em dados obtidos de fontes documentais primárias e secundárias, enquanto a repercussão da criação da Licenciatura, noturno, e das inovações incluídas na sua matriz curricular, foi baseada, principalmente, em fontes documentais construídas através da metodologia da *história oral*. A escolha dessa metodologia se

justificou por dois motivos: primeiro, em razão de haver poucos documentos a respeito da repercussão das inovações introduzidas pela matriz curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno; segundo, pelo fato da história oral representar a possibilidade de se ouvir “outras versões” sobre a repercussão de tais inovações, que não aquelas apoiadas apenas nas concepções tradicionais de ensino universitário de Física. O último capítulo foi reservado a um resumo dos aspectos principais das narrativas dos Capítulos I e II e a uma síntese das opiniões avaliativas de alunos e professores sobre os resultados acadêmicos obtidos com as inovações incluídas na matriz curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno.

Ao final, foi evidenciado que a proposta curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno, se revelou bem sucedida, o que foi reforçado pela recente decisão do Instituto de Física de incluir no novo currículo do Curso de Física, diurno, as ideias básicas da matriz curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno, especialmente a ideia das Físicas Básicas, uma proposta inovadora, só existente na Universidade Federal da Bahia.

Palavras-chave: história da física, ensino de física, curso de física, licenciatura em física.

ABSTRACT

This work relates the process of creation and development of the night-time teacher training Physics Program at undergraduate level, at the Federal University of Bahia and it discusses the innovations brought by its curriculum, preceded by a brief account of the origin and evolution of the day-time Physics Program, in this University. Among these innovations is the creation of four new disciplines, called Basic Physics I, II, III and IV, offered alongside the traditional General and Experimental Physics, designed for students of the first two years of college courses in the field of exact sciences. In spite of the importance of these four subjects, the focus of this study was especially directed to the historical account of the courses offered across disciplines Basic Physics III and IV, due to their importance in the consolidation project of the Basic Physics and because the author of this thesis had taught them for several semesters, since the start of the evening course, in 1999.

The narrative was developed in six chapters. In the first, we made a brief account of the historical origins of the day-time Physics Program, since its inception in 1941, followed, in Chapter 2, by a description of the process of creation and development of the night-time Physics Program focusing on teacher training. In these first two chapters, the statistical performance of the courses (day and night period) over time were included, especially those regarding the number of students enrolled and the number of students graduating each year. The following two chapters were devoted to presenting the historical account of the courses taught in the Basic Physics III and IV subjects, and, in the Chapter V, the impact of their results in the formation of graduation students from the teacher training Physics Program, working during the night period, was narrated.

The narrative of the creation and development of the night-time teacher training Physics Program, focusing on teacher training and a brief account of the origin and evolution of the *Physics Course,* working during the day period, were based on datas obtained from primary and secondary documentary sources, while the impact of the creation of the Physics Course, in the teacher training modality, working during night period, and innovations included in its curriculum was based mainly on documentary

sources constructed using the methodology of the oral history. The choice of this methodology is justified for two reasons: first, because there are few documents about the impact of the innovations introduced by the curriculum of the Physics Course, in the teacher training modality, working during the night period and, second, because the oral history represents the possibility of listening "other versions" about the effects of such innovations, not just those ones supported in the traditional conceptions of university physics. The last chapter is reserved for a summary of the main aspects of the narratives of Chapters I and II and a summary of evaluative opinions of students and teachers about the academic results obtained in this work.

At the end, it became clear that the curriculum of the night-time teacher training Physics Course proved successful, which was reinforced by the recent decision of the Institute of Physics about the inclusion of the basic ideas of the curriculum of night-time Physics Program, in new curriculum of day-time Physics Program, especially the idea of Basic Physics, an innovative proposal, only existing at the Federal University of Bahia.

Keywords: history of physics, physics teaching, physics course, training course physics professor.

PUBLICAÇÕES

Trabalhos publicados, ou submetido a publicação, relacionados com as disciplinas Físicas Básicas III e/ou IV.

1) ROCHA**,** J. F. M. e RIBEIRO FILHO, A. **Ideação**, Feira de Santana, n. 3, p. 101-129, jan/jun.1999.

2) CARVALHO NETO, R. A. de, FREIRE JÚNIOR, O. e ROCHA, J. F. M. **Ideação***,* Feira de Santana, n. 3, p. 51-68. Jan/jun. 1999

3) ROCHA, J. F. M. (org.) *et al*. **Origens e Evolução das Ideias da Física.** Salvador, Editora EDUFBA, 2002**.** Número de págs.: 372.

4) ROCHA, J. F. M., "Origem e Evolução do Eletromagnetismo". In: **Origens e Evolução das Ideias da Física** (Capítulo III). ROCHA, J. F. M. (org.). Salvador, Editora EDUFBA, 2002, p. 182-281.

5) WELTNER, K., EXPERIDIÃO, A. S. C., MIRANDA, P. e ROCHA, J. F. M, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 258-269, agosto, 2004.

> Artigo selecionado pelos editores e republicado numa *Edição Especial* do Caderno Catarinense de Ensino de Física: v. 21, p. 227-238, de novembro de 2004.

6) WELTNER, K.; ESPERIDIÃO, A. S. C.; MIRANDA, P.; ROCHA, J. F. M. *Das Schwerependel als empfindlicher Kraftmesser*. **Der Mathematische Und Naturwissenschftiche Unterrich**t, Alemanha, v. 56, n. 5, p. 278-279, 2003.

7**)** ROCHA**,** J. F. M. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 1604 (2009) – “O conceito de ´campo` em sala de aula – uma abordagem histórico-conceitual”, p. 1604-1617.

8) ROCHA, J. F. M. **Ciência Hoje**, n. 284, vol. 48, p. 72-74, agosto de 2011 – Título: “Sem Resistência”.

9) ROCHA, J. F. M. **Ciência Hoje**, n. 290, vol. 49, p. 4, março de 2012 – Título: “Por que prata, cobre e ouro, bons condutores de eletricidade, não apresentam supercondutividade?”.

10) ROCHA, J. F. M.; MORENO, R. R. de M. **Ciência Hoje**, n. 305, vol. 51, p. 58-59, julho de 2013. Título: “O Átomo Quântico”.

11) ROCHA, J. F. M. “O conceito ´*dualidade onda-partícula*` em sala de aula”. Em processo de submissão para publicação, desde dez/2012.

Resumo completo

12) WELTNER, Klaus; ESPERIDIÃO, Antonio Sérgio C; MIRANDA, Paulo; **ROCHA, J. F. M.** Das Schwerependel als empfindlicher Kraftmesser. In: Auberschulisches Lernen in Physik und Chemie, 2003, Hamburg. Gesellshafttur Didaktik der Chemie und Physik (GDCP), 2003. v. 23, p. 280-282.

Resumos

13) FREIRE JR.; O, CARVALHO NETO, R. A; **ROCHA, J. F. M;** VASCONCELOS, M.J.L; SOCORRRO, M; ANJOS, E. L. *Introducing Quantum Physics in Secondary School*. In: Third International, Philosophy and Science teaching conference, 1995, Minnesota, v. 1, p. 412-419.

14) ROCHA, J. F. M.; MIRANDA, R. C. de M.; MIRANDA, P.; PREGNOLATTO, Y. H. *Curso Noturno de Licenciatura em Física/UFBa; Uma Nova Proposta*. In: XIII Encontro Nacional de Ensino de Física, 1999. Brasília. **Caderno de Resumos e de Programação**, 1999, p. 38.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Oscilação da evasão do curso de física no período de 1972 a 1988 34
Figura 2 – Solenidade da fundação da sociedade civil Faculdade de Filosofia da Bahia 41
Figura 3 – Gabinete de Física da Faculdade de Filosofia da Bahia 41
Figura 4 – Casarão onde foi instalada a antiga Faculdade de Filosofia da Bahia 42
Figura 5 – Parte do Edital do primeiro “Concurso de Habilitação” (Vestibular), da FFBA 43
Figura 6 - Casarão onde funcionava a Escola Politécnica antes de ser transferida para o bairro da Federação 44
Figura 7 – Edifício Canela, na Rua Marechal Floriano, onde foi instalado o Instituto de Matemática e Física, em 1960 45
Figura 8 – Entrada principal do prédio atual da Escola Politécnica 53
Figura 9 – Prédio do antigo Centro de Processamento de Dados da UFBA, onde também funcionou o antigo Departamento de Física do IMF 54
Figura 10 – Casas, na Rua João das Botas, onde também funcionou o Instituto de Matemática e Física e seu Departamento de Matemática 54
Figura 11 – Casarão onde funcionou o antigo Instituto de Matemática e Física e também o Departamento de Matemática, deste Instituto 55
Figura 12 – Visão da entrada principal do prédio do Instituto de Física da UFBA 59
Figura 13 – Capa do livro *Origens e Evolução das Idéias da Física* 122
Figura 14 – Capa da revista *Ideação*, onde foi publicado o artigo intitulado *Aspectos históricos-conceituais da Física no ensino pré-universitário – o caso do eletromagnetismo e da Mecânica Quântica* 123
Figura 15 – Capa da revista “Caderno Brasileiro de Ensino de Física”, onde foi publicado o artigo *O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível* 124

Figura 16 – Capa da edição especial da revista “Caderno Brasileiro de Ensino de Física”, onde foi republicado o artigo *O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível* 124
Figura 17 – Capa da “Revista Brasileira de Ensino de Física”, onde foi publicado o artigo intitulado *O conceito de ´campo` em sala de aula* 125
Figura 18 – Capa da revista “Ciência Hoje”, onde foi publicado o artigo sobre supercondutividade, com o título: “Sem Resistência” 125
Figura 19 – Capa da revista “Ciência Hoje”, onde foi publicado um curto artigo sobre supercondutividade 126
Figura 20 – Ilustração do experimento de Biot e Savart 144
Figura 21 – Esquema mostrando o fio inclinado no experimento de Biot e Savart 145
Figura 22 - Arranjo experimental da balança de Ampère referida no artigo *O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível para medir forças eletromagnéticas* 147
Figura 23 – Representação esquemática da montagem de um experimento de Faraday 149
Figura 24 – Parte de uma página do diário de Faraday 149
Figura 25 – Gerador eletromagnético construído em 1832 150
Figura 26 - Representação esquemática do experimento da câmara escura e do experimento de difração por uma fenda 174
Figura 27 – Experimento com duas velas em dois copos 176
Figura 28 – Representação de uma peça em madeira, mostrando uma cicloide para a discussão do problema da braquistócrona 179
Figura 29 – “Primeiro Experimento” de Grimaldi 181
Figura 30 – “Segundo Experimento” de Grimaldi 181
Figura 31 – Arranjo experimental para a obtenção dos picos de difração 185
Figura 32 - Esquema mostrando a analogia entre óptica geométrica e mecânica clássica e entre óptica física e mecânica quântica 189

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Programas de Pós-Graduação no Instituto de Física da UFBA 52
TABELA 2 - Matrícula no Curso de Graduação em Física – UFBA – Salvador - período 1952-1968 57
TABELA 3 - Conclusão de Curso de Graduação - Física – UFBA – Salvador - período 1955-1968 57
TABELA 4 - Relação candidatos-vaga no Vestibular de Física – UFBA – período 1996-2011 95
TABELA 5 - Matrícula no Curso de Física – Graduação - UFBA - Salvador - - período 1952-2011 107
TABELA 6 - Conclusão de Curso - Física – Graduação UFBA – Salvador – Licenciatura e Bacharelado - período 1955-2011 109
TABELA 7 - Cursos de Física, Licenciatura e Bacharelado, existentes na Bahia, no ano de 2011 112
TABELA 8 – Desempenho dos alunos matriculados em Física Básica III, nos últimos 12 anos 162
TABELA 9 – Desempenho dos alunos matriculados em Física Básica IV, nos últimos 12 anos 201

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matrícula no Curso de Física, diurno, da UFBA – Salvador – 1952-1968 58
Gráfico 2 – Concluintes do Curso de Física, diurno, da UFBA – Salvador – 1952-1968 58
Gráfico 3 – Candidatos-vaga no vestibular de Física – UFBA – Salvador 95
Gráfico 4 – Matrícula no Curso de Física, diurno, da UFBA – Salvador – 1952-2011 96
Gráfico 5 – Matrícula nos cursos de Física, diurno e noturno, da UFBA – Salvador – 1952-2011 97
Gráfico 6 – Matrícula nos cursos de Física, soma do diurno e noturno, da UFBA – Salvador – 1952-2011 97
Gráfico 7 – Concluintes no Curso de Física, diurno, da UFBA – Salvador – 1952-2011 99
Gráfico 8 – Concluintes nos cursos de Física, diurno e noturno, da UFBA – Salvador – 1952-2011 99
Gráfico 9 – Concluintes nos cursos de Física, soma do diurno e noturno, da UFBA – Salvador – 1952-2011 100
Gráfico 10 – Matrícula no Curso de Física, diurno, da UFBA – Salvador – 1989-1996 101
Gráfico 11 – Concluintes do Curso de Física, diurno, da UFBA – Salvador – 1994-1998 101

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Docentes de Física do Instituto de Física da UFBA – 1969 61
QUADRO 2 – Ementa da disciplina Física Básica I 81
QUADRO 3 – Ementa da disciplina Física Básica II 89
QUADRO 4 – Ementa da disciplina Física Básica III 114
QUADRO 5 – Ementa da disciplina Física Básica IV 165

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CECIBA	Centro de Ensino de Ciências da Bahia
CFE	Conselho Federal de Educação
CNE/CP	Conselho Nacional de Educação/Conselho Pleno
FFBA	Faculdade de Filosofia da Bahia
FFCH	Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas
FFCL	Faculdade de Filosofia Ciências e Letras
FFUBA	Faculdade de Filosofia da Universidade da Bahia
FNF	Faculdade Nacional de Filosofia
IFBA	Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia
IFUFBA	Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia
IMF	Instituto de Matemática e Física
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LDBEN	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PROTAP	Programa de Treinamento e Aperfeiçoamento de Professores de Ciências Experimentais e Matemática
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UBA	Universidade da Bahia
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
UESC	Universidade Estadual de Santa Cruz
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFPe	Universidade Federal de Pernambuco
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRB	Universidade Federal do Recôncavo Baiano
UFRPe	Universidade Federal Rural de Pernambuco

UFSM/RS	Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul
UnB	Universidade de Brasília
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 25

CAPÍTULO 1 - ORIGENS HISTÓRICAS DO CURSO DE FÍSICA, DIURNO, NA UFBA 39

1.1 O Curso de Física, diurno, e a antiga Faculdade de Filosofia da Bahia 39

1.2 O Curso de Física, diurno, e o antigo Instituto de Matemática e Física da Universidade da Bahia (UBA) … 44

1.3 O Curso de Física, diurno, e o atual Instituto de Física da UFBA 59

1.4 Síntese da história do Curso de Física nas três décadas seguintes à sua criação 63

CAPÍTULO 2 - A CRIAÇÃO DO CURSO DE FÍSICA, LICENCIATURA, NOTURNO 67

2.1 Um pouco de história 67

2.2 A necessidade da criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno 69

2.3 Caracterização do currículo do Curso de Física, Licenciatura, noturno 72

2.4 Por que criar as Físicas Básicas? 77

2.5 A proposta das Físicas Básicas 78

2.6 A implantação das Físicas Básicas 80

2.6.1 As diferentes propostas de abordagem de conteúdo 80

2.6.2 A disciplina Física Básica I em sala de aula - a recepção dos alunos 83

2.6.3 A disciplina Física Básica II em sala de aula – a recepção dos alunos 89

2.7 O Curso de Física, Licenciatura, noturno, nos seus primeiros anos 92
2.8 Diplomação de alunos nas universidades baianas no período 1997-2011 103
2.9 A recente reforma curricular e a incorporação das Físicas Básicas ao Curso de Física, diurno 104

CAPÍTULO 3 - FÍSICA BÁSICA III – ELETROMAGNETISMO: A HISTÓRIA DE UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO (2000-2012) 113

3.1 Objetivos da disciplina Física Básica III 113
3.2 A natureza da disciplina 115
3.3 As dificuldades na implantação 117
3.4 A produção de material didático 121
3.5 A abordagem do conteúdo 127
3.6 A receptividade dos alunos 152
3.7 O processo de ensino e os resultados de Física Básica III 153

CAPÍTULO 4 - FÍSICA BÁSICA IV – ÓPTICA E FÍSICA MODERNA: A HISTÓRIA DE UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO (2000-2011) 165

4.1 Objetivos da disciplina Física Básica IV 166
4.2 A natureza da disciplina 166
4.3 As dificuldades na implantação 167
4.4 A produção de material didático 171
4.5 A abordagem do conteúdo 173
4.5.1 Os fenômenos de reflexão, refração, difração, interferência, polarização 176
4.5.2 Planck, Einstein, L. de Broglie, Schrödinger, … 184
4.6 A receptividade dos alunos 190

4.7 O processo de ensino e os resultados de Física Básica IV 191

CAPÍTULO 5 - REPERCUSSÃO E ORALIDADE 203

5.1 História Oral 203

5.2 A criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, na visão de alguns docentes do IFUFBA 209

5.3 O projeto das Físicas Básicas na percepção de alguns docentes do IFUFBA 213

5.3.1 As Físicas Básicas III e IV: relato e opiniões avaliativas de docentes 219

5.3.1.1 A disciplina Física Básica III e o Professor Raimundo Muniz Teixeira Filho 219

5.3.1.2 A disciplina Física Básica IV e o Professor Olival Freire Júnior 221

5.3.1.3 A repercussão das Físicas Básicas nas disciplinas Metodologia e Prática de Ensino de Física I e II 222

5.3.2 As Físicas Básicas III e IV: relato e opiniões avaliativas de discentes..... 225

5.3.3 Síntese das reflexões e opiniões dos docentes..... 254

5.3.4 Síntese das reflexões e opiniões dos discentes..... 258

5.3.5 Análise das opiniões avaliativas de docentes e discentes 267

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS 273

REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS 287

APÊNDICES 297

Apêndice 1 - Os modelos curriculares de formação dos licenciados 299

Apêndice 2 – Considerações históricas sobre o ensino de ciências 310

Apêndice 3 – Textos complementares (1 a 13) para Física Básica III 319

Apêndice 4 – Textos complementares (1 a 13) para Física Básica IV 391

ARTIGOS 493

Artigo 1 - "O conceito de ´campo` em sala de aula" 497
Artigo 2 - "O conceito ´dualidade onda-partícula` em sala de aula" 517

ANEXOS 549

Anexo 1: Entrevistas 551

Anexo 1.A – Entrevista com o Prof. Dr. Olival Freire Júnior 553
Anexo 1.B – Entrevista com o Prof. Dr. Raimundo Munis Teixeira Filho 567
Anexo 1.C – Entrevista com o Prof. Dr. Arthur Matos Neto 575
Anexo 1.D – Entrevista com a Profa. Dra. Maria Cristina Martins Penido 589
Anexo 1.E – Entrevista com o licenciado Daniel de Sento Sé 601
Anexo 1.F - Entrevista com o licenciado/bacharel Maroívo Pereira Caldeira 607
Anexo 1.G – Entrevista com o licenciado Fábio Luís Alves Pena 615
Anexo 1.H – Entrevista com o licenciado Alexnaldo Menezes de de Castro Neves 625
Anexo 1.I – Entrevista com o licenciado/bacharel Alessandro Silva de Barros 631
Anexo 1.J – Entrevista com a licenciada Ioná Almeida de Brito 637
Anexo 1.K – Entrevista com o licenciado Cleber de Souza Silva 643
Anexo 1.L – Entrevista com o licenciando Marcelo da Hora Rosado 649
Anexo 1.M - Entrevista com o licenciando Luís Henrique Santana Silva 655

Anexo 2: Anexos Diversos 661

Anexo 2.A - Programa da disciplina Física Geral e Experimental – de

meados da década de 1950 – para cursos da Faculdade de Filosofia, 1ª série 663
Anexo 2.B – Programa da disciplina Física Teórica – Teoria Eletromagnética – 1957 – Curso de Física, 3ª série 665
Anexo 2.C – Programa da disciplina Mecânica Superior – 1957 – Curso de Física, 3ª série 667
Anexo 2.D – Programa da disciplina Física Superior – Introdução à Teoria Quântica - 1957 - Curso de Física, 3ª série 669
Anexo 2.E – Programa da disciplina Geometria Superior – 1954 – Cursos de Física e Matemática, 3ª série 671
Anexo 2.F – Programa da disciplina Física Matemática – 1958 – Cursos de Física e Matemática, 4ª série 673
Anexo 2.G – Programa da disciplina Física Básica I 675
Anexo 2.H – Programa da disciplina Física Básica II 677
Anexo 2.I – Programa da disciplina Física Básica III 679
Anexo 2.J – Programa da disciplina Física Básica IV 681
Anexo 2.K - Texto para divulgação do Curso de Física – Licenciatura, noturno, enviado às escolas no ano de 1998 683
Anexo 2.L - Boletim Informativo do Instituto de Física – publicação interna 685
Anexo 2.M - Questionário para acompanhamento e avaliação da disciplina Física Básica III, usado no semestre 2000.1 687
Anexo 2.N – "Questionário utilizado no primeiro semestre de 2012 para coletar as opiniões dos alunos de Física Básica III 689
Anexo 2.O – Edital do primeiro "Concurso de Habilitação" para o Curso de Física 691
Anexo 2.P - Aspectos legais relativos ao currículo do Curso de Licenciatura em Física, implantado em 1963 695
Anexo 2.Q – Comparação da estrutura curricular do Curso de Física da FNF (RJ) com a do Curso de Física da FFCL (SP) 697
Anexo 2.R - Fluxograma do Curso de Licenciatura em Física, diurno, para alunos ingressos no ano de 2011 699

Anexo 2.S – Matriz curricular do Curso de Licenciatura em Física, diurno, para alunos ingressos no ano de 2011 701
Anexo 2.T – Fluxograma do Curso de Bacharelado em Física, diurno, para alunos ingressos no ano de 2011..... 703
Anexo 2.U - Matriz curricular do Curso de Bacharelado em Física, diurno, para alunos ingressos no ano de 2011 705
Anexo 2.V – Quadro de Equivalência entre componentes novos e antigos / reformulação curricular 2013 707
Anexo 2.W – Ementas das disciplinas Conceitos de Física A, B, C e D. 709
Anexo 2.X – Disciplinas do “núcleo comum” dos novos currículos dos cursos de Física 711

INTRODUÇÃO

Nosso objetivo neste trabalho é narrar o processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, da Universidade Federal da Bahia, discutindo as inovações trazidas pela sua matriz curricular, com atenção especial para as Físicas Básicas III e IV, tudo precedido por um breve relato da origem e evolução do Curso de Física, diurno, desta Universidade. A escolha deste tema foi motivada pela rica experiência vivida por este curso de graduação, impulsionada por inovações que, entre outros pontos importantes, incluía a criação de quatro novas disciplinas, denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais e Experimentais, destinadas aos alunos da área de ciências exatas, inclusive alunos de Licenciatura em Física. Apesar da importância dessas quatro novas disciplinas, o propósito desta tese é destacar o papel desempenhado pelas duas últimas (Físicas Básicas III e IV) no processo de consolidação das Físicas Básicas, em razão do autor as ter ministrado por vários semestres, ao longo de 12 anos.

Neste trabalho, a narrativa do processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, e o breve relato da origem e evolução do Curso de Física, diurno, foram baseados em dados obtidos de fontes documentais primárias e secundárias, enquanto a repercussão da criação da Licenciatura, noturno, e das inovações incluídas na sua matriz curricular, foi baseada, principalmente, em fontes documentais construídas através da metodologia da *história oral*, cuja fonte primária de dados é a memória, referenciada pelo discurso como fonte. A escolha dessa metodologia se justificou por dois motivos: primeiro, em razão de haver poucos documentos a respeito da repercussão das inovações introduzidas pela matriz curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno; segundo, pelo fato da história oral representar a possibilidade de se ouvir “outras versões” sobre a repercussão de tais inovações, que não aquelas apoiadas apenas nas concepções tradicionais de ensino universitário de Física.

Do ponto de vista historiográfico, história oral não se confunde com gravação de entrevista. De acordo com Meihy e Ribeiro (2011, p. 12):

> História oral é um conjunto de procedimentos que se iniciam com a elaboração de um projeto e que continua com a definição de um grupo de pessoas a serem entrevistadas.

Observa-se, portanto, que a metodologia da história oral privilegia a formulação do um projeto como *ato fundador*, entendendo-se por projeto (MEIHY; RIBEIRO, 2011, p. 13):

> o plano capaz de articular argumentos operacionais de ações desdobradas de planejamentos de pesquisas prévias sobre algum grupo social que tem algo a dizer. Pode-se afirmar que *sem projeto não há história oral*. Um projeto funciona como mapa da pesquisa (...).

Ainda de acordo com Meihy e Ribeiro (2011, p. 12), em história oral, as entrevistas devem ser gravadas como parte de uma proposta orientada para produzir efeitos e devem ser entendidas como:

> encontros planejados, gravados por diferentes mídias, decorrentes de projetos exercitados de maneira dialógica, ou seja, com perguntas/estímulos e respostas. As entrevistas devem permitir mais do que dados informativos, devem permitir entender situações propostas como problemáticas, com versões diferentes ou desconhecidas de fatos, ocorrência ou visão de mundo.

Neste trabalho, o plano definidor das entrevistas, usando a metodologia da história oral, decorreu, como observado anteriormente, da necessidade de analisar a repercussão, entre os alunos e professores do Curso de Física, Licenciatura, noturno, das inovações trazidas pela matriz curricular deste curso. Com apoio nessas ideias foram estruturadas as entrevistas realizadas e, em seguida, planejados os encontros com professores diretamente envolvidos na criação e no desenvolvimento do curso noturno e também os encontros com alunos, representativos dos diversos anos de funcionamento do curso noturno (os primeiros 12 anos), especialmente aqueles que cursaram Física Básica III e IV, ou pelo menos uma delas.

Antes de expor as razões que motivaram a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, será apresentado um breve histórico do desenvolvimento do

Ensino Superior Brasileiro, na qual se insere a história dos cursos de Física, considerando a importância do contexto para a compreensão desta narrativa.

Inicialmente, deve ser observado que o surgimento dos cursos universitários no Brasil colonial foi bastante tardio em comparação ao que ocorreu nas colônias espanholas e inglesas da América. Nestas, o ensino superior para seus habitantes surgiu no início do período colonial - no século XVI, em colônias espanholas e, no século XVII, nas colônias inglesas do Massachusetts (SOUZA, 1991) -, enquanto na América Lusitana as sementes do ensino superior foram plantadas apenas a partir de 1808, após a chegada da Família Real portuguesa ao Brasil, escapando da invasão francesa em Portugal. A escola médico-cirúrgica da Bahia foi criada pelo Príncipe Regente, D. João, em 18 de fevereiro, quando por aqui passou com destino ao Rio de Janeiro, e a Escola Anatômica, Cirúrgica e Médica do Rio de Janeiro foi criada em 5 de novembro desse mesmo ano.

De acordo com Souza (1991), a educação nunca esteve entre as preocupações principais dos governantes portugueses, nem mesmo em Portugal. Nos trezentos anos anteriores à chegada da Família Real, o ensino no Brasil colonial se deu mais por iniciativa das ordens religiosas, alimentadas pelo interesse da catequese contrarreformista do que pelo respeito ao direito do cidadão de educar-se. O curso superior de Engenharia Militar, praticado no Rio de Janeiro, no período de transição do século XVII para o XVIII, não é considerado, geralmente, uma iniciativa tradutora do ingresso do Brasil no ensino superior, em razão das especificidades dos estudos ali realizados, destinados à formação militar dos oficiais do exército português, funcionando no território brasileiro mais por razões práticas. Da mesma forma, o ensino praticado nos conventos jesuítas, carmelitas e franciscanos, apesar de incluir aulas de nível universitário, em que se estudavam Filosofia, Teologia e Gramática Latina, Grega e Portuguesa, não era aberto a uma clientela externa, interessada em obter formação superior. Os filhos dos fidalgos coloniais (grandes latifundiários, destacados burocratas ou fortes comerciantes), como se sabe, eram enviados para estudar nas escolas europeias.

Além dos atos iniciais de criação das escolas médico-cirúrgica na Bahia e no Rio de Janeiro, outras iniciativas de D. João completaram a instituição do ensino superior

no Brasil. Entre 1808 e 1920, foram criados, também no Rio de Janeiro, a cadeira de Ciência Econômica, a Academia Real Militar da Corte, semente do curso de Engenharia, que mais tarde se transformaria na Escola Politécnica, e a Real Academia de Desenho, Pintura, Escultura e Arquitetura Civil, convertida logo depois em Academia das Artes. A criação destes institutos isolados, voltados para o ensino profissionalizante, introduziu um modelo de ensino que marcaria fortemente o sistema de ensino superior brasileiro, ao longo do tempo. A natureza utilitária destes estudos feitos em faculdades, sem vínculos organizacionais entre si, poderia explicar muitas das distorções hoje existentes no nosso sistema de ensino superior. A partir da proclamação da Independência do Brasil, a rede de escolas superiores começou a se expandir, mas sempre nesse modelo de unidades desconexas e voltadas para a formação profissional. Em 11 de agosto de 1827, nasceram os cursos jurídicos de Pernambuco e São Paulo, que entraram em funcionamento em 1828. O de Pernambuco foi instalado em Olinda, sendo depois transferido para Recife. O de São Paulo foi instalado no convento dos franciscanos, no Largo de São Francisco, famoso por ter tido entre seus alunos poetas como Álvares de Azevedo e Castro Alves (1847-1871). A Faculdade Livre de Direito da Bahia, antecessora da atual Faculdade de Direito da UFBA, foi criada em 1891. A Constituição republicana de 1891 não afirmou um compromisso com a universidade, tendo apenas admitido que ao Congresso caberia, não privativamente, “criar instituições de ensino superior”, um resultado provavelmente influenciado pela doutrina positivista professada por figuras influentes do movimento republicano (Benjamim Constant, Miguel Lemos, Teixeira Mendes etc.), contrários à criação de uma universidade no Brasil, defensores de um ensino livre, de frequência livre, cursos livres e faculdades livres, sem interferência do Estado. Luiz Antônio Cunha (apud BOAVENTURA, 2009), identificou como temporárias as três primeiras universidades criadas no Brasil: a de Manaus, em 1909, a de São Paulo, em 1911, e a do Paraná, em 1912, por iniciativa de forças locais. A do Paraná desapareceu três anos depois de criada. Somente em 1920 é que surgiria, efetivamente, a primeira universidade brasileira, a Universidade do Rio de Janeiro (a partir de 1935, Universidade do Brasil, e hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro), organizada pela reunião de cursos superiores existentes na cidade (Escola Politécnica, Faculdade

de Medicina e Faculdade de Direito), e implantação de uma Reitoria e um Conselho Universitário, introduzindo-se assim um modelo que seria reproduzido no Brasil, ao longo do tempo, exceção feita à Universidade de São Paulo, criada em 1934, e à Universidade de Brasília, criada em 1962. ([1]) De acordo ainda com Souza (1991, p. 14), este modelo se caracterizava pela

> reunião de cursos isolados, que teriam como ligação entre si, não mecanismos acadêmicos ou administrativos integradores dos diversos setores e serviços e sim a Reitoria como traço comum. Era um enlaçamento pela cúpula e não pela base, o que tem feito de muitas das universidades brasileiras um conjunto de instituições agregadas e não integradas, como se exigiria de uma verdadeira universidade.

Como se observa, este modelo não estabelecia uma estrutura universitária, com serviços de ensino, pesquisa e extensão comuns e integrados, contrariando a tendência histórica de substituição da universidade profissionalizante pela universidade científica. De acordo com Carvalho (1991), o modelo adotado em 1920 foi desde logo compreendido como limitado e isto pode ser reconhecido nas diretrizes fixadas pelo "Estatuto das Universidades Brasileiras", instituído pelo Decreto n.º 19.851, de 11 de abril de 1931. Este decreto e o de n.º 19.852, datado do mesmo dia, que organizou a Universidade do Rio de Janeiro, "instituíram um novo modelo de estrutura universitária, com a admitida criação da Faculdade de Educação Ciências e Letras". (CARVALHO, 1991, p, 194) ([2]) Foi em São Paulo, entretanto, que o ensino superior se expandiu com mais criatividade, impulsionado pelo forte desenvolvimento econômico, especialmente, pela riqueza gerada pela cafeicultura e pelo surto industrial do após Primeira Guerra

[1] Uma experiência original foi também realizada, em 1935, na cidade do Rio de Janeiro, então Distrito Federal, com a criação da Universidade do Distrito Federal (UDF), na administração de Pedro Ernesto Baptista, tendo Anísio Teixeira no Departamento de Educação. Esta não era um agregado de escolas superiores isoladas pré-existentes, mas sim a composição de cinco escolas novas: Ciências, Educação, Economia e Direito, Filosofia e Instituto de Artes. Além de formar professores, visava preparar "os quadros intelectuais do país". As disputas políticas da época, agravadas pela chamada "Revolta Vermelha de 35", não favoreceram o desenvolvimento da UDF e já em dezembro de 1935 Anísio Teixeira seria demitido juntamente com o Reitor e vários professores. Após a instauração do Estado Novo, em novembro de 1937, a UDF foi desativada e seus quadros foram incorporados à Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, criada em 1939, dentro do projeto do Ministro da Educação, Gustavo Capanema, de fortalecer a Universidade do Brasil.

[2] O Art. 5.º do Decreto n.º 19.851/1931, diz que a constituição de uma universidade brasileira deveria atender, dentre outras, à seguinte exigência: "congregar em unidade universitária pelo menos três dos seguintes institutos de ensino superior: Faculdade de Direito, Faculdade de Medicina, Escola de Engenharia e Faculdade de Educação Ciências e Letras".

Mundial. Desde o final do século XIX, os paulistanos dedicavam atenção ao ensino superior, criando várias escolas isoladas seja por iniciativa do governo estadual ou por iniciativa do setor privado, a exemplo da Escola Politécnica e da Escola Agrícola “Luiz de Queiroz” (em Piracicaba), criadas, respectivamente, em 1894 e 1899, pelo governo estadual; e também da Escola de Engenharia Mackenzie e da Faculdade de Farmácia e Odontologia, criadas, respectivamente, em 1891 e 1899, por iniciativa do setor privado. Foi com a criação da Universidade de São Paulo, em 1934, entretanto, que ocorreu uma grande inovação no modelo de ensino superior, no Brasil, como já citado. Apesar de também reunir cursos superiores preexistentes no Estado, o projeto de criação da Universidade de São Paulo trouxe a inovação de enlaçar estas unidades, através da recém-criada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, destinada ao cultivo dos saberes das várias áreas de conhecimento, ficando a formação de pessoal do magistério secundário a cargo do Instituto de Educação e não da Faculdade de Filosofia. À Faculdade de Filosofia cabia o papel de compensar o isolamento das faculdades preexistentes que funcionavam de forma dissociada tanto física quanto academicamente, tendo sido concebida para ser um tronco comum de estudos básicos em matemática, física, letras, química, geografia, história, ciências sociais e políticas, além da própria filosofia, a partir do que se estenderiam os cursos profissionalizantes. Esta era uma concepção de universidade diferente da que existia no Brasil e na América Latina, onde se praticava a ideia de cursos específicos no que diz respeito ao ensino de nível superior. Curiosamente, em que pese São Paulo ser o Estado mais rico da federação, a Faculdade de Filosofia enfrentou dificuldades para realizar este projeto, não tendo nem mesmo onde funcionar, ficando instalada em porões do prédio da Faculdade de Medicina e em laboratórios da Escola Politécnica, sem falar nas resistências das escolas tradicionais a esta iniciativa de inovação. Com o tempo, a Faculdade de Filosofia, concebida para ser a porta de entrada de todos os cursos, acabou transformando-se num instituto profissionalizante, voltado para a formação de professores secundários, mantendo, entretanto, o alto nível científico de suas atividades acadêmicas.

A criação da Faculdade de Filosofia da Bahia, em 1941, ocorreu no desenvolvimento deste processo de criação de universidades e de faculdades de

Filosofia, iniciado no Rio de Janeiro e em São Paulo, tendo sido sua criação um passo importante para a fundação de uma universidade na Bahia. Os cursos de Física, por sua vez, nasceram vinculados às Faculdades de Filosofia dos vários Estados, inclusive no Estado da Bahia, ganhando autonomia, com o tempo.

Feitas estas considerações de ordem histórica, com o intuito de contextualizar o processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, diurno, na Bahia, resta ainda apresentar os motivos que levaram à criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, no final da década de 1990. Para que se possam entender melhor as razões dessa iniciativa, será descrito, nesta Introdução, o quadro de carências na área de Física, particularmente na área de ensino de Física, na época da criação do curso noturno. Deve-se salientar, inicialmente, que o processo de discussão que levou à criação deste curso foi iniciado em 1996, ano em que também foi promulgada a nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDBEN (Lei 9.394, de 23 de dezembro de 1996), que depois se revelou, indiretamente, um reforço na consolidação do próprio curso noturno. Esta lei, como se sabe, trouxe a exigência de formação em nível superior, em cursos de licenciatura, de graduação plena, para todos os professores da Educação Básica. ([3]) A amplitude desta exigência foi avaliada, no ano seguinte, através de um censo realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP, denominado “Censo do Professor”, em âmbito nacional, cujos indicadores mostraram que um grande esforço deveria ser feito para atender às novas exigências legais. Alguns resultados deste Censo, que alcançou mais de 90% da categoria, merecem destaque (BRASIL, 1997):

1) dos 1.617.611 docentes da Educação Básica, no Brasil, pelo menos 823.655 tinham escolaridade que não ultrapassava o nível médio (cerca de 13% destes eram docentes da rede privada). Na Bahia, em particular, dos 112.957 docentes da Educação Básica, pelo menos 91.778 tinham escolaridade que não ultrapassava o nível médio;

[3] Lei 9.394/96, Art. 62.º: “A formação de docentes para atuar na educação básica far-se-á em nível superior, em curso de licenciatura, de graduação plena, em universidades e institutos superiores de educação, admitida, como formação mínima para o exercício do magistério na educação infantil e nas quatro primeiras séries do ensino fundamental, a oferecida em nível médio, na modalidade Normal”. Prazos longos também foram estabelecidos, como por exemplo, no parágrafo 4.º do Art. 87.º (Das Disposições Transitórias): “Até o fim da Década da Educação [iniciada em 23 de dezembro de 1997, um ano depois da publicação dessa Lei] somente serão admitidos professores habilitados em nível superior ou formados por treinamento em serviço” (SAVIANI, 1997), o que significa dizer que todo o pessoal docente deverá ter curso superior.

2) dos 238.589 docentes atuando no ensino médio, no Brasil, pelo menos 24.672 tinham escolaridade que não ultrapassava o nível médio, sendo que, na Bahia, especificamente, dos 10.526 docentes atuando neste nível de ensino, pelos menos 3.707 tinham escolaridade que não ultrapassava o nível médio.

Em 2003, sete anos depois da aprovação da LDBEN, outro levantamento de dados realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (BRASIL, 2003) mostrou que, no caso específico da disciplina Física, dos 31.175 profissionais do magistério da Educação Básica que a ministravam, no Brasil (13,8% atuando na rede privada), somente 3.095 tinham graduação em Física (cerca de 30% destes atuando na rede privada) e 2.822 profissionais não eram sequer graduados. No caso da Bahia, dos 2.216 profissionais do magistério da Educação Básica que ministravam a disciplina Física, somente 89 eram diplomados em Física (cerca de 24% destes atuando na rede privada) e 711 não tinham graduação. Os demais tinham curso de graduação concluído com a seguinte distribuição: 261 diplomados em Matemática; 279 na "Área 1"; 116 em Pedagogia/Ciências da Educação; 313 em outros cursos de graduação e 447 não informaram. ([4])

O Censo de 2003 mostrou ainda que, na Bahia, dos 2.216 profissionais do magistério da Educação Básica com grau de formação superior, que ministravam a disciplina Física, apenas 1.090 tinham licenciatura, sendo que 415 não tinham licenciatura alguma e os demais não tinham grau de formação superior (619) ou não informaram (92).

Dentre os dados apresentados, um merece reflexão e ações para mudanças: dos 2.216 profissionais da Educação Básica que ministravam a disciplina Física somente 89 eram diplomados em Física (Licenciatura ou Bacharelado). Considerando que a disciplina Física é ministrada geralmente a alunos do ensino médio, pode-se concluir que, neste nível de ensino, em 2003, na Bahia, a carência de professores licenciados

[4] Para efeito de comparação, no caso de São Paulo, o Estado mais desenvolvido economicamente do país, estes números eram os seguintes: dos 7.876 profissionais do magistério da Educação Básica que ministravam a disciplina Física, somente 809 eram diplomados em Física (cerca de 40% destes atuando na rede privada) e 314 não tinham graduação. Os demais tinham curso de graduação concluído com a seguinte distribuição: 3.159 diplomados em Matemática; 1.814 na "Área 1"; 560 em Pedagogia/Ciências da Educação; 220 em outros cursos de graduação e 1.000 não informaram. Havia seis vezes mais graduados em Matemática e "Área1" que em Física.

em Física era de mais de 2.000 profissionais. Este era e ainda é um quadro desolador, tendo em conta que entre 1997 e 2011 foram licenciados, no Estado da Bahia, apenas 821 profissionais (596 licenciados e 225 bacharéis) e a maioria não se interessa em ministrar aulas nas escolas de nível médio.

Apesar da importância desses dados estatísticos para formar uma ideia precisa dos problemas relacionados às deficiências do ensino brasileiro e particularmente do ensino baiano, na época em que o Colegiado de Graduação em Física da Universidade Federal da Bahia-UFBA, sob a coordenação do professor José Fernando Moura Rocha, iniciou as discussões (1996), visando ao aperfeiçoamento do seu curso de graduação, tais dados ainda não eram conhecidos. Mas não era necessário qualquer exercício de estatística para se perceber que a carência de professores de ensino médio, público e privado, em nosso Estado, particularmente na área de Física, não vinha sendo suprida satisfatoriamente pelos cursos regulares de formação de professores licenciados. Esse quadro não mudou muito mesmo após a promulgação da LDBEN em que pese a soma do número de vagas para o vestibular de Física nas universidades baianas ter aumentado de 50 para 250 entre 1997 e 2006 ([5]). Este é o número que se obtém ao se somar as vagas oferecidas pela Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Universidade Estadual de Santa Cruz, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e Universidade Federal do Recôncavo, até 2006. ([6]) A Universidade Estadual de Feira de Santana passou a oferecer 30 vagas em Física, a partir do início de 1997, com a criação da Licenciatura, tendo esse número aumentado para 40 vagas, a partir de 1999, com a criação também do Bacharelado em Física. Por sua vez, a Universidade Estadual de Santa Cruz passou a oferecer 10 vagas, a partir de 1999 (hoje, 20 vagas), com a criação do curso de Física, Licenciatura, noturno, e mais 10 vagas, a partir de 2001 (hoje 20 vagas), com a criação do Bacharelado em Física, diurno, e a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia passou a oferecer 40 vagas, a partir de 2001, com a criação da Licenciatura em Física, enquanto a Universidade

[5] De 1997 a 2011 foram licenciados em Física, na Bahia, 596 professores, sendo 261 pela UFBA, 98 pela UEFS, 98 pela UESC, 126 pela UESB e 13 pela UFRB – Campus de Amargosa (Ver Tabelas 6 e 7, ao final do Capítulo 2).

[6] O Curso de Física do Campus de Barreiras - UFBA foi implantado somente em 2009. O Curso de Física, Licenciatura, do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia - IFBA, teve início em 2011, e o Curso de Física, Licenciatura, do Campus de Itapetinga – UESB, foi implantado em 2012.

Federal da Bahia aumentou sua oferta de 50 para 90 vagas, em Salvador, a partir do início de 1999, sendo as 40 novas vagas oferecidas pelo Curso de Física, Licenciatura, noturno. Por fim, o número total de vagas passou para 250, em 2006, com a criação de mais 40 vagas pela Universidade Federal do Recôncavo, campus de Amargosa. ([7])

A ideia da criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, na UFBA surgiu nesse contexto de absoluta falta de professores de Física para atuar especialmente no ensino médio, em que a carência historicamente tem sido parcialmente suprida por estudantes universitários dos mais variados cursos e por outros profissionais. Essa carência revelava-se ainda mais preocupante quando considerados os índices de evasão do Curso de Física, diurno, da UFBA, que, no período de 1971 e 1995, ficavam em torno de 78% (dos 1.357 alunos ingressos nesse período, 1.065 evadiram-se). Se tomarmos em conta apenas o período de 1972 a 1988, este índice é ainda maior, conforme se pode ver na Figura 1 (ARAÚJO, 1996).

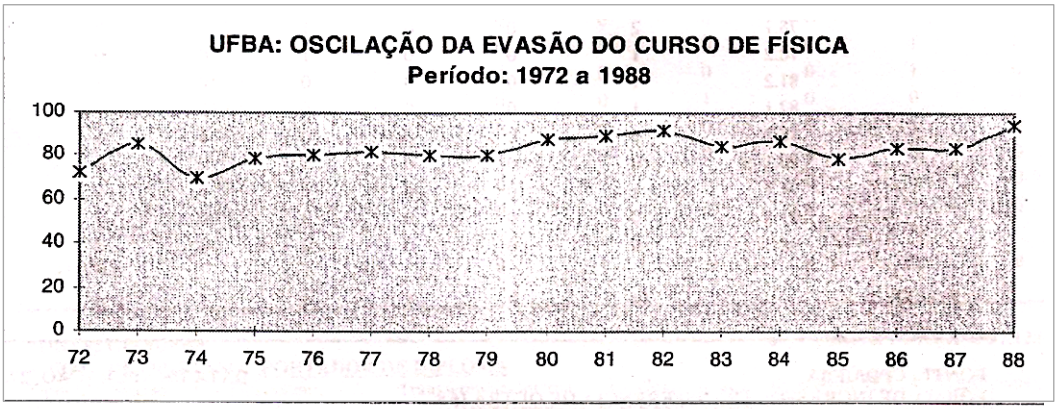


Figura 1 – Oscilação da evasão do curso de física no período de 1972 a 1988.

Foi em razão desse quadro de desmotivação que o Colegiado do Curso de Física do Instituto de Física da UFBA passou a buscar as causas dos problemas vividos

[7] Até 1996, o Curso de Física, Licenciatura e Bacharelado, diurno, da UFBA era o único do Estado da Bahia. Na Universidade Estadual de Santa Cruz, até 1998, havia um Curso de Ciências, Licenciatura Plena, com habilitações em Química, Física, Matemática e Biologia, autorizado a funcionar em 06 de novembro de 1980. Na Universidade do Sudoeste da Bahia, havia um Curso de Ciências, Licenciatura Curta, com habilitações em Física e Matemática, que começou a ser oferecido em 1982 e entrou em processo de extinção em 1998.

pelo Curso de Física, diurno, bem como identificar propostas para solucioná-los. A proposta de criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, surgiu com o objetivo de alterar este quadro.

Embora o Colegiado reconhecesse a necessidade de um estudo mais aprofundado para identificar as causas do desinteresse dos jovens pelo curso de Física, havia certo consenso que tal desinteresse se devia, principalmente, aos baixos salários pagos aos profissionais do ensino médio e à reduzida oferta de trabalho para o Bacharel. Mas isso não era tudo. Apesar de estes serem considerados os fatores principais, outros relacionados à estrutura e organização acadêmica da própria UFBA podiam também ser facilmente identificados como a desatualização curricular e a inadequação dos horários de funcionamento dos cursos, ou melhor, de oferecimento das disciplinas. Nessa época, eram oferecidas disciplinas somente durante o dia, em horários variados, ocupando, por vezes, parte do período da manhã e, por vezes, parte do período da tarde, dificultando a matrícula daqueles alunos que eventualmente precisassem trabalhar.

A inadequação dos horários de funcionamento dos cursos foi melhor compreendida a partir de uma pesquisa realizada pelo Colegiado com alunos de Física, no início de 1997, em que ficou evidenciada a exigência de alteração no quadro de oferta de disciplinas, em razão do perfil dos alunos de Física, àquela época, e do fato de tais disciplinas só serem oferecidas no período diurno. A pesquisa revelou que dos 64 alunos que fizeram a pré-inscrição para o primeiro semestre de 1998 (de um total de 148 alunos efetivamente matriculados), 58% trabalhavam e apenas 6% deles preferiam aulas no turno vespertino (IFUFBA, 1998, maio).

Este resultado mostrava claramente que os alunos que trabalhavam tinham de conciliar seus horários de trabalho com a matrícula em disciplinas oferecidas apenas durante o dia, o que certamente não era uma tarefa fácil. Apesar de significativa, esta amostragem era limitada, pois não alcançou os alunos que já tinham abandonado o curso ou não se matricularam naquele semestre.

Tendo em conta que a solução de parte dos problemas vividos pelo curso de Física estava no âmbito da Universidade, o Instituto de Física da UFBA, através do seu Colegiado de Graduação, resolveu buscar soluções, especialmente, para aqueles

problemas que lhes diziam respeito diretamente: a inadequação dos horários de funcionamento dos cursos e a desatualização curricular. No processo de discussão, iniciado em 1996, logo se verificou que os recursos humanos existentes não viabilizariam a criação simultânea da Licenciatura e do Bacharelado noturnos. Considerada esta evidência, o IFUFBA encaminhou aos órgãos superiores da UFBA, a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, ficando o Bacharelado para uma outra oportunidade. ([8])

Este novo curso de Licenciatura trouxe em sua estrutura algumas inovações importantes, entre as quais a criação das chamadas Físicas Básicas I, II, III e IV. O nosso propósito, nesta tese, conforme referido, é relatar o processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, da Universidade Federal da Bahia, discutindo as inovações curriculares do mencionado curso, com atenção especial para o papel desempenhado pelas disciplinas Física Básica III (eletromagnetismo) e Física Básica IV (óptica e elementos de física moderna), nos primeiros 12 anos em que foram oferecidas.

No Capítulo 1, serão discutidos aspectos históricos da criação e instalação do Curso de Física, diurno, desde seus primórdios, na Faculdade de Filosofia da Bahia. No Capítulo 2, serão relatados os processos de criação (1998) e implementação curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno, da UFBA, destacando os aspectos inovadores da sua estrutura curricular, especialmente a inclusão de quatro novas disciplinas, denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV. Apesar da importância destas disciplinas, nesta tese será apresentado apenas um breve histórico sobre o desenvolvimento das duas primeiras, pois o nosso objetivo é destacar a importância das Físicas Básicas III e IV, o que será feito nos Capítulos 3 e 4, respectivamente, em

[8] A graduação em Física, na UFBA, na cidade de Salvador, se apresenta hoje em dois cursos: o Curso de Física, diurno, que possui as modalidades Licenciatura e Bacharelado, e o Curso de Física, noturno, que possui apenas a modalidade Licenciatura. A Resolução n.º 2, de 1.º julho de 2008, do Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFBA, que "Estabelece definições, princípios, modalidades, critérios e padrões para a organização dos cursos de graduação da UFBA", classifica a Licenciatura e o Bacharelado como sendo modalidades de cursos de graduação. No seu Art. 9.º, por exemplo, diz que "Quando um mesmo curso oferecer as modalidades bacharelado e licenciatura o ingresso será único". É comum, entretanto, o uso da denominação "Curso de Licenciatura em Física" para designar a modalidade Licenciatura em Física. Esta designação é usada, por exemplo, na Resolução n.º 9, do Conselho Nacional de Educação, de 11 de Março de 2002, que "Estabelece as Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física".

vista do papel que elas desempenharam na consolidação da proposta de criação do conjunto dessas quatro disciplinas e, também, pelo fato do autor as ter ministrado em vários semestres. No Capítulo 5, apresenta-se a repercussão entre alguns atores históricos, docentes e alunos, dos cursos ministrados através das Físicas Básicas III e IV, com o objetivo de documentar o impacto dos mesmos no processo de formação do licenciado. Para isso, faz-se uso da metodologia da História Oral, com comentários dos entrevistados sobre as Físicas Básicas III e IV e, sucintamente, Física Básica I e II. Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e propostas para futuros estudos. Aos seis capítulos foram acrescentadas três seções complementares: Apêndices, Anexos e Artigos. Na seção “Artigos”, foram apresentados dois trabalhos (um artigo publicado e outro em processo de submissão para publicação) que foram destacados por serem muito representativos na história desta experiência de ensino.

CAPÍTULO 1

ORIGENS HISTÓRICAS DO CURSO DE FÍSICA, DIURNO, DA UFBA

Neste capítulo, serão apresentadas, inicialmente, as raízes históricas do Curso de Física, diurno, da UFBA, desde sua criação junto com a Faculdade de Filosofia da Bahia, em 1941. Esta Faculdade foi integrada à antiga Universidade da Bahia, em 1946, que passou a ser denominada Universidade Federal da Bahia, em 1965.

1.1 O Curso de Física, diurno, e a antiga Faculdade de Filosofia da Bahia

O Curso de Física, diurno, nasceu junto com a Sociedade Civil "Faculdade de Filosofia da Bahia", em 1941, e a autorização oficial para o seu funcionamento ocorreu, formalmente, através do Decreto n.º 10.664, de 20 de outubro de 1942, publicado no Diário Oficial do dia 03 de novembro de 1942. Por meio deste Decreto, o Presidente Getúlio Vargas, tendo Gustavo Capanema como Ministro da Educação e Saúde, autorizou o funcionamento de vários cursos na Faculdade de Filosofia da Bahia, entre eles, o de Física. Diz o Decreto:

> O presidente da República: Resolve, nos termos do artigo 23 do decreto-lei n. 421 de 11 de maio de 1938, autorizar o funcionamento dos cursos de filosofia, matemática, física, química, história natural, geografia e história, ciências sociais, letras clássicas, letras neo-latinas, letras anglo-germânicas e pedagogia da Faculdade de Filosofia da Bahia, com sede em Salvador, Estado da Bahia.

O reconhecimento do Curso de Física, diurno, por sua vez, se deu, formalmente, quatro anos depois, através do Decreto n.º 9.155, publicado no Diário Oficial da União, do dia 08 de abril de 1946, que criou a antiga Universidade da Bahia.

As condições para a autorização de funcionamento da Faculdade de Filosofia e, consequentemente, do Curso de Física, diurno, tinham sido criadas no ano anterior, com a participação decisiva do educador Isaías Alves de Almeida (1888-1968), bacharel em Ciências Jurídicas e Sociais, que liderou um grupo de intelectuais, comerciantes e políticos com a "missão patriótica de preparar professores para o ensino secundário e cooperar no desenvolvimento da cultura". Na ausência de recursos financeiros para realizar seus objetivos, Isaías Alves recorreu à Liga de Educação Cívica, com sede em Salvador, uma sociedade civil, criada em 1903, composta por pessoas de destaque na sociedade da época, "que não hesitavam em contribuir financeiramente" para o desenvolvimento da cultura do Estado. Os arquivos da antiga Faculdade de Filosofia da Bahia esclarecem o contexto da criação dessa Instituição e da subsequente instalação do Curso de Física, diurno. Dizem os registros (IFUFBA, 1999, jan.):

> Na Liga de Educação Cívica, com sede em Salvador, foi apresentada, em 16 de maio de 1941, uma proposta para que fosse imediatamente fundada uma Faculdade de Filosofia, tendo sido, em seguida, organizada a Sociedade Civil "Faculdade de Filosofia da Bahia", cujos estatutos foram aprovados em 13 de junho do mesmo ano e devidamente registrados no primeiro ofício do Registro Oficial de Títulos, documentos e outros papéis e do Registro das Pessoas Jurídicas, da Comarca de Salvador. [Figura 2]
>
> Em julho de 1941, o Governo do Estado, por decreto nº 11.931, permitiu à Faculdade de Filosofia fazer uso, para seus trabalhos escolares, de sala de aula, auditórios, laboratórios, museus, bibliotecas e outras instalações de estabelecimentos estaduais de educação, como sejam: Escola Politécnica, Ginásio da Bahia (Colégio Estadual da Bahia) e Instituto Normal. ([9]) O primeiro espaço foi reservado, em especial, para o gabinete do curso de Física. [Figura 3] Este dispositivo foi aceito pelo Sr. Ministro da Educação e Saúde, representado pelo interventor Landulfo Alves.
>
> E para autorizar o funcionamento do curso de Física, discriminou-se os respectivos professores para as séries iniciais: Análise Matemática – Dr. Luiz de Moura Bastos/ Geometria Analítica e Perspectiva – Dr.

[9] Escola Politécnica (criada em 1897, localizada, àquela época, na Avenida 7 de Setembro, próximo ao "Relógio de São Pedro"- ver Figura 6 adiante), Ginásio da Bahia (situado, desde 1900**,** na Avenida Joana Angélica; com origem numa instituição educacional criada em 1836, e denominado, a partir de 9 de abril de 1942, Colégio Estadual da Bahia) e Instituto Normal da Bahia (localizado no Barbalho; denominado, a partir de 1962, Instituto Central de Educação Isaías Alves – ICEIA, o qual, em 30 de dezembro de 2011, através de uma Portaria baseada no Decreto Estadual n.º 11.355, passou a ser denominado: "Centro Estadual de Educação Profissional em Apoio Educacional e Tecnologia da Informação Isaías Alves¨).

Aristides da Silva Gomes/ Física Geral e Experimental – Dr. Paulo de Matos Pedreira Cerqueira/ Cálculo Vetorial – Dr. Pedro Muniz Tavares Filho. Da Comissão Examinadora do Concurso de Habilitação para a cadeira do curso de Física: Paulo Pedreira (presidente), Carlos Simas e José Tobias Netto (Examinadores).



Figura 2 – "Solenidade da fundação da sociedade civil Faculdade de Filosofia da Bahia, realizada no edifício sede da Associação Comercial, às 15 horas do dia 13 de junho de 1941. Fotografia feita na ocasião em que o Exmo. Sr. Carlos de Aguiar Costa Pinto assinava o estatuto da instituição, na mesma ocasião aprovado". À direita na foto, Isaias Alves de Almeida (1888-1968). Arquivos da FFCH da UFBA.



Figura 3 – Gabinete de Física da Faculdade de Filosofia da Bahia. Arquivos da FFCH da UFBA.

Com a inauguração do antigo Instituto Normal da Bahia, no Bairro do Barbalho (as obras foram concluídas em 10 de novembro de 1939 e a primeira turma foi recebida em 1941), ficaram vagas as instalações da Escola Normal da Bahia, localizada na Avenida Joana Angélica, n.º 183 (atualmente, n.º 1.312, Figura 4), vizinha à Igreja do Sagrado Coração de Jesus, no Bairro de Nazaré. Após essa vacância, o Governo do Estado doou o prédio e as instalações da antiga Escola Normal para a recém-criada Faculdade de Filosofia da Bahia. ([10]) A autorização para a doação foi concedida através do Decreto-Lei n.º 11.984, de 1941 (IFUFBA, 1999, jan.):

[10] Em 1.º de janeiro de 1970, a Faculdade de Filosofia foi transferida para o prédio da antiga Faculdade de Medicina, no Terreiro de Jesus, e, em 12 de janeiro de 1974, foi transferida para a sua atual sede, no Bairro de São Lázaro. O prédio (casarão) da antiga sede Faculdade de Filosofia, na Avenida Joana Angélica, no Bairro de Nazaré (vizinho à Igreja do Sagrado Coração de Jesus), é hoje ocupado pelo Ministério Público do Estado da Bahia.

> Em 3 de setembro de 1941, o Governo do Estado, pelo Decreto-Lei nº 11.984, ficou autorizado a fazer doação do prédio e instalações da antiga Escola Normal da Bahia, situado à Avenida Joana Angélica, nº 183, constando um grande edifício principal com três pavimentos e mais sete pavilhões de um só pavimento, tudo em terreno amplo e com instalações apropriadas à ginástica ao ar livre ou em área coberta.

O funcionamento da Faculdade de Filosofia da Bahia no endereço da Avenida Joana Angélica, só teve início em 20 de março de 1944. Durante o ano de 1943 funcionou provisoriamente no prédio onde hoje se encontra instalada a Faculdade de Ciências Econômicas da UFBA, na Praça da Piedade.

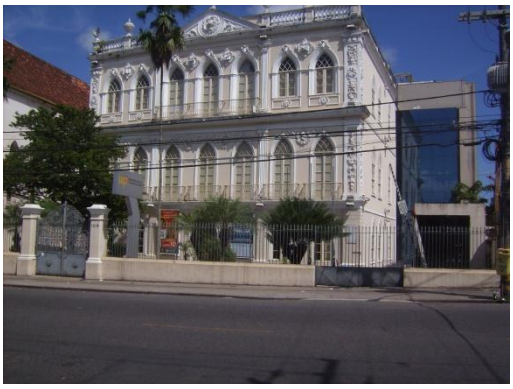


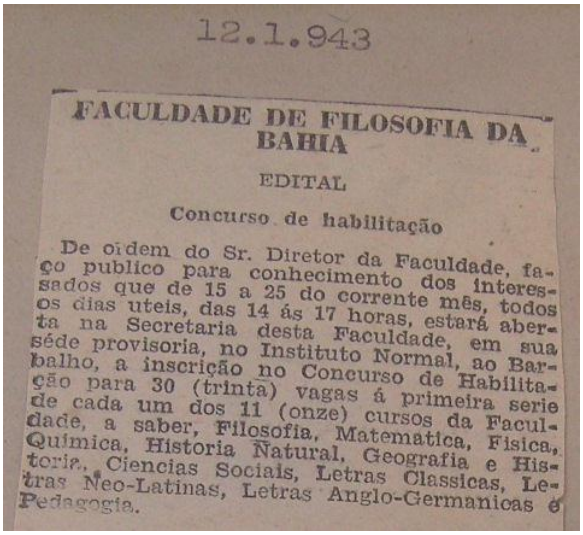
Figura 4 – Casarão onde, em 1944, foi instalada a antiga Faculdade de Filosofia da Bahia, na Avenida Joana Angélica, Bairro de Nazaré.

As justificativas para a criação da antiga Faculdade de Filosofia da Bahia com seus vários cursos podem ser encontradas, por exemplo, no parecer do relator Dr. Lourenço Filho, que esclarece (IFUFBA, 1999, jan.):

> A real necessidade dos cursos, para o meio, pôde ser compreendida, de modo geral, como a de necessidade de formação de trabalhadores intelectuais e técnicos; de modo específico, como a de formação de professores para o ensino secundário e normal. ([11])

[11] Historicamente, no Brasil, chamou-se de ensino secundário o que hoje corresponde à segunda parte do ensino fundamental (6.ª à 9.ª série) e ao ensino médio. A Lei 4.244/1942, por exemplo**,** referia-se ao ensino secundário do seguinte modo**:** Art. 2.º - O ensino secundário será ministrado em dois ciclos. O primeiro compreenderá um só curso: o curso ginasial. O segundo compreenderá dois cursos paralelos: o curso clássico e o curso científico. A Lei 4.021/1961**,** por sua vez, assim se referia a estes dois ciclos: Art. 34.º - O ensino médio será ministrado em dois ciclos, o ginasial e o colegial, e abrangerá, entre outros, os cursos secundários, técnicos e de formação de professores para o ensino primário e pré-primário; Art. 44. § 1.º - O ciclo ginasial terá a duração de quatro séries anuais e o colegial, de três no mínimo. Após a Lei 4.021/61, portanto, o ensino secundário ou ensino médio englobava as quatro séries do Ginasial (1.º Ciclo) e as três séries do Colegial (2.º Ciclo). Até 1971, o curso ginasial era considerado ensino secundário, mas a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional de 1971 (Lei 5.692/71) fundiu os antigos ensino primário e ginasial, denominando-os de ensino de 1.º grau, com duração de oito anos letivos (Art. 18.º) e o antigo ciclo colegial foi denominado ensino de 2.º grau, com duração de três ou quatro séries anuais (Art. 22.º). A partir de 1996 (Lei 9.394/96), o ensino de segundo grau passou a ser chamado ensino médio.

Entre as finalidades da Faculdade de Filosofia da Bahia estava a de preparar candidatos ao magistério secundário, normal e técnico; intelectuais para as atividades de alta cultura e a de realizar pesquisas nos vários setores em que se dividiam suas atividades docentes. Na época de sua criação, "o sul do país já dispunha de 12 Faculdades de Filosofia", distribuídas entre as cidades de Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Campinas, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, enquanto no norte e nordeste só existia uma Faculdade de Filosofia, em Recife.



12.1.943

FACULDADE DE FILOSOFIA DA BAHIA

EDITAL

Concurso de habilitação

De ordem do Sr. Diretor da Faculdade, faço publico para conhecimento dos interessados que de 15 a 25 do corrente mês, todos os dias uteis, das 14 ás 17 horas, estará aberta na Secretaria desta Faculdade, em sua séde provisoria, no Instituto Normal, ao Barbalho, a inscrição no Concurso de Habilitação para 30 (trinta) vagas á primeira serie de cada um dos 11 (onze) cursos da Faculdade, a saber, Filosofia, Matematica, Fisica, Química, Historia Natural, Geografia e Historia, Ciencias Sociais, Letras Classicas, Letras Neo-Latinas, Letras Anglo-Germanicas e Pedagogia.

Figura 5 – Parte do Edital do "Concurso de Habilitação" (Vestibular), publicado em 12 de janeiro de 1943, para os cursos da Faculdade de Filosofia, inclusive o de Física. Cada um dos cursos começaria a funcionar com um número mínimo de seis alunos (exceção para o de Filosofia que funcionaria com qualquer número). Ver Edital completo no Anexo 2.O.

Apesar das justificativas referidas e do curso de Física ter sido autorizado a funcionar em 1942, seu efetivo funcionamento ocorreu somente após a aprovação no "Concurso de Habilitação" (vestibular), realizado em 1952 (Figura 5), do primeiro candidato ao Curso de Física ([12]), o engenheiro agrônomo Álvaro da Silva Ramos, que se tornaria o primeiro graduado (licenciado e bacharel) no Curso de Física da então Universidade da Bahia, e mais tarde se tornaria Diretor do Instituto de Física (1979-1983). No Quadro 1, do Apêndice 1, pode-se ver a matriz curricular do Curso de Física em vigor no ano de ingresso do então aluno Álvaro Ramos, comparada com a matriz curricular do curso de Física, em vigor na Faculdade Nacional de Filosofia, no Rio de Janeiro, na mesma época. Nos anos 1950, as aulas teóricas para os alunos de Física

[12] Uma reportagem de jornal, datada de 11 de janeiro de 1943, relata que: "Na reunião realizada no sábado último na Escola Politécnica a convite da Secretaria da Faculdade de Filosofia grande foi o número de candidatos que se apresentaram aos cursos desta Faculdade. Compareceram mais de 50 moças e rapazes havendo todos fornecido indicação do curso que pretendiam seguir. Poude-se (sic) assim verificar que o curso de Geografia e História é o mais procurado, seguindo-se o de Matemática, Física, Filosofia e Letras Clássicas". (Arquivos da FFCH-UFBA) Em outra reportagem, datada de 10 de fevereiro de 1943, entretanto, não há referência explicita de inscrição de alunos para o vestibular de Física, mas há para o vestibular de Matemática e de outros 7 cursos da FFBA. Ao todo foram 86 candidatos. O Edital do "Concurso de Habilitação" foi publicado em 12 de janeiro de 1943. (Arquivos da FFCL-UFBA)



Figura 6 - Casarão situado na Avenida 7 de setembro (Relógio de São Pedro) onde funcionava a Escola Politécnica antes de ser transferida para o Bairro da Federação, em 1960.

eram ministradas no prédio da Faculdade de Filosofia, no Bairro de Nazaré, e, as poucas aulas práticas, na sede da antiga Escola Politécnica, na Avenida 7 de Setembro, próximo ao “Relógio de São Pedro”, em um casarão de três andares (Figura 6), onde atualmente está localizado o Edifício Fundação Politécnica, conforme relata o professor Benedito Leopoldo Pepe. Nessa época, já eram conhecidos e usados os livros *Física*, de F. W. Sears (a primeira edição, em 3 volumes, é de 1947), e *Fisica general y experimental*, de Eligio Perucca (a 2.ª Edição, em 2 volumes, é de 1953), que podem ser encontrados na Biblioteca de Física**,** da UFBA. De 1945 (ano de diplomação das primeiras turmas da FFBA) a 1961, a Faculdade de Filosofia graduou 591 licenciados e 382 bacharéis, mas desses somente 3 eram licenciados em Física e 2 eram bacharéis em Física (SIMÕES, 1990, pp. 29 e 30). Nesse período, a falta de profissionais da área de Física era tradicionalmente suprida por engenheiros ou profissionais de outras áreas, o que é confirmado, inclusive, pela constituição do corpo docente no início da Faculdade de Filosofia da Bahia, em que não há referência a nenhum físico. Esse corpo docente era composto de 40% de médicos, 27% de engenheiros, 18% de advogados e 15% de humanistas – entre leigos e religiosos. (SIMÕES, 1990, p. 25) A falta de profissionais formados na área de Física, especialmente para atuar no ensino médio, como se vê, não é um problema novo.

1.2 O curso de Física, diurno, e o antigo Instituto de Matemática e Física da Universidade da Bahia

Como desdobramento natural do funcionamento dos cursos de Matemática e de Física, ligados à Faculdade de Filosofia, foi criado, em 1960, o Instituto de Matemática e Física (IMF), da antiga Universidade da Bahia (UBA), um órgão complementar da

Universidade, que funcionou inicialmente em dois apartamentos do andar térreo do Edifício Canela, na Rua Marechal Floriano, n.º 80, próximo ao prédio da atual Escola de Teatro, no Bairro do Canela (Figura 7). Este Instituto tinha entre os seus principais objetivos promover a pesquisa e o estudo da Matemática e da Física e prestar colaboração aos diversos cursos de Matemática e Física das unidades de ensino vinculadas à Universidade. O Instituto de Matemática e Física, do qual se originaram os atuais Instituto de Física e Instituto de Matemática da UFBA, nasceu numa época em que se difundia nos meios acadêmicos nacionais a ideia de institutos de estudos nas universidades. Esta ideia tinha sido reforçada em fevereiro de 1958 com a instalação da Comissão Supervisora do Plano dos Institutos (COSUPI), órgão vinculado ao Ministério da Educação e Cultura, que tinha o objetivo de implementar a política federal de criação de institutos especializados, que centralizariam as atividades científicas das universidades nas suas respectivas áreas. O movimento que resultou na criação do IMF da antiga Universidade da Bahia começou no final dos anos 1950 com a aglutinação de alguns recém-diplomados em Matemática e em Física pela Faculdade de Filosofia - com destaque para Arlete Cerqueira Lima e Martha Maria de Souza Dantas - que, nas palavras do professor Álvaro Ramos (1985):



Figura 7 – Edifício Canela, na Rua Marechal Floriano, nº. 80, onde foi instalado o Instituto de Matemática e Física, em 1960. O IMF ocupava os dois apartamentos do andar térreo, com o Departamento de Matemática ocupando um deles e o Departamento de Física ocupando o outro.

> se juntaram em torno do propósito de estimular o estudo daquelas ciências em nível avançado, bem como de promover a necessária convivência científica, que se faria na forma de intercâmbio e divulgação de conhecimento.

A coincidência dessa iniciativa com a ideia difundida àquela época de institutos de estudos nas universidades, somada à contratação, em 1957, do físico Ramiro de Porto Alegre Muniz, como professor da antiga Faculdade de Filosofia da Bahia (da UBA), resultou na criação do Instituto de Matemática e Física. Ao escrever sobre a

história do Instituto de Matemática e Física, o professor André L. M. Dias (2008) sintetiza:

> O IMF foi fundado em 1960, numa iniciativa que articulou pelo menos três grupos de interesses científicos e político-acadêmicos. Por um lado, no âmbito acadêmico local, a iniciativa e o poder político couberam ao reitor Edgard Santos, que delegou as providências para organização da instituição às matemáticas Arlete Cerqueira Lima e Martha Dantas, assim como ao físico Ramiro de Porto Alegre Muniz, todos professores da FF que representavam certos interesses científicos. Por outro lado, no âmbito nacional, apoiaram-se no prestígio científico e acadêmico dos matemáticos Leopoldo Nachbin, do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Impa), do Rio de Janeiro, e Omar Catunda, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL) da Universidade de São Paulo (USP).

A criação do IMF não ocorreu sem dificuldades. Desde a sua fundação, a Faculdade de Filosofia agregava professores de várias escolas (Politécnica, Medicina, Farmácia, Direito etc.), e a história do Curso de Física naquela Faculdade estava intimamente ligada a alguns professores da Escola Politécnica que formalmente tinham sido indicados para as disciplinas das séries iniciais do curso, como já referido neste Capítulo. Entre eles estava o Professor Paulo de Matos Pedreira Cerqueira, responsável pela autorização do curso de Física e catedrático de Física da Faculdade de Filosofia e da Escola Politécnica. ([13]) Em 1957, com a expectativa de aposentadoria do Professor Paulo Pedreira, que se concretizou em 9 setembro de 1959 (CERQUEIRA, 1972), o Reitor Edgard Santos, dentro da sua política de modernização da Universidade, percebeu a oportunidade de interferir numa área que, tradicionalmente, não tinha muita influência, mas que tinha importância estratégica, em razão da recente descoberta de reservas de petróleo na Bahia e da subsequente criação da empresa Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRÁS, em 3 de outubro de 1953. ([14]) O convite do

[13] "Quanto às aulas práticas de Física [isto é, da matéria Física], foram ministradas no Gabinete da Escola Politécnica, de onde também é professor catedrático de Física o Eng. Civil Paulo de Matos Pedreira de Cerqueira". (IFUFBA, 1999, jan.). Ver, no Anexo 2.A, o programa desta disciplina em vigor em meados da década de 1950, e nos Anexos 1.B a 1.F os programas de outras disciplinas do mesmo período.

[14] Uma parceria entre a antiga UBA e a PETROBRÁS tinha começado logo após a criação desta, com a implantação de um curso de especialização em geologia do petróleo. Nessa parceria, a UBA se obrigava a ceder imóveis e instalações e a PETROBRAS se obrigava a contratar professores especialistas estrangeiros em regime de tempo integral e também a comprar novos equipamentos. (DIAS, 2012)

Reitor Edgard do Rego Santos ao professor Ramiro Muniz, por indicação do economista baiano Rômulo Almeida, surgiu dessa política de modernização da Universidade, que, entre outras metas, contemplava a implantação da Escola de Geologia – que só existia no papel. Após sua nomeação, em 1957, o professor Ramiro instalou-se no andar superior (6.º andar) do pavilhão anexo (no fundo) ao casarão da antiga Faculdade de Filosofia, na Avenida Joana Angélica, no Bairro de Nazaré, e não demorou muito para que o professor Ramiro Muniz fosse convidado e "convencido" pelo Reitor Edgard Santos a assumir a Direção da antiga Escola de Geologia da UFBA. Dissemos "convencido", porque, na hipótese de sua recusa, o Reitor se dizia "obrigado" a não renovar o seu contrato de professor no ano seguinte. (DIAS, 2012).

A nomeação do físico Ramiro Muniz para professor de Física da antiga Faculdade de Filosofia da UBA, sem a participação dos tradicionais professores da matéria Física Geral e Experimental e sem a intervenção dos dirigentes da Escola Politécnica ou da Faculdade de Filosofia, marcou, na UBA (depois UFBA), o início de uma longa disputa entre dois grupos de interesse científico**.** De um lado, alguns professores da Escola Politécnica, com interesse na área de Física e Matemática e, do outro, o professor Ramiro Muniz e alguns profissionais recém-formados pela Faculdade de Filosofia, que depois se tornariam os fundadores do IMF, entre os quais o professor Álvaro da Silva Ramos. Este último grupo depois se ampliaria com a chegada dos professores Rubens Gouveia Lintz (agosto de 1960), Waldez Alves da Cunha (1961), Luís Felippe P. Serpa (1961) e Omar Catunda (1963) e com a diplomação do professor Benedito Leopoldo Pepe, em 1961.

A fundação do antigo Instituto de Matemática e Física da Universidade da Bahia - que teve como seu primeiro diretor o matemático Rubens Gouveia Lintz (agosto de 1960) e como primeiro chefe da Seção de Física ([15]), o professor Ramiro de Porto Alegre Muniz ([16]) – foi um marco na renovação do ensino das disciplinas ligadas aos

[15] A denominação "Departamento" de Física do IMF aparece explicitamente no Regimento Interno deste Instituto, aprovado pelo Conselho Universitário da UFBA em 14 de janeiro de 1963. (IMF, 1963). Em alguns documentos do IMF anteriores a esta data (*Programa para 1961*; *Plano de Atividades para 1961 e 1962,* e outros), aparece a denominação "Seção de Física".

[16] O início das atividades da Seção de Física foi adiado em razão do Professor Ramiro Muniz ter aceitado um convite para transferir-se para a Universidade de Brasília. Foi substituído pelo professor Waldez Alves da Cunha, que por sua indicação veio do Instituto Tecnológico da Aeronáutica, a convite do Reitor Edgard do Rego Santos, chegando a Salvador em fevereiro de 1961, junto com o professor Luís Felippe

cursos de Matemática e Física para alunos dos cursos de Engenharia e Geologia e também para as disciplinas oferecidas aos seus próprios alunos. ([17]) O Curso de Física continuou ligado à Faculdade de Filosofia. mas um convênio firmado entre esta e o IMF, em 21 dezembro de 1964, permitiu que o citado curso ficasse praticamente sob a responsabilidade do IMF, num regime de comodato (empréstimo por tempo acordado), com as disciplinas de Física e Matemática sendo ministradas pelos professores e estagiários do IMF (IMF, 1964).

Os empecilhos encontrados pelo professor Rubens Lintz, ao longo de sua permanência como diretor do IMF, levaram-no a pedir demissão de suas funções em 1962, época em que essa instituição passou por sérias dificuldades. A lacuna deixada pelo professor Rubens Lintz foi preenchida com a chegada à Bahia do professor Omar Catunda, em 13 de janeiro de 1963 (CATUNDA, 1985), o qual apoiou firmemente os esforços das professoras Arlete Cerqueira Lima e Martha Dantas para a consolidação do IMF. Num período de aproximadamente dezoito meses ([18]), a direção do IMF foi exercida interinamente pelo professor Waldez Alves da Cunha, Chefe do Departamento de Física, até que a Universidade pudesse completar a regulamentação do IMF, procedendo a eleição do seu diretor. Esta eleição foi feita em setembro de 1963, após a posse do Conselho Deliberativo, composto por personalidades de destaque da Universidade, tendo sido escolhido para dirigir o IMF o professor Omar Catunda. Este foi um passo importante para o fortalecimento do Curso de Física e do Curso de Matemática, pois marca uma nova fase de desenvolvimento do IMF. Em 25 de agosto de 1964, o professor José Walter Bautista Vidal assumiu a chefia do Departamento de

---

Perret Serpa, futuro reitor da UFBA. No período 1993-1994, Felippe Serpa foi Reitor *ProTempore*, assumindo o cargo em razão da renúncia da Reitora Eliana Azevedo, de quem era vice**.** Em 1994, foi eleito reitor, para o período 1994-1998.

[17] Nessa época, apesar da Faculdade de Filosofia contar com alguns bons professores, o ensino da Matemática, por exemplo, ainda estava restrito a tópicos clássicos e a chamada Matemática Moderna ainda não era ministrada aos alunos.

[18] O professor Waldez da Cunha foi Chefe do Departamento de Física do Instituto de Matemática e Física no período de 1961-1963 e foi Diretor do Instituto de Matemática e Física da UFBA no período 1962-1963. (WALDEZ, 1963). De acordo com André Mateddi Dias (2002), nesse período, mais especificamente em maio de 1963, o professor Waldez Alves da Cunha conseguiu a contratação dos físicos Wilson Bastos Lagalhard (1963-1965) e Carlos Alberto Fânzeres (1963-1964) para compor ou recompor o Departamento de Física do IMF, que, desde o final de 1962, estava reduzido a três membros (os professores Álvaro da Silva Ramos, Benedito Leopoldo Pepe e o próprio professor Waldez A. da Cunha), já que o professor Luís Felippe P. Serpa tinha se transferido para a Universidade do Ceará. acompanhado da estagiária Bela Szaniecki P. Serpa.

Física do IMF, com o apoio do professor Omar Catunda e, logo em seguida, em carta dirigida à Congregação da Escola Politécnica, datada de 8 de setembro de 1964, deixou a representação desta Escola no Conselho Deliberativo do IMF, do qual fazia parte desde 1.º de julho de 1963 (VIDAL, 1964). Este foi o momento em que o projeto científico para a formação de físicos na Universidade da Bahia, liderado pelo grupo de professores de Física do IMF, foi substituído pelo projeto científico liderado pelos catedráticos da Escola Politécnica, apoiados pelo professor Bautista Vidal. O professor Bautista Vidal, reconhecidamente uma personalidade importante na história do Instituto de Física da UFBA, tinha regressado a Salvador, após ter se afastado da Bahia, em janeiro 1959, quando foi para o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF e, a partir de setembro de 1961, para a Universidade de Stanford, nos Estados Unidos, onde ficou até dezembro de 1962. Sua atuação foi decisiva para a criação do Laboratório de Fracas Radioatividades (hoje Laboratório de Física Nuclear Aplicada), do Centro de Ensino de Ciências da Bahia - CECIBA (do qual foi seu primeiro diretor), do Centro de Computação da UFBA, além de ter sido iniciador, em 1964, da pesquisa e pós-graduação em Geofísica na UFBA. No início de 1971, afastou-se da Universidade, não voltando a ter um papel influente no Instituto de Física. ([19]) Para Bautista Vidal (1985, jul.):

> Merece destaque nesta fase a ação do Professor Carlos Furtado de Simas como membro do Conselho do IMF, que prestou um inestimável apoio ao surgimento e fortalecimento das ciências básicas na UFBA. Sem Carlos Simas e posteriormente Miguel Calmon, não teria sido possível realizar o grande esforço que possibilitou criar as condições para a institucionalização da Física e demais ciências na Universidade.

[19] Em maio de 1969, o professor Bautista Vidal pediu para deixar o cargo de Coordenador do Instituto de Física (equivalente ao de Diretor), para o qual tinha sido eleito em outubro de 1968 (Ver adiante o tópico "O Curso de Física, diurno, e o atual Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia"), sob o argumento de estar com sobrecarga de trabalho. Nessa época, a convite do Governador Luiz Vianna Filho (que governou a Bahia por 4 anos, a partir de 7 de abril de 1967), ele viria a cooperar em assuntos de políticas de ciências e tecnologia**.** Apesar de ter saído do cargo de Coordenador do Instituto de Física, o professor Bautista Vidal continuou dando aulas e até 13 de janeiro de 1971 participou de reuniões do Conselho Deliberativo do Instituto de Física. A Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado da Bahia foi criada pela Lei 2.751, de 1.º de dezembro de 1969, que foi assinada pelo Governador Luiz Viana Filho e pelo próprio José W. Bautista Vidal.

O dinamismo do professor Bautista Vidal à frente do Departamento de Física do Instituto de Matemática e Física gerou mudanças rápidas e importantes (VIDAL, 1985, jul., p. 65-6):

> Logo que assumi a Chefia do Departamento de Física fui a São Paulo e consegui convencer doze jovens físicos para virem para a Bahia. [20] O campo da pesquisa em Geofísica era o grande impulsionador. Os primeiros recursos vieram da SUDENE, onde havia um clima muito favorável ao desenvolvimento das ciências. Na época encarregaram-me de elaborar um Plano para o Desenvolvimento do Ensino e da Pesquisa em Física no Nordeste. Deste Plano surgiram os recursos que permitiram cobrir a contratação do grupo de São Paulo, entre os quais se encontravam Humberto Sequeiros Tanure, Jean Marie Flexor, Antônio Expedito, Carlos Borba e outros que não resistiram à "fase heroica" do Instituto ou seguiram outros rumos. Este grupo nesta fase, juntou-se ao pequeno grupo local com Waldez Alves, Benedito Leopoldo Pepe, Luiz Felipe Serpa e poucos outros.
>
> Os Recursos para o pagamento de todos vinham de fora da Universidade, da SUDENE, da Petrobrás, por prestação de serviços. Até a limpeza das instalações do Instituto era custeada pelos serviços que prestávamos. Não havia estabilidade institucional. Houve períodos de atrasos de salários que se estenderam por vários meses.

Esses movimentos no campo da pesquisa se desenvolveram em duas direções distintas. Uma, na área da Geofísica convencional, junto à empresa Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRÁS, e a outra, na área da Física da Terra. A área da Geofísica evoluiu rapidamente e, no começo de 1969 (em cinco anos de atividades), estruturou-se como Pós-Graduação em Geofísica (Mestrado, em 1969, e Doutorado, em 1972). A área da

[20] A convite do professor Bautista Vidal, os professores Jean Marie Flexor, Humberto Siqueiros Rodrigues Tanure, Mauro Cattani, José Galvão e Antônio Expedido Gomes de Azevedo fizeram uma primeira visita à Bahia em dezembro de 1964, para discutir o programa científico a ser desenvolvido na universidade. Desses, os três primeiros se incorporaram à UFBA logo no início de 1965 e o último em outubro desse mesmo ano. (AZEVEDO, 1985, set.) Em 1965, além de Álvaro Ramos, Waldez da Cunha, Benedito Pepe, L. Felippe Serpa (voltou do Ceará), Wilson Lagalhard, J. Bautista Vidal, Jean Flexor, Antônio Expedito e Humberto Tanure, faziam parte do corpo docente do Departamento de Física do IMF os professores Ubirajara Pereira de Brito e Helmut Karl Bockelmann, este último, em fase de contratação (IMF, 1966). Os professores Carlos José Rocha Borba e Mauro Cattani não permaneceram como docentes durante todo o ano de 1965. O professor Roberto Max Argolo também não fazia parte do corpo docente do IMF, em 1965. O *Relatório de Atividades de 1966*, por sua vez, acrescenta ao corpo docente deste Departamento, os professores: Paulo Camelier Tavares, Alceste Shoemaker Filho, Albert Rounaud e Lícia Maria (da) Costa Pinto (Moreira Santos), sendo que o professor Clóvis Augusto da Costa Gouveia fez curso de especialização durante o exercício de 1966, no Rio de Janeiro (IMF, 1967). De acordo com André Mateddi Dias (2002), em 1967, foram integrados ao corpo docente do Departamento de Física do IMF os professores: Emerson José Veloso de Passos, Maurício Porto Pato, Alfredo Pio Noronha Galeão, Nelson Pinheiro Andion, Claude Pernot e João Floro Freire.

Física da Terra, por sua vez, desenvolveu-se com o estabelecimento de um intenso programa de pesquisa e de treinamento com o Centre des Faibles Radioactivités, em Gif-sur-Yvette, na França, que deu início às pesquisas no campo da Geocronologia e áreas correlatas e fundou o citado Laboratório de Fracas Radioatividades, atualmente denominado Laboratório de Física Nuclear Aplicada, vinculado administrativamente ao Instituto de Física.

A pesquisa em física básica propriamente dita desenvolveu-se de forma mais lenta. Em que pese alguns pesquisadores do Instituto de Física terem se interessado por tópicos ligados à Física Teórica e Experimental já na década de 1960, foi somente em 1974, sob a liderança do professor Humberto Siqueiros Tanure que se instalou o grupo de pesquisa em Física do Estado Sólido, com o interesse voltado inicialmente para a teoria das propriedades eletrônicas em cristais, cristalografia física e propriedades ópticas. O Plano de Instalação do Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Física do Estado Sólido foi aprovado pelo Conselho Departamental do Instituto de Física em 11 de fevereiro de 1974 (IFUFBA, 1969c) e, em maio de 1975, foi criado o Curso de Pós-Graduação em Física do Estado Sólido, através de uma Resolução da Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da UFBA. Quatro anos depois, em janeiro de 1979, o Curso de Pós-Graduação em Física do Estado Sólido passou a denominar-se “Curso de Mestrado em Física – opção Física do Estado Sólido”. Em 2006, com a criação do Doutorado em Física (iniciado em 2007), passou a ser denominado simplesmente “Programa de Pós-Graduação em Física do Instituto de Física da UFBA”. (Ver também Tabela 1).

Mas não foi só no campo da pesquisa que ocorreram mudanças. A estrutura curricular do curso de Física foi também modificada. As chamadas cadeiras de Física Teórica (Teoria Eletromagnética) e Física Superior (Teoria Quântica), de responsabilidade do professor Bautista Vidal, foram desdobradas em disciplinas que passaram a ser lecionadas pela equipe que se formou no Instituto de Matemática e Física.

TABELA 1 – Programas de Pós-Graduação no Instituto de Física da UFBA

	INÍCIO	
	Mestrado	**Doutorado**
Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geofísica	1969	1972
Programa de Pós-Graduação em Física	1975	2007
Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências	2000	2006

Fonte: Arquivos dos Colegiados de Pós-Graduação do Instituto de Física e do Colegiado de Pós-Graduação em Geofísica (Instituto de Geociências)

As mudanças beneficiaram também o então chamado ensino secundário ou médio. As gestões do professor Omar Catunda, como diretor do IMF, e do professor Bautista Vidal, como chefe do Departamento de Física do IMF, contribuíram para a modernização do ensino de Matemática, Física, Química e Biologia, nos cursos médios da Bahia. Isto ocorreu principalmente após a criação do Centro de Ensino de Ciências da Bahia – CECIBA (a assinatura do Convênio e a Resolução de Implantação do CECIBA são de 17 de novembro de 1965)**.** Esta Instituição foi um dos seis Centros de Ensino de Ciências criados no Brasil, a partir de 1963, por convênios entre o MEC, Secretarias de Educação e eventualmente Universidades locais, como foi o caso da Bahia, São Paulo e Recife, com o objetivo de elevar o nível de ensino das ciências básicas e matemática no ensino secundário. De acordo com Inês Freire (2009):

> Inicialmente, na região Nordeste, só estava previsto o CECINE [com sede em Recife]; porém, com o empenho dos professores Miguel Calmon du Pin e Almeida Sobrinho, Reitor da UBa, e José Walter Bautista Vidal do IMF da mesma universidade, Salvador recebe seu Centro de Ensino de Ciências, independente de Recife. Para Bautista Vidal era preciso mudar o ensino das ciências no secundário e essa tarefa cabia à Universidade. No entanto, para ele, essa instituição precisava se atualizar para ser capaz de formar bons quadros, isto é, técnicos, cientistas e professores secundários que viessem a contribuir com o progresso do país.

Provisoriamente instalado no 8.º andar da Escola Politécnica (Figura 8), o CECIBA funcionou nesse local até o final de 1969, tendo a última reunião do Conselho Técnico Deliberativo sido realizada no dia 16 de outubro de 1969, quando foi incorporado ao Departamento de Teoria e Prática de Ensino de Ciências Experimentais da Faculdade de Educação.

À Coordenação da Secção de Física do CECIBA cabia a introdução de uma nova tecnologia de ensino de Física, no curso médio, trabalho esse que foi mais tarde transferido para o Programa de Treinamento e Aperfeiçoamento de Professores de Ciências Experimentais e Matemática - PROTAP, na Faculdade de Educação da UFBA. O Convênio que deu origem ao PROTAP foi assinado em novembro de 1969, e suas atividades se desenvolveram até meados da década de 1980.



Figura 8 – Entrada principal do prédio para onde foi transferida a Escola Politécnica a partir de agosto de 1960.

Através de seus professores-pesquisadores, que inicialmente eram os próprios professores do IMF, o CECIBA desempenhou papel importante também na área de Física com a participação dos professores Benedito Leopoldo Pepe, Judite Almeida Miranda, Luiz Felippe Perret Serpa e Bela Szaniecki Perret Serpa.

De acordo com próprio Bautista Vidal (1985, jul.):

> Em pouco mais de 18 meses treinamos cerca de 800 professores secundários nas eficientes técnicas de ensino de Física, Química, Matemática e Biologia, todas desenvolvidas como consequência de uma reação que se desenvolveu no Ocidente à crise provocada pelo lançamento do 1º satélite artificial – o SPUTINIK – pelos soviéticos. [...] Aquela foi uma experiência que se demonstrou eficiente com a Universidade fortalecendo o Ensino Secundário.

Esta opinião reflete bem o momento educacional brasileiro e baiano vivido por Bautista Vidal, na década de 1960, época em que poucos eram os professores licenciados na Bahia e no Brasil. Entre 1945 e 1961, como referido, a Faculdade de

Filosofia da Bahia, nos seus diversos cursos, tinha formado apenas 591 licenciados, dos quais 3 eram licenciados em Física.

No final de 1964, o Departamento de Física do IMF ainda funcionava em dois apartamentos do andar térreo do Edifício Canela, na Rua Marechal Floriano, n.º 80. Em março de 1965, mudou-se para a Escola Politécnica ([21]), em seguida para uma casa velha (hoje não mais existente), localizada no pátio-estacionamento do prédio que até recentemente abrigava o Serviço Médico Rubens Brasil. Em 1968, já se encontrava no prédio onde estava instalado o Centro de Processamento de Dados da UFBA (Figura 9), vizinho também do prédio onde funcionava o Serviço Médio Rubem Brasil. No mesmo período em que o Departamento de Física foi para a Escola Politécnica, o IMF e seu Departamento de Matemática passaram a ocupar as casas de números 27 e 29 da Rua João das Botas, no Bairro do Canela, onde permaneceram pelo menos até 1966 (Figura 10).



Figura 9 – Prédio do antigo Centro de Processamento de Dados da UFBA, onde, durante o ano de 1968 e primeiro semestre de 1969, também funcionou o antigo Departamento de Física do IMF.



Figura 10 – Casas (em cor verde), na Rua João das Botas, números 27 e 29, onde também funcionou o Instituto de Matemática e Física e seu Departamento de Matemática, no período 1965-1966, após sair da Rua Marechal Floriano e antes de ser transferido para a Rua Caetano Moura.

Por volta de 1964, as aulas de física e matemática, para alunos do curso de Física, podiam ser oferecidas em salas da Faculdade de Filosofia, da Escola de Geologia (onde hoje funciona a Escola de Belas Artes - Av. Araújo Pinho, Bairro do Canela) e no Instituto de Matemática e Física. Para a turma de alunos que ingressou em 1965, entretanto, as aulas passaram a ser ministradas principalmente em salas do quarto andar da Escola Politécnica.

[21] O professor Nelson Pinheiro Andion, em 1965, na condição de aluno, participou do esforço conjunto de transferência do Departamento de Física da Rua Marechal Floriano, no Bairro do Canela, para o novo endereço no Bairro da Federação, juntamente com o professor Waldez Cunha e outros professores.

Entre 1965 e 1968, os alunos de Física frequentaram as salas de aula dos mais variados locais. Além da Escola Politécnica e da Faculdade de Filosofia, tiveram aulas na citada casa velha na Rua Caetano Moura (hoje demolida), no prédio do antigo Centro de Processamento de Dados da UFBA, no casarão onde hoje funciona o Diretório Central dos Estudantes – DCE, na Rua Caetano Moura, Bairro da Federação (Figura 11), e em outros locais.

Com o Decreto 62.241, de 8 de fevereiro de 1968, que reestruturou a Universidade Federal da Bahia e criou o Instituto de Física, a estrutura organizacional do Departamento de Física do IMF foi incorporada a este novo Instituto, e, no final de maio de 1969, transferida de volta para Escola Politécnica.

A partir do segundo semestre de 1969, até o segundo semestre de 1971, as aulas para os alunos de Física foram oferecidas principalmente em salas do 4.º e 8.º andares da Escola Politécnica, quando teve início o processo de transferência do Instituto de Física para o prédio onde se encontra hoje instalado, no Campus de Ondina, inaugurado em julho de 1971. A primeira reunião da Congregação do Instituto na nova sede foi realizada em 12 de janeiro de 1972.



Figura 11 – Casarão, onde, por volta de 1968, funcionava o antigo Instituto de Matemática e Física e também o Departamento de Matemática deste Instituto. Nesse período, os alunos de Física tiveram aulas de Matemática e mesmo de Física também em salas dessa casa. O Instituto de Matemática, criado em fevereiro de 1968, permaneceu nesse endereço até o final de 1969. A partir de então, até fevereiro de 1981, funcionou no prédio onde até recentemente encontrava-se instalado o Serviço Médico Rubens Brasil (UFBA), quando então foi para a sua atual sede, em Ondina.

Ao final deste tópico é apresentado um quadro demonstrativo do número de alunos matriculados em cada ano, no período 1952-1968, e do número de conclusões de curso no período 1955-1968, com suas respectivas representações gráficas.

Após este breve relato da criação e desenvolvimento do Curso de Física, diurno, no período de 1942 a 1968, convém fazer algumas considerações sobre as razões da reduzida demanda por este curso, nos seus primeiros 20 anos de existência, ou mesmo da inexistência de demanda nos 10 primeiros anos após sua criação, ou ainda sobre o que teria mudado na sociedade baiana para que o interesse pelo curso de Física

crescesse continuamente no período de 1960 a 1968. Estas não são questões fáceis de serem respondidas, porque exigiriam, no mínimo, uma análise do estágio de desenvolvimento em que se encontrava a economia baiana, naquele período. Entretanto, algumas considerações de caráter geral podem ser feitas. A primeira é quanto à falta de tradição científica no Brasil. Até a década de 1920, a Física sequer era institucionalizada no país, isto é, as atividades na área de Física ainda não tinham passado por um processo de estruturação do seu perfil, nem sofrido regulação. Nessa época, não existia curso algum de licenciatura ou bacharelado, no Brasil, nem mesmo em São Paulo, Estado mais desenvolvido economicamente que o da Bahia. Além disso, no Brasil e, particularmente, na Bahia, não havia demanda por profissionais de Física, fossem licenciados ou bacharéis. As atividades dos Físicos eram, geralmente, desenvolvidas por engenheiros e outros profissionais**.** Some-se a isto o fato de que só ao longo da década de 1960, a rede de ensino colegial passou por um processo de expansão de matrícula, não havendo, até então, muita demanda por professores de Física em escolas de nível médio. ([22]) Estes são, portanto, alguns elementos que ajudam a entender a pouca demanda pelo Curso de Física, na Bahia, nas duas primeiras décadas após a sua criação. O período de 1964 a 1968 foi, entretanto, de significativas mudanças, com as transformações ocorridas no Instituto de Matemática e Física.

[22] Ao longo da década de 1940, ocorreu uma grande expansão do ensino primário, no Brasil. O mesmo ocorreu ao longo da década de 1950, com o ensino ginasial, e, na de 1960, com o ensino colegial. Nas décadas de 1950 a 1970 foram criadas as Universidades Federais, uma pelo menos em cada Estado. Nos anos 1970 ocorreu a chamada explosão do ensino superior, com o número de matrícula subindo de pouco mais de 300.000 para mais de um milhão e meio (em 1980). (SOUZA, 1991)

TABELA 2 – Matrícula no Curso de Graduação em Física – UFBa – Salvador – período 1952-1968.

Ano	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
Número de alunos	1	1	2	1	4	8	9	5	6	9	16	18	29	67	96	114	124

Fonte: Pró-Reitoria de Planejamento e Orçamento da UFBa, Setor de Informação e Documentação (Boletim da antiga Assessoria de Planejamento).

TABELA 3 – Conclusão de Curso de Graduação – Física – UFBa – Salvador – período 1955-1968.

Ano	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	Período 1952-68
Número de Concluintes	–	–	–	1	1	–	1	1	–	1	–	–	2	3	7	6	15	**38**

Fontes: Período de 1955 a 1961: Arquivos da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da UFBA. Período de 1958 a 1968: Superintendência Acadêmica da UFBA, Setor de Diplomas, Livro de Registro de Diplomas (N^{o} 7).

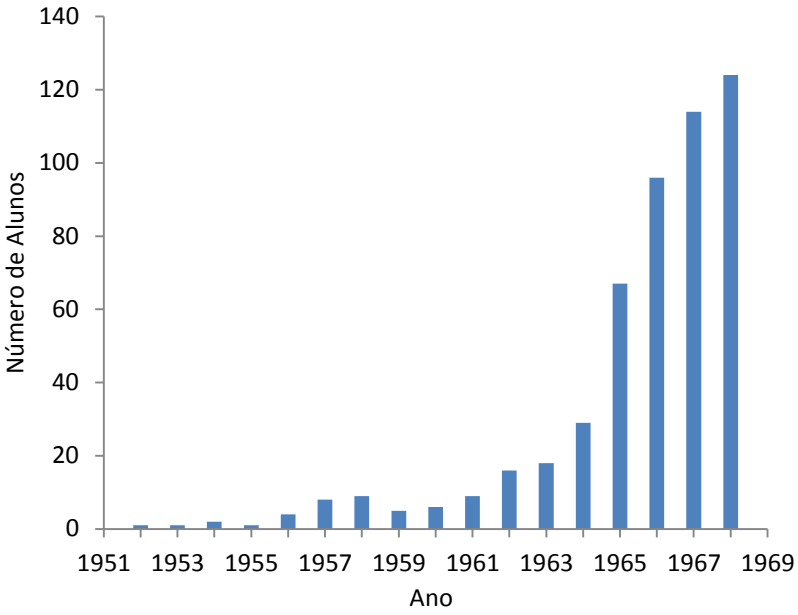


Gráfico 1 – Matrícula no Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

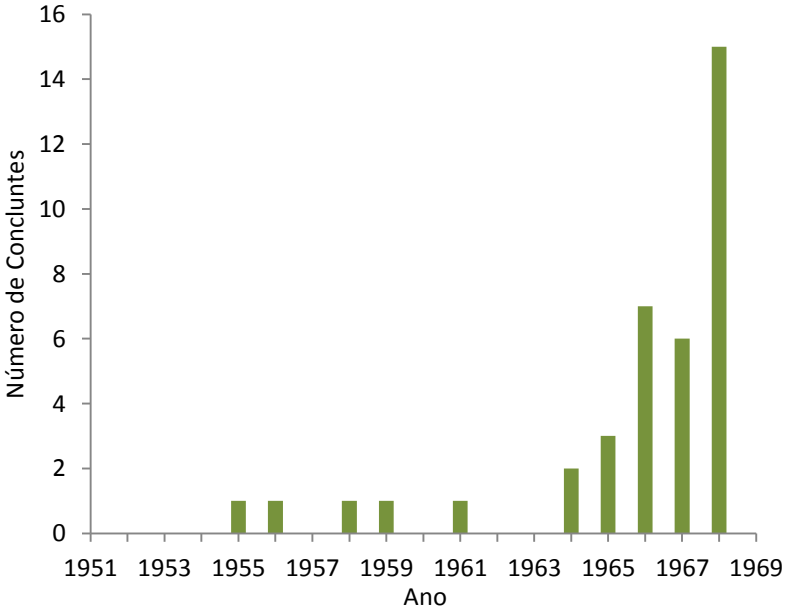


Gráfico 2 – Concluintes do Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

1.3 O Curso de Física, diurno, e o atual Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia



Figura 12 - Instituto de Física da UFBA, Campus de Ondina, Salvador – visão da entrada principal do prédio.

O ato de criação do Instituto de Física como uma unidade autônoma de ensino e pesquisa ocorreu antes mesmo de ser concluída a construção de sua sede, no Campus de Ondina (Figura 12). Isto porque, na Bahia, a reforma do Ensino Superior Brasileiro - consolidada através da Lei n.º 5.540, de 28 de novembro de 1968 - tinha sido antecipada pelo Decreto n.º 62.241, de 8 de fevereiro de 1968, que reestruturou a Universidade Federal da Bahia (assim denominada desde 1965). Com este Decreto, o Instituto de Matemática e Física foi desmembrado nos atuais Instituto de Física e Instituto de Matemática, que passaram a ser dirigidos por seus respectivos Coordenadores ([23]), escolhidos entre seus professores, pelos respectivos Colégios Deliberativos, compostos pelos docentes da Universidade que até o dia do Decreto ministravam a matéria Física e que, no ano de 1968, eram em número de aproximadamente 25. Nesse ano, esses professores eram responsáveis por ministrar aulas a cerca de 2000 alunos (IFUFBA, 1968).

O ano de 1968 foi dedicado à organização do recém-criado Instituto de Física. A primeira reunião do Colégio Deliberativo do IFUFBA, reunião dos docentes de Física, para organizar o novo Instituto, foi realizada em 9 de agosto de 1968, no prédio do antigo Centro de Processamento de Dados da UFBA, vizinho ao local onde até recentemente estava instalado o Serviço Médico Rubens Brasil, na Rua Caetano Moura, ainda sob a presidência do professor Bautista Vidal, chefe do antigo Departamento de Física, do IMF**.** Em 15 de outubro de 1968, o professor Bautista Vidal

[23] O Decreto n.º 62.241, de 8 de fevereiro de 1968, no seu Artigo 7.º, dizia que para a direção das novas unidades seriam nomeados coordenadores dentre os seus professores até que pudessem as respectivas diretorias serem providas na forma da legislação em vigor.

foi eleito Coordenador do Instituto de Física, cargo que ocupou até 4 de junho de 1969, quando foi substituído pelo professor Antônio Expedito Gomes de Azevedo, eleito em reunião realizada no 8.º andar da Escola Politécnica, para onde a Administração do Instituto de Física, como unidade autônoma da UFBA, havia sido transferida, no final de maio de 1969. O Instituto de Física ocupou salas do quarto andar e do oitavo andar da Escola Politécnica num período de transição que se estendeu de junho de 1969 a, pelo menos, setembro de 1971, quando começou o processo de transferência para o prédio onde se encontra instalado atualmente em Ondina. ([24]) Em 5 de maio de 1974, o professor Humberto Siqueiros Rodrigues Tanure tomou posse como primeiro Diretor do Instituto de Física, em substituição ao Coordenador Antônio Expedito Gomes de Azevedo.

Para a construção do atual prédio do Instituto de Física e dos prédios das demais ciências básicas, valeram os esforços do Reitor Miguel Calmon (reitorado de 1.º de julho de 1964 a 7 de maio de 1967) e do professor Bautista Vidal, com apoio de seus colegas, que conseguiram mobilizar recursos junto ao Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, para esse fim. Nas palavras do professor Vidal (1985, jul.):

> Para construir o atual prédio do Instituto de Física, bem como os demais das ciências básicas e da geociências, preparamos um projeto que foi aprovado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. [[25]] Este projeto foi precedido de dois anos de análise e debates acerca da estrutura e objetivos da universidade, na qual contamos com a colaboração de vários reitores de universidades europeias e do concurso da forma de consultoria SPL. Este trabalho foi complementado com um projeto de apoio da UNESCO, no valor de dois milhões de dólares dirigida para a formação do corpo docente das ciências básicas.

24 A Congregação do Instituto de Física foi instalada em 14 de abril de 1971, ainda na sala de reuniões do 8.º andar da Escola Politécnica. Na Reunião do Departamento I, de 8 de julho de 1971, um dos itens de pauta era a "Transferência para novas instalações", isto é, para o prédio recentemente construído para servir de sede do Instituto de Física e, em 1.º de setembro de 1971, o Departamento I fez sua última reunião no 4.º andar da Escola Politécnica. Em 31 de julho de 1971, o Conselho Departamental do Instituto de Física ainda fez reunião no 8.º andar da Escola Politécnica. A primeira reunião Congregação do Instituto de Física na sua sede atual foi realizada no dia 12 de janeiro de 1972. Com a inauguração do Laboratório de Fracas Radioatividade em 1.º de março de 1971, o Departamento II lá se reuniu já em 25 de agosto de 1971. (IFUFBA, 1968; 1969a, 1969b; 1971).

25 Em reunião do corpo docente de Física, realizada em 9 de agosto de 1968, ainda sob a Coordenação do professor Bautista Vidal, este comunicou aos presentes que o Magnífico Reitor Roberto Santos tinha decidido construir o Prédio do Instituto de Física, mas que havia necessidade de um anteprojeto. Em 10 de maio de 1969 a planta do atual prédio do Instituto de Física foi apresentada pelo professor Bautista Vidal, com o objetivo de ouvir sugestões (IFUFBA, 1968). A construção do prédio se realizou em aproximadamente dois anos.

Após o ato de criação do Instituto de Física, em 1968, os docentes da matéria Física, não só aqueles lotados no Instituto de Matemática e Física, mas também alguns da Escola Politécnica, da Escola de Agronomia e da Escola de Farmácia, foram agrupados em dois departamentos, denominados Departamento I e Departamento II.

O Departamento I foi instalado em 5 de outubro de 1968, em reunião realizada no prédio do antigo Centro de Processamento de Dados da UFBA, vizinho ao local onde até recentemente funcionava o Serviço Médico Rubens Brasil, como já citado, tendo sido escolhido como seu chefe o professor Roberto Max Argolo. Este Departamento, que era responsável pelas disciplinas Física Geral I, Física Geral II, Mecânica Geral I, entre outras, só voltou a se reunir formalmente um ano depois, em setembro de 1969. O Departamento II, responsável pelas disciplinas Física Geral III, Física Geral IV, Eletromagnetismo I, entre outras, foi instalado em 6 de junho de 1969, em reunião realizada no oitavo andar da Escola Politécnica, quando foi escolhido o professor Jean Marie Flexor para exercer a sua Chefia. (IFUFBA, 1969a; 1969b) ([26])

Docentes de Física do Instituto de Física da UFBA - 1969

Departamento I	Departamento II
Roberto Max Argolo (Chefe)	Jean Marie Flexor (Chefe)
Waldez Alves da Cunha	Antônio Expedito Gomes de Azevedo
José Walter Bautista Vidal	Nelson Pinheiro Andion
Benedito Leopoldo Pepe	Elpídio José Cardoso Jucá
Álvaro da Silva Ramos	Manuel Júlio Bautista Vidal
Pedro Muniz Tavares Filho	Clemiro Ferreira
Marcos Binderly Gaspar	Humberto Siqueiros (Rodrigues) Tanure
Ubiratã Bandeira do Valle	Humberto da Silva Carvalho
Paulo Fernandes Simões Lobo	Hamilton Cardoso Nolasco
Antônia Maria Rodrigues	Clóvis Augusto da Costa Gouveia
Clóvis Dessa Magalhães	Lycia Maria da Costa Pinto Moreira

[26] Com a redepartamentalização, ocorrida em 8 de janeiro de 1975, estes dois Departamentos foram substituídos por três novos, então denominados: Departamento de Física do Estado Sólido, Departamento de Física da Terra (depois Departamento de Física Geral) e Departamento de Geofísica Nuclear (hoje Departamento de Física da Terra e do Meio Ambiente.

Departamento I	Departamento II
	Santos
Maurício Porto Pato	Francisco José Duarte Santana
Jorge Ferreira	Adolfo Pedro Carvalho Malbouisson
Francisco Carlos Pataro de Queiroz	Ivan Costa da Cunha Lima
Carlos Augusto Pelegrini	Claude Pernot
Luís Gonzaga Marques	François Axisa (professor visitante)
Moysés Waxman	
Penildo Silva	
José Inácio de Andrade Souza	
Luís Felippe Perret Serpa*	
*Transferido para a Faculdade de Educação, a seu pedido, no final de primeiro semestre de 1969.	

QUADRO 1 – Docentes de Física do Instituto de Física da UFBA - 1969

Fonte: Pró-Reitoria de Planejamento e Orçamento da UFBA, Setor de Informação e Documentação. Catálogo Geral da UFBa – 1969

De acordo com o professor Álvaro Ramos, a quem coube a implantação do primeiro Colegiado do Curso de Graduação em Física (diurno) – o primeiro a ser criado na UFBA ([27]) - o período que sucedeu à criação do Instituto de Física (1968), como unidade autônoma, foi de extrema dificuldade. Segundo o professor Álvaro Ramos (1985, p. 36):

> Criado o novo ´Instituto de Física da UFBa`, agora como unidade institucional de ensino e pesquisa, entrava ele na sua fase de implementação e que haveria de ser, ao mesmo tempo, a mais crítica de sua história até o presente. É que, de um lado lhe impunham as novas atribuições transferidas da Faculdade de Filosofia reformulada (formação de Licenciados e Bacharéis em Física, agravadas pelos encargos de atendimento a todo o universo de alunos da área I), enquanto, de outro lado, persistia aquela precariedade de meios e recursos materiais que se projetava do passado.

[27] A reunião do Colégio Deliberativo do IFUFBA, composto pelos docentes de Física, para discutir a criação do Colegiado de Graduação em Física, foi realizada em 4 de junho de 1969, no oitavo andar da Escola Politécnica.

Ainda de acordo com o professor Álvaro Ramos, estas dificuldades começaram a ser superadas apenas após a diplomação da primeira turma de formandos pelo Instituto de Física, em 1968 (cerimônia realizada em 23.01.69), embora constituída por alunos remanescentes da antiga Faculdade de Filosofia.

Em 1969, os dois departamentos do IFUFBA contavam com 36 professores, dos quais muitos eram bolsistas de pós-graduação. Em 2003, o corpo docente do IFUFBA já era constituído de 55 professores permanentes, dos quais 35 eram doutores e 14 mestres (quatro deles em programa de doutoramento). Em 2011, esse número passou para 63 docentes permanentes dos quais 53 eram doutores e 8 mestres.

No que diz respeito ao corpo discente, desde o ano de criação do IFUFBA, o número de alunos matriculados aumentou significativamente, com pequenas flutuações, alcançando 186 alunos no primeiro semestre de 1975 e 284 alunos no primeiro semestre de 1993, número que caiu para 117 alunos no primeiro semestre de 1996. Em 2003, no quinto ano de implantação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, o total de alunos matriculados nos cursos diurno e noturno já era de 409 alunos, sendo 233 no turno diurno, e 176 no noturno.

O aumento de profissionais formados, no período de 1998 a 2011, será discutido no próximo capítulo, onde se pode constatar que, no período de 1969 a 1998, foram diplomados 296 profissionais, média de 10 por ano, o que corresponde ao triplo da média de 1955-1968, que foi de 3 diplomados por ano, ou ao dobro do período 1961-1968, que foi de, aproximadamente, 5 por ano.

1.4 Síntese da história do Curso de Física, diurno, nas três décadas seguintes a sua criação

Esta breve exposição da história do Curso de Física, diurno, da UFBA, remete a algumas reflexões sobre o significado das várias mudanças ocorridas em sua estrutura organizacional e local de funcionamento.

Conforme foi relatado, o Curso de Física, na Bahia, como em vários outros centros do país, nasceu vinculado à estrutura organizacional da Faculdade de Filosofia, e, neste Estado, dela dependeu diretamente, pelo menos até 1960, quando foi criado o Instituto de Matemática e Física – IMF. O ensino universitário de Física, na Bahia, na época da criação da Faculdade de Filosofia, estava restrito ao que era feito em poucas escolas isoladas, a exemplo da Escola Politécnica e da Escola de Medicina. Por outro lado, apesar da realização de pesquisa estar entre os objetivos da Faculdade de Filosofia, nenhuma atividade significativa de pesquisa em Física foi realizada até o final da década de 1950 e, portanto, até essa época, a Física, na Bahia, era essencialmente uma atividade de ensino.

A criação do IMF, apesar das dificuldades iniciais, trouxe, entretanto, novas possibilidades, principalmente, em razão do novo momento econômico vivido pelo Brasil, em particular, pela Bahia, com a descoberta do petróleo. Apesar das atividades de pesquisa estarem também entre as finalidades do IMF, a falta de recursos para o seu funcionamento e, consequentemente, para o funcionamento do Departamento de Física, nos seus primeiros anos de existência, causava grandes transtornos aos seus integrantes e isto era um forte indicador do muito que havia a ser feito para o desenvolvimento do ensino e pesquisa em Física, na Bahia. Esta situação só começaria a mudar a partir de 1964, como reflexo das transformações políticas vividas no país. É de se notar, entretanto, que não era só o ensino e a pesquisa em Física que motivavam parte dos integrantes do IMF a buscar o desenvolvimento da Física, em nosso Estado. A partir de 1964, razões econômicas impulsionaram, principalmente, o desenvolvimento da Geofísica, ao qual alguns membros do IMF se dedicaram, para o que recursos foram direcionados, beneficiando indiretamente o desenvolvimento do ensino e da pesquisa em Física, produzindo, inclusive, o aumento do número de alunos matriculados e de alunos concluintes, em Física, na segunda metade da década de 1960. Não é de surpreender, portanto, que no período de 1963 a 1968, o Departamento de Física do Instituto de Matemática e Física tenha mudado três vezes de local, até, finalmente, consolidar-se no atual prédio no *campus* de Ondina, em 1971, e que, só em 1974, a pesquisa em física básica tenha se instalado, formalmente, na Bahia.

O maior desafio enfrentado pelo corpo docente do Instituto de Física, no final da década de 1960, talvez tenha sido o de atender às demandas criadas pela Reforma Universitária de 1968, com o aumento brusco do número de alunos ingressos na Universidade, em 1969, o que foi possível com a colaboração de 11 (bacharéis) dos 15 alunos de Física diplomados em 13 de janeiro de 1969, que, como bolsistas de pós-graduação em Geofísica, passaram a ministrar aulas para alunos de toda a área de ciências exatas, inclusive os de Física, além de alunos de Agronomia, Farmácia e Biologia, mesmo persistindo a “precariedade de meios e recursos materiais que se projetava do passado”. Em 1969, os 11 professores-bolsistas atuavam ao lado dos 25 docentes integrantes do quadro de professores do Instituto de Física.

A pesquisa em física básica foi instalada, formalmente, no Instituto de Física, em 11 de fevereiro de 1974, e voltou-se inicialmente para a Física do Estado Sólido, sendo mais tarde ampliada para outras áreas de interesse. Esta definição foi consolidada, em 8 de janeiro de 1975, após uma ampla reforma departamental no Instituto de Física, como já referido, que transformou os dois departamentos então existentes em três novos, denominados Departamento de Física do Estado Sólido, Departamento de Geofísica Nuclear (hoje Departamento de Física da Terra e do Meio Ambiente) e Departamento de Física da Terra (hoje Departamento de Física Geral), os quais, em 2012, já contavam, respectivamente, com 28, 16 e 20 docentes, trabalhando nas mais diversas áreas de pesquisa, seja em Física, Geofísica ou Ensino, Filosofia e História das Ciências.

CAPÍTULO 2

A CRIAÇÃO DO CURSO DE FÍSICA, LICENCIATURA, NOTURNO, DA UFBA

2.1 Um pouco de História

Até o início da década de 1990, a maioria das universidades federais não oferecia cursos noturnos de licenciatura em ciências e matemática. A partir de 1992, entretanto, este quadro começou a mudar e, em 1995, os ventos da mudança alcançaram a UFBA. Isto é o que pode ser depreendido ao se ler o Projeto Pedagógico do Curso de Física, Licenciatura, noturno, aprovado pela Câmara de Ensino de Graduação da UFBA, em sessão de 14 de maio de 1998. De acordo com o texto do Projeto (IFUFBA, 1998, maio):

> A partir de 1992, iniciou-se um processo intensivo de implantação de cursos noturnos de licenciatura em ciências e matemática nas universidades federais. Neste período diversos projetos foram elaborados e implementados: UFRJ, UFPe, UFMG, UFG, UFMT, UFRPe, UFSM/RS, UnB, etc. Em 1995, foi criado, na UFBa, por iniciativa da Pró-Reitoria de Graduação, o Fórum de Licenciaturas, composto pelos representantes dos diversos cursos de licenciatura, com o objetivo de discutir o aperfeiçoamento dos 17 cursos hoje existentes, [28] todos oferecidos no período diurno e alguns com elevadíssimos índices de evasão, os quais não são, entretanto, um fenômeno apenas da UFBa.

Motivado por essas discussões iniciais e incentivado pela promulgação da nova Lei de Diretrizes e Base da Educação Brasileira (Lei n.º 9.394/96, de dezembro de 1996), que estabelecia a obrigatoriedade de diploma de Licenciatura também para o

[28] Em 1995, os cursos de licenciatura eram os seguintes: Física, Ciências Biológicas, Ciências Naturais, Ciências Sociais, Dança, Desenho e Plástica, Educação Física, Filosofia, Geografia, História, Matemática, Música, Pedagogia, Psicologia, Química, Teatro e Letras. Em 2005, Letras passou a ter três cursos de licenciaturas diferentes, com um colegiado específico para cada uma delas: Letras Vernáculas, Letras Vernáculas com Língua Estrangeira Clássica e Língua Estrangeira Moderna.

professor de ensino básico, o Colegiado do Curso de Física, diurno, sob a orientação de novo Coordenador, José Fernando Moura Rocha, desde novembro de 1995, resolveu ampliar os debates internos no Instituto de Física e incluir na pauta de discussão a reformulação do Curso de Física, diurno.

No período de discussões, foi convidado o professor Antônio Carlos Pedrosa, da Universidade de Brasília - um dos professores responsáveis pela implantação dos cursos noturnos da UnB - para realizar, no Instituto de Física, um seminário com o tema “Cursos Noturnos”, incentivando a discussão sobre a estrutura curricular que deveria ter o futuro Curso de Física, noturno, a ser, eventualmente, implantado na UFBA. Logo se constatou que a dificuldade de contratação de novos professores indicava ser inviável a criação simultânea do Bacharelado e da Licenciatura noturnos. As atenções se dirigiram então para a criação apenas da Licenciatura, turno noturno, com a eventual ampliação das vagas para o Curso de Física, diurno, o que exigiria uma oferta menor de disciplinas profissionalizantes à noite e, portanto, reduziria a exigência de contratação de novos professores. Em maio de 1997, na 196.ª reunião do Colegiado do Curso de Graduação em Física (diurno), foi aprovada, formalmente, a *ideia* de criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, com 40 vagas anuais, e também a *ideia* da ampliação de 50 para 80 vagas para Curso de Física, diurno, com entrada semestral de 40 alunos (Esta ideia da ampliação de 50 para 80 vagas também foi aprovada pela Congregação do IFUFBA, mas, até 2012, não tinha sido viabilizada). Após exaustivas discussões realizadas, durante o ano de 1997, em 30 de março de 1998, o Colegiado do Curso de Física entregou ao Diretor do Instituto de Física, professor Manuel Blanco Martinez, para ser submetido aos órgãos superiores do Instituto de Física e da Universidade, o Projeto Pedagógico do Curso de Física, Licenciatura, a funcionar no período da noite. Em 15 de maio de 1998, a Câmara de Ensino de Graduação da UFBA aprovou o projeto, autorizando o funcionamento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, através do Parecer 116/98.

Durante o ano de 1999, o Curso de Física, Licenciatura, noturno, ficou sob a responsabilidade do Colegiado do Curso de Física, diurno, mas, em razão das demandas próprias do período noturno, em 14 de dezembro de 1999 foi criado um

colegiado específico para o Curso de Física, Licenciatura, noturno. Em 2012, os cursos diurno e noturno de Graduação em Física voltaram a ter um único colegiado.

2.2 A necessidade de criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno

Conforme referenciado na Introdução, embora reconhecendo a necessidade de um estudo mais aprofundado para identificar todas as causas dos altos índices de evasão do Curso de Física, diurno, da ordem de 80%, àquela época, o Colegiado de Graduação considerava ser evidente que um dos fatores que mais contribuíam para os elevados índices de evasão do Curso de Física, diurno, eram os baixos salários pagos aos professores do ensino médio, ao lado de outros fatores importantes que podiam ser somados a este, como a desatualização curricular e a inadequação dos horários de funcionamento do curso.

A inadequação dos horários de funcionamento do curso foi confirmada fortemente pelos dados de uma pesquisa, citada na Introdução, realizada pelo Colegiado com alunos de Física, no início de 1998, revelando-se que o perfil dos alunos de Física, exigia alteração no horário de oferta de disciplinas que, na época, eram ministradas apenas no período diurno. O resultado dessa pesquisa mostrava uma realidade adversa para os estudantes: aqueles que trabalhavam tinham de conciliar seus horários de trabalho com a matrícula em disciplinas oferecidas durante o dia, o que certamente não era uma tarefa fácil. Com tais resultados, restava ao Colegiado tomar a iniciativa de modificar o quadro desfavorável existente, naquilo que lhe coubesse. O desafio, entretanto, não era pequeno.

Desde o início das discussões, a ideia que norteava as ações do Colegiado era a de que o Curso de Física, Licenciatura, noturno, na hipótese de sua criação, não deveria ser diferente, em sua essência, daquele já ministrado no período diurno. Os objetivos, conteúdos curriculares etc. deveriam ser os mesmos e as diferenças deveriam residir apenas nas adaptações necessárias ao período noturno para adequá-lo às especificidades de sua clientela que, em grande parte, desempenhava tarefas

profissionais, não podendo dedicar-se em tempo integral à Universidade. Certamente, isto é o que teria sido feito se o currículo da Licenciatura em Física, diurno estivesse atualizado, mas não estava. Poder-se-ia pensar que o primeiro passo seria atualizá-lo e, em seguida, adequá-lo ao período da noite. Esta opção, entretanto, não se mostrava viável, pois, naquela oportunidade, as estruturas curriculares da Licenciatura e do Bacharelado diurnos ainda possuíam um forte núcleo comum, remanescentes do chamado modelo 3+1 (ver Apêndice 1). Mas como já se compreendia que, de imediato, não seria possível criar, simultaneamente, a Licenciatura e o Bacharelado, noturnos, a opção escolhida foi a de se buscar apenas uma proposta de currículo para a Licenciatura em Física, turno noturno e, oportunamente, estendê-la para o curso diurno. Esta ideia tinha a vantagem de deixar o Colegiado com mais liberdade de introduzir inovações na estrutura curricular da nova Licenciatura, o que de fato aconteceu.

Uma dessas inovações foi a criação de um maior número de disciplinas específicas profissionalizantes e de formação básica para os estudantes de Licenciatura. No que diz respeito ao nível básico da Licenciatura, a criação das disciplinas chamadas de Físicas Básicas I, II, III e IV, ao lado das Físicas Gerais e Experimentais tradicionais (I, II, III e IV), introduziu, de modo efetivo, uma desejada articulação entre História da Ciência (História da Física), aspectos filosóficos da Ciência e experimentos de laboratório em um curso de preparação de professores. Estas disciplinas, juntamente com outras do chamado grupo profissionalizante, passaram a caracterizar o núcleo específico da Licenciatura, noturno. Tal inovação, aparentemente sem maiores consequências, era uma ruptura importante com as concepções dominantes entre os professores universitários de Física, em sua maioria com formação em Física pura (bacharéis, mestres ou doutores), geralmente não muito atentos para as estratégias metodológicas e recursos pedagógicos que norteiam ou que deveriam nortear o ensino, como processo de construção e produção do conhecimento.

É importante notar que, até a implantação do Curso de Física, Licenciatura noturno, em 1999, a discussão sobre a necessidade de uma reformulação curricular do curso de Física não conseguia ultrapassar a questão: *valorização do conteúdo versus valorização do método* (ou da “forma”), como se fossem contraditórios. O problema relevante de *qual conteúdo* ensinar em cada etapa de formação do licenciando não era

devidamente considerado. Isto certamente era e ainda é uma limitação do que realmente importa a um professor de física saber. De acordo com a concepção, expressa nas matrizes curriculares anteriores à criação da Licenciatura, noturno (Ver algumas matrizes curriculares anteriores ao ano de 1998, no Apêndice 1), os alunos de licenciatura deveriam ser instruídos ou treinados nas mesmas disciplinas do Bacharelado e, ao seu final, cursar algumas disciplinas de caráter pedagógico (fundamentos de psicologia, didática, metodologia etc.), para terem direito ao grau de Licenciado em Física. Levada até as últimas consequências, esta concepção dava origem a distorções e um exemplo marcante era a obrigatoriedade dos alunos da Licenciatura em Física, diurno, cursarem disciplinas típicas de um Bacharelado em Física, tal como Mecânica Geral e Teórica I e II (90 horas semestrais cada uma; efetivamente 102 horas), ao tempo em que era mantida como opcional a disciplina sobre a Teoria da Relatividade Restrita. É, pois, flagrante a insensibilidade para a importância que tiveram e continuam tendo as mudanças conceituais introduzidas pela Teoria da Relatividade Restrita. Esta, vale esclarecer, também não é obrigatória para o Bacharelado, ao menos até o ano 2012.

Por outro lado, a inexistência de uma disciplina profissionalizante sobre o Eletromagnetismo, de caráter obrigatório, destinada aos alunos da Licenciatura em Física, diurno, era mais uma forte evidência que confirmava a distorção existente na matriz curricular da Licenciatura, diurno, ao menos até 2012, orientada pela concepção já referida. Estas distorções não causaram poucos prejuízos aos licenciados e, consequentemente, à sociedade. Tais distorções, apesar de não serem o único fator, nem o fator principal, também contribuíram para o baixíssimo número de licenciados egressos do Instituto de Física da UFBA, que não passou de 150 licenciados até 1998 (Ver Tabela 6, ao final deste capítulo). Esta parece ter sido a contribuição involuntária da Universidade para o não fortalecimento do ensino de Física no Estado da Bahia, determinado pela política educacional governamental de pouca valorização das ciências.

2.3 Caracterização do currículo do Curso de Física, Licenciatura, noturno

A seguir serão descritas as principais inovações trazidas pelo currículo da Licenciatura, noturno, tomando como referência o currículo da Licenciatura, diurno.

Com a finalidade de adaptar o curso a sua clientela, o tempo médio do Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi estendido para 5 anos, em lugar dos 4 anos estabelecidos para o curso diurno. Além disso, foi elaborada uma grade curricular que pudesse ser cumprida, levando-se em conta uma carga horária diária relativamente pequena, especialmente nos quatro primeiros semestres, quando não passaria de 16 horas semanais. A cadeia de pré-requisitos não impedia que com um maior número de horas semanais distribuídas nos turnos diurno e noturno as mesmas disciplinas do currículo noturno fossem cursadas em 8 semestres.

Visando maior flexibilidade e, ao mesmo tempo, tendo em conta que parte da clientela necessitaria de uma ampliação desses conteúdos dentro de uma nova visão da Física, diferente daquela, geralmente, adotada no ensino médio, os tópicos das disciplinas oferecidas para o curso diurno de graduação em Física (FIS125-Física Geral e Experimental I-F, FIS126-Física G. e Experimental II-F, FIS127-Física G. e Experimental III-F e FIS128-Física G. e Experimental IV-F, com carga horária de 150 horas cada uma, ou 170 horas efetivas), foram redistribuídos em dois grupos de quatro disciplinas. No primeiro grupo, estavam as disciplinas FIS121-Física Geral e Experimental I-E, FIS122-Física G. e Experimental II-E, FIS123-Física G. e Experimental III-E e FIS124-Física G. e Experimental IV-E, com carga horária de 90 horas semestrais (102 horas efetivas), sendo todas obrigatórias, com 60 horas teóricas e 30 experimentais. No segundo grupo, estavam as chamadas Física Básicas (Física Básica I, II, III e IV), destinadas a explorar enfaticamente os aspectos históricos, fenomenológicos e conceituais dos conteúdos básicos de Física, com 60 horas semestrais cada (30 teóricas e 30 experimentais), sendo as duas primeiras obrigatórias e as duas últimas optativas.

Quanto às disciplinas de Física, referentes ao ciclo ou nível profissionalizante, levando-se em conta que os licenciados devem ter uma formação profissional mais

aprofundada que a oferecida pelas físicas iniciais, foram criadas três: Complementos de Mecânica (em substituição às disciplinas Mecânica Geral e Teórica I e II), Complementos de Termodinâmica (em substituição à Termodinâmica) e Complementos de Eletromagnetismo. No que diz respeito aos conteúdos de Física Moderna, do ciclo profissionalizante, foi mantida a disciplina FIS101-Estrutura da Matéria I, como obrigatória e a FIS102-Estrutura da Matéria II foi transformada em complementar optativa para os alunos do curso. Foram também introduzidas como optativas, as disciplinas: Complementos de Física Moderna, Introdução à Física Matemática e uma quarta disciplina de cálculo, denominada, àquela época, MAT007-Cálculo IV. As duas primeiras eram disciplinas novas. No que diz respeito à FIS112-Evolução da Física, do ciclo profissionalizante, optativa para os cursos diurnos, passou a ser obrigatória para a Licenciatura, noturno. Para introduzir o estudante no uso de recursos computacionais, enfatizando seu enorme potencial de aplicação ao ensino, foi incluída no currículo uma nova disciplina, denominada Informática Aplicada à Física e foram transformadas em complementares optativas as disciplinas MAT045-Processamento de Dados e MAT174-Cálculo Numérico.

No que diz respeito às disciplinas da área de Educação, foram introduzidas novas disciplinas como complementares optativas: EDC001-Educação Aberta Continuada e à Distância, EDC101-História da Educação I, EDC104-Filosofia da Educação I, EDC107-Introdução à Educação de Adultos, EDC120-Princípios e Métodos da Administração Escolar. EDC267-Educação Ambiental e EDC117-Avaliação da Aprendizagem.

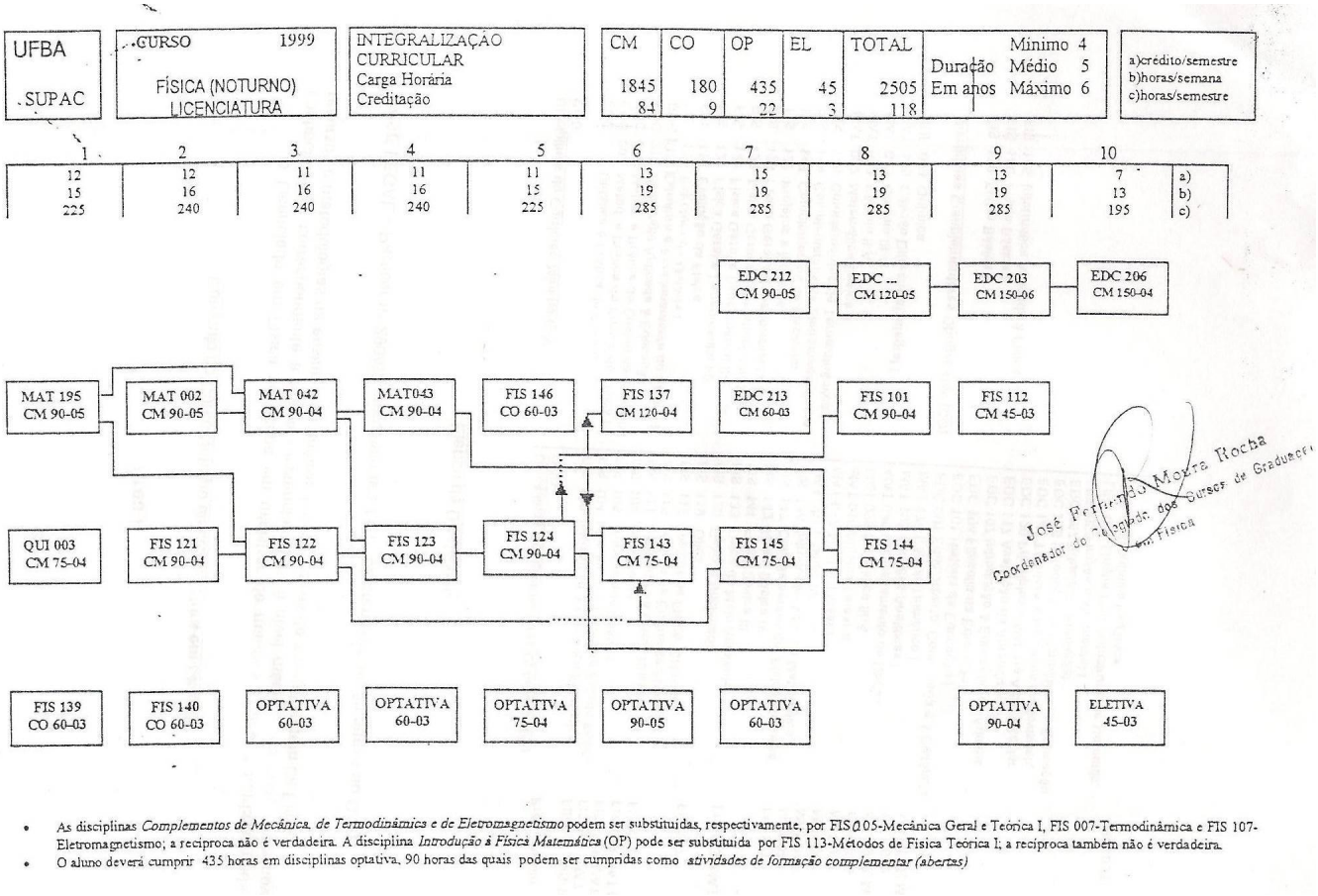
A relação das disciplinas obrigatórias e complementares optativas pode ser examinada ao final deste tópico (2.3), junto com o fluxograma do curso.

Das disciplinas citadas acima, dois conjuntos merecem comentários especiais: as chamadas Físicas Básicas e os chamados Complementos de Mecânica, de Termodinâmica e de Eletromagnetismo. A discussão sobre Físicas Básicas será apresentada no próximo tópico. Neste momento, será feito apenas um breve comentário sobre os chamados “Complementos”.

Convém observar, por exemplo, o caso de Complementos de Mecânica, uma disciplina com 5 horas semanais de aula. Da mesma forma que Complementos de

Eletromagnetismo e de Termodinâmica, a disciplina Complementos de Mecânica era considerada pelo Colegiado indispensável à boa formação dos licenciados em Física. O Colegiado compreendia que nessas disciplinas dever-se-ia enfatizar temas diretamente relacionados ao ensino da Física, devendo-se ir além de um simples treino matemático, penetrando na essência dos conceitos e alcançando seus limites. O nome “Complementos de Mecânica” e a carga horária eram pouco ambiciosos, mas tinham o propósito de transmitir a ideia de que a “Mecânica” ministrada aos licenciados deveria ser equivalente e não igual à Mecânica ministrada aos bacharéis. Este mesmo raciocínio deveria ser estendido aos Complementos de Termodinâmica e aos Complementos do Eletromagnetismo. A criação de disciplinas profissionalizantes específicas para os licenciados, abordando respectivamente conteúdos de Mecânica, Termodinâmica e Eletromagnetismo parece ter sido um dos acertos da proposta do currículo do curso noturno de Licenciatura em Física, instalado em 1999, pois a proposta de reformulação curricular, a vigorar a partir de 2013, mantém essas disciplinas como obrigatórias no novo currículo de Licenciatura, mesmo usando denominação diferente, aspecto a ser tratado em tópico posterior.

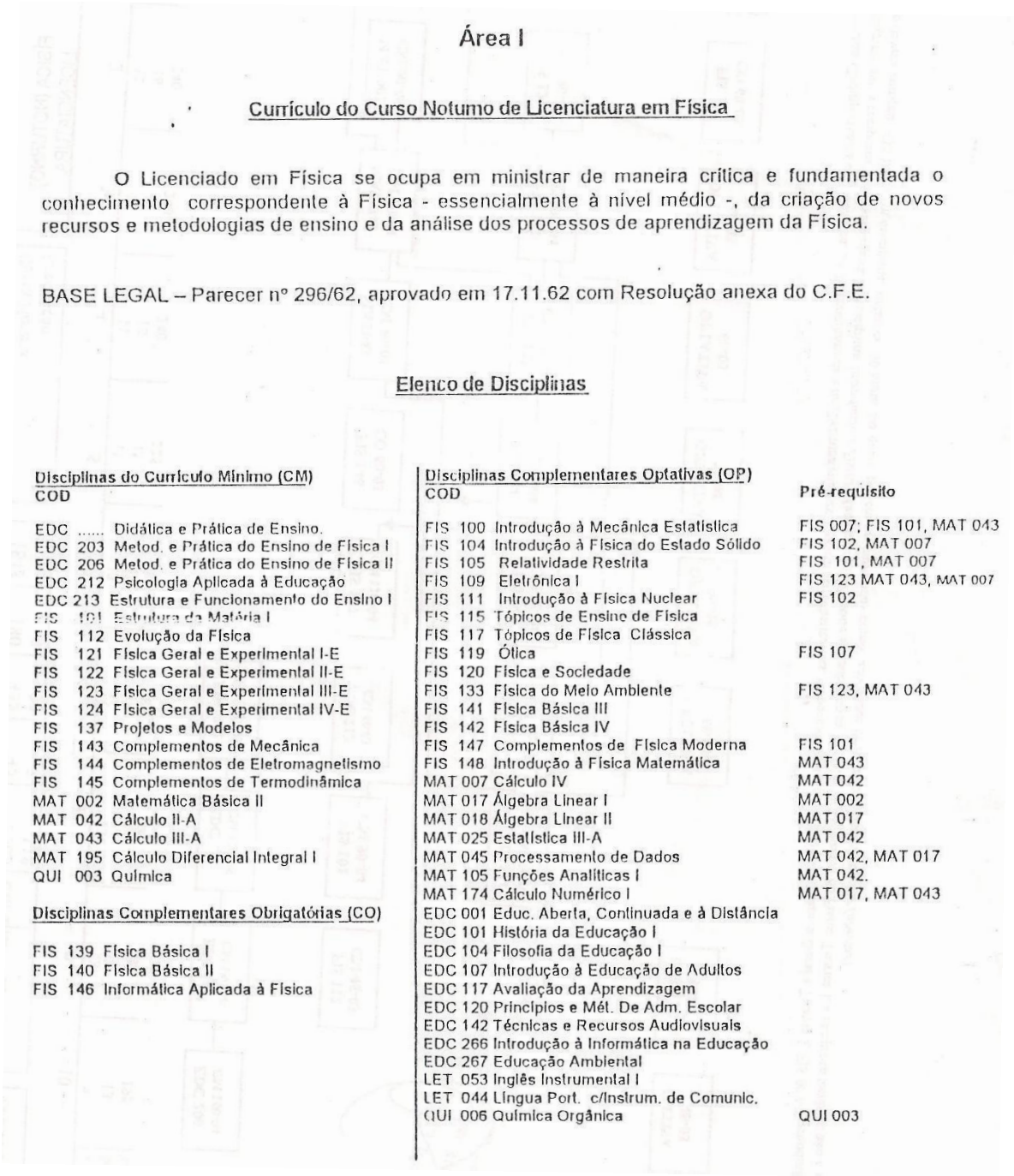
Fluxograma das disciplinas do (novo) Curso de Física – Licenciatura, noturno, para alunos ingressos no ano de 1999



- As disciplinas *Complementos de Mecânica, de Termodinâmica e de Eletromagnetismo* podem ser substituídas, respectivamente, por FIS 105-Mecânica Geral e Teórica I, FIS 007-Termodinâmica e FIS 107-Eletromagnetismo; a recíproca não é verdadeira. A disciplina *Introdução à Física Matemática* (OP) pode ser substituída por FIS 113-Métodos de Física Teórica I; a recíproca também não é verdadeira.
- O aluno deverá cumprir 435 horas em disciplinas optativa, 90 horas das quais podem ser cumpridas como *atividades de formação complementar (abertas)*

Fonte: Instituto de Física da UFBA, Colegiado de Graduação.

Matriz curricular do (novo) Curso de Física – Licenciatura, noturno, para alunos ingressos no ano de 1999



Área I

Currículo do Curso Noturno de Licenciatura em Física

O Licenciado em Física se ocupa em ministrar de maneira crítica e fundamentada o conhecimento correspondente à Física - essencialmente à nível médio -, da criação de novos recursos e metodologias de ensino e da análise dos processos de aprendizagem da Física.

BASE LEGAL – Parecer nº 296/62, aprovado em 17.11.62 com Resolução anexa do C.F.E.

Elenco de Disciplinas

Disciplinas do Currículo Mínimo (CM)

COD	
EDC	Didática e Prática de Ensino.
EDC 203	Metod. e Prática do Ensino de Física I
EDC 206	Metod. e Prática do Ensino de Física II
EDC 212	Psicologia Aplicada à Educação
EDC 213	Estrutura e Funcionamento do Ensino I
FIS 101	Estrutura da Matéria I
FIS 112	Evolução da Física
FIS 121	Física Geral e Experimental I-E
FIS 122	Física Geral e Experimental II-E
FIS 123	Física Geral e Experimental III-E
FIS 124	Física Geral e Experimental IV-E
FIS 137	Projetos e Modelos
FIS 143	Complementos de Mecânica
FIS 144	Complementos de Eletromagnetismo
FIS 145	Complementos de Termodinâmica
MAT 002	Matemática Básica II
MAT 042	Cálculo II-A
MAT 043	Cálculo III-A
MAT 195	Cálculo Diferencial Integral I
QUI 003	Química

Disciplinas Complementares Obrigatórias (CO)

FIS 139	Física Básica I
FIS 140	Física Básica II
FIS 146	Informática Aplicada à Física

Disciplinas Complementares Optativas (OP)

COD		Pré-requisito
FIS 100	Introdução à Mecânica Estatística	FIS 007; FIS 101, MAT 043
FIS 104	Introdução à Física do Estado Sólido	FIS 102, MAT 007
FIS 105	Relatividade Restrita	FIS 101, MAT 007
FIS 109	Eletrônica I	FIS 123 MAT 043, MAT 007
FIS 111	Introdução à Física Nuclear	FIS 102
FIS 115	Tópicos de Ensino de Física	
FIS 117	Tópicos de Física Clássica	
FIS 119	Ótica	FIS 107
FIS 120	Física e Sociedade	
FIS 133	Física do Meio Ambiente	FIS 123, MAT 043
FIS 141	Física Básica III	
FIS 142	Física Básica IV	
FIS 147	Complementos de Física Moderna	FIS 101
FIS 148	Introdução à Física Matemática	MAT 043
MAT 007	Cálculo IV	MAT 042
MAT 017	Álgebra Linear I	MAT 002
MAT 018	Álgebra Linear II	MAT 017
MAT 025	Estatística III-A	MAT 042
MAT 045	Processamento de Dados	MAT 042, MAT 017
MAT 105	Funções Analíticas I	MAT 042.
MAT 174	Cálculo Numérico I	MAT 017, MAT 043
EDC 001	Educ. Aberta, Continuada e à Distância	
EDC 101	História da Educação I	
EDC 104	Filosofia da Educação I	
EDC 107	Introdução à Educação de Adultos	
EDC 117	Avaliação da Aprendizagem	
EDC 120	Princípios e Mét. De Adm. Escolar	
EDC 142	Técnicas e Recursos Audiovisuais	
EDC 266	Introdução à Informática na Educação	
EDC 267	Educação Ambiental	
LET 053	Inglês Instrumental I	
LET 044	Língua Port. c/Instrum. de Comunic.	
QUI 006	Química Orgânica	QUI 003

Fonte: Instituto de Física da UFBA, Colegiado de Graduação.

2.4 Por que criar as Físicas Básicas?

Na época da criação do curso noturno, os currículos das Licenciaturas em Física, geralmente, não incluíam disciplinas de Física que, desde o início do curso, estivessem voltadas especificamente para a formação do licenciado. Nem mesmo disciplinas de caráter pedagógico eram oferecidas aos alunos do primeiro ano do curso. Esta realidade que, certamente, refletia os modelos dos primeiros cursos de licenciatura (Ver Apêndice 1), precisava ser repensada e as mudanças podiam começar com a criação das chamadas Físicas Básicas, conforme mostrado a seguir.

Primeiro convém recordar que, em 1988, cerca de dez anos antes da criação do curso noturno, mesmo que de forma não explícita, um espaço formal para inovações nas disciplinas iniciais do Curso de Física, diurno, tinha sido criado aqui na Bahia, com a implantação das Físicas Gerais e Experimentais – F (I-F, II-F, III-F e IV-F), destinadas aos alunos do curso de Física, com uma carga horária maior que a das disciplinas Físicas G. e Experimentais – E (I-E, II-E, III-E e IV-E), destinadas aos outros alunos da área de ciências exatas. Na ocasião, a carga horária total das Físicas Gerais e Experimentais tinha passado de 300 para 600 horas ([29]), com o intuito de cobrir efetivamente os conteúdos propostos para estas disciplinas e de incluir outros assuntos ou atividades não tradicionalmente abordadas nas Físicas Gerais e Experimentais, geralmente, por falta de tempo hábil. Ocorre que, nos anos seguintes, por razões diversas, mesmo com um tempo maior para cada disciplina, estes novos conteúdos ou atividades não tradicionais não estavam sendo efetivamente ministrados e as 150 horas de aula (170 horas, efetivamente) eram usadas muitas vezes apenas para explorar com mais profundidade o mesmo conteúdo estudado em 90 horas (102 horas, efetivamente) pelos alunos de engenharia e outras áreas. Diante desse quadro, optou-se por usar parte daquela carga horária para explorar, através de novas disciplinas específicas para o licenciado, aqueles conteúdos ou atividades não abordados ou realizados nos cursos

[29] Física Geral e Experimental II, 120 horas; Física Geral e Experimental III, 90 horas, e Física Geral e Experimental IV, 90 horas, o que dá um total de 300 horas. A carga horária das Físicas Gerais e Experimentais - F (I-F, II-F, III-F e IV-F), com 150 horas cada uma, dá um total de 600 horas.

de Físicas Gerais e Experimentais, a exemplo de História da Ciência (História da Física) e de uma variedade de experimentos demonstrativos. Esta opção não negava o esquema tradicional de formação dos licenciados, que sempre tiveram em comum com os alunos da área de ciências exatas um conjunto de disciplinas básicas de Física e Matemática. Não negava e ainda ia mais longe, aperfeiçoava esse esquema, pois mantinha as quatro Físicas Gerais e Experimentais, com carga horária de seis horas semanais cada uma, e viabilizava a criação de quatro novas disciplinas – Física Básica I, II, III e IV - através das quais os novos conteúdos e atividades poderiam ser desenvolvidos. Apesar de pouco festejada, esta era uma ideia inovadora, pois o licenciado teria um espaço próprio, desde o primeiro semestre do curso para interagir diretamente com o conteúdo que iria ministrar posteriormente. A expectativa era de que tais conteúdos fossem apresentados de forma contextualizada, dentro de um enfoque, simultaneamente, fenomenológico, histórico, matemático e conceitual, o que geralmente não ocorre nos cursos tradicionais de Física Geral e Experimental. Isto naturalmente exigiria um esforço adicional dos professores universitários que ministrassem tais cursos para os futuros licenciados.

2.5 A proposta das Físicas Básicas

A criação das Físicas Básicas I, II, III e IV não se deu sem dificuldades. Não era fácil definir o perfil de disciplinas que, a um só tempo, viabilizassem a apresentação de experimentos (não só qualitativos), incorporassem História da Ciência (História da Física) e aspectos filosóficos da ciência, simplificassem o tratamento matemático dos conteúdos propostos, mantendo o nível de 3º grau, usassem recursos de simulação computacional e ainda fossem atualizadas, incorporando, quando possível, as novidades trazidas por artigos e revistas acadêmicas voltadas para o ensino ou para a divulgação científica.

A proposta de minimizar o uso dos recursos oferecidos pelo Cálculo Diferencial e Integral parecia colocar essas disciplinas numa posição pré-universitária e não em uma

posição de paralelismo com as Físicas Gerais e Experimentais, como ambicionada pelos seus proponentes. Apesar disso, a avaliação do Colegiado era de que na estrutura curricular da Licenciatura em Física havia espaço não ocupado pelas Físicas Gerais e Experimentais que devia ser preenchido por conteúdos significativos de Física, articulados com experimentos demonstrativos e História da Ciência (História da Física), além de aspectos filosóficos da ciência. Mas não era só o conteúdo que importava, o problema de como abordá-los era também de grande relevância e este era um desafio para o professor. O mínimo que se esperava dos professores que as ministrassem - até para que fossem coerentes com o espírito da proposta - era que tratassem tais conteúdos dentro de uma abordagem contextualizada, entendendo aqui por contextualização não só a vinculação de conteúdos escolares a situações que façam sentido para o aluno, incorporando sua vivência, como também a recuperação do contexto em que o conteúdo científico foi produzido, o que poderia ser feito com a ajuda da História da Ciência (História da Física).

O fato de as Físicas Básicas estarem sendo pensadas para os alunos de licenciatura e não para alunos de bacharelado e licenciatura facilitava a definição do perfil destas disciplinas, isto é, a identificação dos conceitos organizadores básicos de cada uma delas, mas havia dificuldades práticas a serem superadas. A principal delas era encontrar um livro didático de referência que ajudasse o professor a estruturar seu curso e, ao mesmo tempo, servisse de texto para os alunos. Não se conhecia no mercado uma coleção de livros didáticos, em língua portuguesa, para cada uma dessas disciplinas, que pudesse ser utilizado com este propósito. A extensão em que a História da Ciência (História da Física) e aspectos filosóficos da ciência deveriam ser incorporados a essas disciplinas também não era de fácil definição. A opção de organizá-las de maneira que as dimensões históricas e filosóficas da ciência fossem tratadas, ao longo do curso de cada uma delas, esbarraria, por exemplo, na citada ausência de uma coleção de livros didáticos em língua portuguesa que servisse de suporte a esta decisão. Esta carência de uma bibliografia adequada era um sintoma da novidade da proposta e, pelo que nos era dado conhecer, a inexistência de disciplinas semelhantes em outras universidades públicas do país, como essas características,

reforçava os argumentos dos que não viam tais disciplinas como necessárias à formação dos licenciados em Física. ([30])

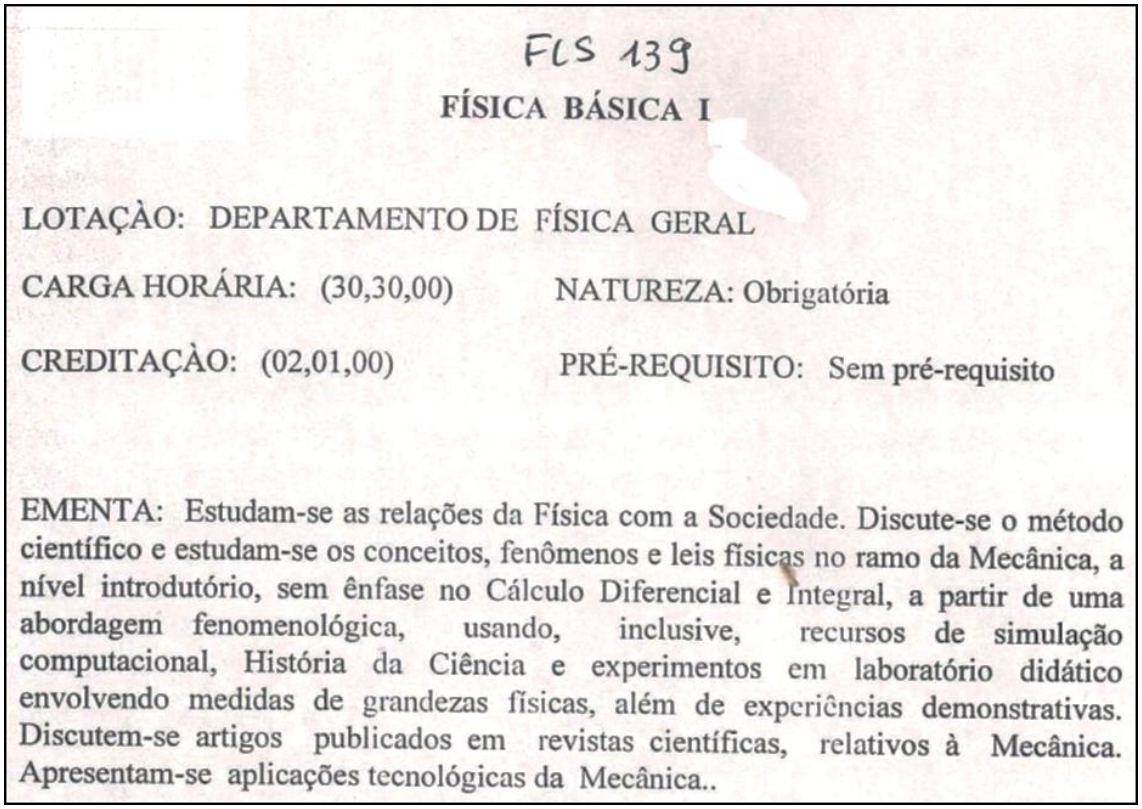
Pode-se concluir, portanto, que uma das grandes inovações do Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi a criação das quatro Físicas Básicas (I, II, III, e IV). No próximo tópico será apresentado um relato breve sobre as Física Básicas I e II e, nos capítulos 3 e 4, será destacado o papel desempenhado pelas Físicas Básicas III e IV, respectivamente, na consolidação do projeto constituído por essas quatro disciplinas.

2.6 A Implantação das Físicas Básicas

2.6.1 As diferentes propostas de abordagem de conteúdo

Efetivamente, o processo de implantação das Físicas Básicas teve início no primeiro semestre de 1999, por ocasião do planejamento didático do Departamento de Física Geral, ao qual estava vinculada a disciplina Física Básica I e, portanto, era o espaço apropriado para começar a discussão da implantação das Físicas Básicas. Nessa ocasião, apresentavam-se, pelo menos, duas opções diferentes de como ministrar a Física Básica I, especialmente, quanto à ênfase no curso, se esta deveria ser nos aspectos fenomenológicos ou se nos aspectos histórico-conceituais. O enfoque a adotar se tornou importante em razão da influência que esta decisão, certamente, teria, no desenho das demais Físicas Básicas, a serem oferecidas nos semestres seguintes. Estas diferentes visões estavam apoiadas no próprio texto da ementa desta disciplina que era bastante geral (como deveria ser) e, naturalmente, permitia a escolha de caminhos diferentes para apresentar o mesmo conteúdo.

[30] Na Universidade Estadual de Feira de Santana, na mesma época (1997), foram criadas três disciplinas obrigatórias para o Bacharelado e a Licenciatura em Física, denominadas Fundamentos de Física I, II e III, que lembram um pouco o projeto das quatro Físicas Básicas, mas que diferem num aspecto essencial: a carga horária de 45 horas semestrais, de cada uma delas, era explicitamente destinada a estudos teóricos (T45, P00, E00), enquanto no caso das Físicas Básicas, metade da carga horária era destinada à parte teórica e a outra metade à experimental (T30, P30, 00). A pouca valorização da parte experimental das disciplinas “Fundamentos” pode ter sido um dos motivos para a posterior extinção de duas delas e a transformação da outra em optativa.



FLS 139

FÍSICA BÁSICA I

LOTAÇÀO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA GERAL

CARGA HORÁRIA: (30,30,00) NATUREZA: Obrigatória

CREDITAÇÀO: (02,01,00) PRÉ-REQUISITO: Sem pré-requisito

EMENTA: Estudam-se as relações da Física com a Sociedade. Discute-se o método científico e estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas no ramo da Mecânica, a nível introdutório, sem ênfase no Cálculo Diferencial e Integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive, recursos de simulação computacional, História da Ciência e experimentos em laboratório didático envolvendo medidas de grandezas físicas, além de experiências demonstrativas. Discutem-se artigos publicados em revistas científicas, relativos à Mecânica. Apresentam-se aplicações tecnológicas da Mecânica..

QUADRO 2 – Ementa da disciplina Física Básica I.

Fonte: IFUFBA, Colegiado de Graduação em Física, 1998.

Conforme se pode ver na ementa de Física Básica I, apresentada no *Quadro 2* (Ver também a ementa de Física Básica II no tópico 2.6.3), a História da Ciência (História da Física) e experimentos em laboratórios didáticos são postos como recursos a serem usados para apresentar os conteúdos. Não há referência à extensão em que deveriam ser incluídos os aspectos históricos e filosóficos do conteúdo proposto, apesar de haver referência à discussão do método científico, um dos temas de grande interesse da Filosofia da Ciência. Convém lembrar que a extensão em que se deve incluir a História e Filosofia da Ciência não é um ponto consensual entre defensores desta ideia, sendo que duas posições podem ser geralmente consideradas: uma delas defende que a História e a Filosofia da Ciência sejam tratadas como algo complementar, dentro do *programa padrão* de ciências e, a outra, defende que o currículo de ciências, incluindo-se o de Física, deve ser concebido de maneira que as dimensões históricas, culturais e filosóficas da ciência sejam explicitamente tratadas,

com o currículo sendo organizado em bases históricas (Ver Apêndice 2). Mas, no processo de implantação da Física Básica I, não só as questões relativas à ementa devem ser comentadas. Na tentativa de dar um contorno bem definido a esta disciplina, separando-a, nitidamente, da tradicional Física Geral e Experimental (destinadas aos alunos de engenharia, química, matemática, geologia etc.), terminou-se por acrescentar e recomendar (desnecessariamente), como bibliografia, uma relação de livros de autores importantes, mas que, isoladamente, não atendia aos propósitos das Físicas Básicas ([31]). Alie-se a isto o fato de que no "Programa de Disciplina" foi indicado como livro-texto o primeiro volume da coleção produzida pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, intitulado *Mecânica*, vol. 1 ("textos para professores") ([32]), e, em virtude de sua estrutura, este livro induzia os professores a transformar a Física Básica I em uma disciplina essencialmente experimental, sem articulação alguma com a História da Ciência (História da Física), isto é, sem indicação ou exigência para recuperar o contexto histórico em que o conteúdo foi produzido, o que a afastaria de sua concepção original. A razão desse exagero de indicar inclusive o livro-texto pode ser compreendida diante da preocupação do Colegiado em evitar que as chamadas Físicas Básicas fossem confundidas com as Físicas Gerais e Experimentais, naquilo que diz respeito à profundidade do conteúdo matemático e à forma de apresentá-lo. Como se não bastasse, a carga horária da parte teórica, que para as Físicas Básicas II, III e IV (30 horas; efetivamente 34 horas) poderia estar adequada, no caso de Física Básica I se mostrou subdimensionada, especialmente na hipótese de se desejar expor as relações entre a Astronomia e a ciência filosófica da Antiguidade e Idade Média, épocas em que a "construção de experimentos" ainda não era um elemento importante na investigação dos fenômenos da natureza.

Quanto ao uso de "recursos de simulação computacional", referido também na ementa, o esperado era que, de alguma forma, o uso de computadores fosse integrado aos cursos, o que de fato não aconteceu. Esta parte da ementa não deixou claro o que

[31] Foram recomendados autores como Pierre Lucie, *Física Básica*, *Mecânica*, Editora Campos, Rio de Janeiro (1979); Richard Feynman, *Física, Mecánica, radiación y calor*, Fundo Educativo Interamericano S. A. (1971); Albert Einstein e L. Infeld, *Evolução da Física*, Rio de Janeiro, Zahar (1976); Bassalo, J. M. F., *Crônicas da Física*, Pará, Editora Universitária, 4 volumes (1987 a 1995); e a coleção do PSSC – Physical Science Study Committe, Editora Universidade de Brasília (1967). (Ver também Anexo 2.G).

[32] Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, *Física*, São Paulo, Edusp, 3 volumes.,1993.

estava sendo pretendido, pois parece propor como atividade para os cursos das Físicas Básicas (não só para Física Básica I) não a utilização de modelos computacionais aplicados a situações práticas e sim o *desenvolvimento* de modelos computacionais para a solução de problemas científicos, o que não era o caso. Esta parte da ementa não foi exercitada em Física Básica I nem nas demais Físicas Básicas, razão pela qual não se retornará a este assunto neste trabalho.

2.6.2 A disciplina Física Básica I em sala de aula – a recepção dos alunos

Apesar das dificuldades apresentadas, a resposta dos alunos à primeira aplicação do programa da disciplina Física Básica I foi positiva e muito além das expectativas mais otimistas. O ponto mais importante para seu sucesso foi certamente a proximidade das ideias do professor, designado para ministrá-la, com o espírito da proposta desta disciplina, já que o mesmo compreendia a importância da contextualização de conteúdos, fazendo uso de experimentos de laboratório e aspectos históricos e filosóficos das ciências. Ocorre que ao longo do processo de preparação e de execução do curso de Física Básica I (Ver adiante discussão do “Relatório da Disciplina FIS 139 – Física Básica I - Semestre 1999.1”), o professor verificou que a parte experimental de Física Básica I tinha peculiaridades. Em razão da sua opção pela ênfase nos aspectos histórico-conceituais, o “laboratório” dessa disciplina foi repensado para abranger o próprio universo conhecido pelos estudiosos antigos, reduzindo-se assim o número efetivo de experimentos em sala de aula. Uma das consequências dessa opção metodológica foi que parte da carga horária de 30 horas destinada às atividades experimentais foi utilizada para aulas teóricas, o que se mostrou, entretanto, uma adequação muito apropriada. Outro fator que, indiretamente, pode ter contribuído para o sucesso da experiência com Física Básica I foi o momento vivido pelo Instituto de Física, após a volta para Salvador de professores deste Instituto, que estavam fazendo doutorado em São Paulo nas áreas de Ensino, História e Filosofia da Ciência (Yukimi H. Pregnolatto, Maria Cristina M. Martins e Olival Freire Júnior). Nessa época,

já eram oferecidos cursos de atualização e especialização em Física ([33]) e, após a criação do curso noturno, em 1998, discutia-se a criação de um novo programa de pós-graduação, envolvendo essas áreas. Este programa se transformou em realidade no ano 2000, com a criação do Mestrado em Estudos Interdisciplinares sobre Ciência e Educação, logo depois transformado no Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, com a criação do Doutorado (2006).

Como já foi citado, o resultado do primeiro curso de Física Básica I foi bem documentado no "Relatório da disciplina FIS139 – Física Básica I – Semestre 1999.1", apresentado pelo professor desta disciplina, Olival Freire Júnior, ao Departamento de Física Geral do Instituto de Física da UFBA, em 8 de novembro de 1999. ([34]) Na Introdução desse documento, o professor assim se refere à Física Básica I e a sua opção pela abordagem contextual (IFUFBA, 1999, nov.):

> Como se sabe, esta disciplina foi criada como uma espécie de prévia à Física Geral e Experimental I, para uma abordagem do mesmo conteúdo de Mecânica, mas com menor ênfase no formalismo matemático, com os alunos cursando cálculo I em paralelo. Uma das possibilidades existentes, que propus a este departamento, era a de se usar uma abordagem histórico-conceitual. Esta possibilidade era muito atraente porque desde meados dos anos 80 está em curso o que se convencionou chamar de ´repprochement` [[35]] entre história filosofia e ensino de ciências como uma das respostas à ainda presente crise mundial do ensino de ciências e da ´alfabetização científica` em geral (Matthews, Science Teaching, 1994). Esta tendência, cujos precursores remontam a fins do século passado – com Ernest Mach – e início deste século – com Paul Langevin -, enfrenta um duplo desafio, de um lado trata-se de formular currículos, programas e materiais didáticos adequados a tais objetivos, de outro lado investigar a eficácia destas tentativas, avaliando esta eficácia com o grau de aproximação que se atinja o objetivo de melhorar o aprendizado em ciências e sobre ciências. [...] A avaliação da eficácia foi feita através de pesquisa qualitativa analisando respostas a questionário e testes**.** As conclusões obtidas apontam para a viabilidade de um curso com esta abordagem,

[33] Em 18 de abril de 1997, foi instalado o "Curso de Especialização em Física, Segunda Edição", cujo Colegiado foi composto pelos professores Yukimi Horigoshi Pregnolatto, Maria Cristina Martins, Aurino Ribeiro Filho, Arthur Matos Neto e Paulo Miranda, tendo ficado a coordenação a cargo da professora Yukimi H. Pregnolatto. Nessa época, a professora Maria Cristina era Coordenadora do Curso de Atualização em Física, já em desenvolvimento.

[34] Relatório entregue pelo professor Olival Freire Júnior ao Departamento de Física Geral do Instituto de Física da UFBA, com cópia para o Colegiado de Graduação em Física, em novembro de 1999.

[35] O termo ´repprochement` pode ser compreendido como retomada de relações cordiais.

> no que pese certas dificuldades estruturais existentes, e para um diferencial favorável de aprendizado face a outras abordagens.

Mais adiante, ao expor “o desenho do curso”, o professor da disciplina esclareceu as escolhas que teve de fazer em razão de sua “opção pela abordagem histórico-conceitual” (IFUFBA, 1999, nov.):

> A opção por uma abordagem histórico-conceitual levou a algumas opções que demandam justificativas. Na elaboração do programa optamos por começar com o estudo dos grandes modelos astronômicos, valorizando assim a astronomia, por compreender que ela foi o ´laboratório` privilegiado na origem da mecânica; que o surgimento da mecânica precisou enfrentar o ´obstáculo epistemológico` representado pelos argumentos contra a rotação da Terra devido a ausência de efeitos sensíveis desta rotação, e pelo fato de a apresentação da disputa entre os ´dois maiores sistemas de mundo` permitir uma reflexão sobre a natureza do empreendimento científico e, em especial a relação entre aspectos teóricos e empíricos de um lado, e entre fatores estritamente científicos e fatores culturais mais gerais, do outro. Esta opção conduziu a apresentar as leis de conservação - momento, energia e momento angular – na fase final do curso, diferindo, desse modo, de opções como aquela do GREF, que começam exatamente por estas leis. Esta opção determinou também a escolha das demonstrações e atividades a serem desenvolvidas, levando a uma seleção de atividades cujos conteúdos pudessem ser fortemente correlacionados com o programa adotado. Neste âmbito foi fundamental o apoio dos Professores Paulo Poppe, na visita ao Observatório Antares da UEFS, Walter Duarte (UESB-USP), na experiência do plano inclinado, e Paulo Miranda (UFBa) com a “bacia de Kepler”, além do aluno Luciano Francisco na obtenção dos filmes ‘Giordano Bruno` e episódio de série de TV, sobre a vida de Kepler.
>
> A escolha do livro-texto foi, e continua sendo, o grande obstáculo a um curso com este programa e abordagem, devido à não disponibilidade no mercado editorial nacional de um livro que possa ser adotado como ‘o livro texto’. Optamos por uma composição entre capítulos do Pierre Lucie (A gênese do método científico, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1977, e Física Básica I, Fundação CESGRANRIO, Rio de Janeiro, 1975), capítulos do Luiz Peduzzi (As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica, 3 livros, mimeo., Florianópolis, 1998) e do Projeto Harvard (F.J. Rutherford, G. Holton, & F.G Watson- The Project Physics Course - Text, Holt, Minehart & Winston, New York, 1970, 1st ed.) O primeiro está esgotado no mercado, o segundo ainda não está disponível no mercado, e o terceiro só dispomos da versão em inglês, o que nos levou a um trabalho e tradução. Esta última alternativa se revelou, a nosso ver, a mais adequada para este curso. Primeiro pela constante preocupação em usar a história para a aprendizagem da física e do “modus operandi” da

> física. Deste modo eles eliminaram uma série de problemas e demonstrações de astronomia que requerem um pensamento geométrico mais elaborado, coisa que o Pierre Lucie não faz: apresentam uma série significativa de problemas e questões que são essenciais para as atividades dos alunos, algo praticamente inexistente nos livros de P. Lucie, e ainda existente em pequena escala nos textos de Peduzzi. Foram elaboradas oito listas de exercícios, perfazendo um total de cerca de 150 exercícios. Parte significativa desses exercícios foi extraída do livro-texto do Projeto Harvard. Além disso os recursos de ilustrações (que usei no modo de transparências) tornam de fato este livro o mais adequado ao nosso objetivo. Infelizmente, embora exista edição deste livro em português pela Fundação Calouste Gulbenkian, os volumes (1 e 2) referentes ao surgimento da mecânica estão esgotados. O livro de Peduzzi poderá evoluir para suprir esta lacuna , mas levará ainda algum tempo para fazê-lo, daí a expressão 'dificuldades estruturais' que utilizei. Ainda quanto à bibliografia, foi recomendado o uso da Física, de Jay Orear (LTC Editora, RJ, 1975), especialmente para uma revisão de matemática elementar, e a leitura de alguns tópicos do Física Básica, Vol. 1, de H.M. Nussenzveig (Editora Edgard Blucher). A minha própria preparação do curso foi favorecida pelo exame do Projeto Harvard, de modo que as linhas gerais da abordagem do curso seguiram esse livro.

No seu "Relatório", o professor refere-se também à avaliação de aprendizagem dos alunos e à avaliação feita pelos próprios alunos da proposta desta disciplina e do curso ministrado. Ao se referir à avaliação de rendimento dos alunos, o professor mostrou que o resultado foi positivo, e sobre isto voltaremos a falar mais adiante. No momento, desejamos comentar apenas a avaliação da proposta desta disciplina e do curso ministrado, feita pelos próprios alunos. De acordo com o citado "Relatório", o tratamento diferenciado oferecido aos licenciandos em Física, através da disciplina Física Básica I, somado à criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, que, na época, era o único curso com todas as aulas oferecidas à noite, foi recebido com todo o entusiasmo pelos estudantes, o que pode ser observado nas declarações dos alunos transcritas a seguir.

Opiniões manifestadas pelos alunos sobre Física Básica I (IFUFBA, 1999, nov.)

> Aluno 1 - "É difícil criticar uma disciplina que foi fator decisivo e estimulante para a definição de minha vida acadêmica."

> Aluno 2 - A disciplina Física Básica ajuda o aluno do curso universitário a decidir sobre sua continuidade no curso de Licenciatura em Física.
>
> Aluno 3 - Para mim, esta é uma abordagem inédita, e que aponta para uma solução do problema da física no ensino médio.
>
> Aluno 4 - Considero frustrante e imperfeito a abordagem do conhecimento científico desvinculado do contexto histórico, psicológico ou cultural no qual esse conhecimento foi concebido. A não ser que o interesse seja por um saber puramente técnico, portanto, sabidamente empobrecido.
>
> Aluno 5 - Quem acompanha uma obra, da fundação à cobertura, goza de uma intimidade a mais para com esta. Se não for a maior das intimidades, será no mínimo diferenciada, porque mais rica de detalhes. Isto gera confiança para novas empreitadas e, em tese, é o que "fica".
>
> Aluno 6 - A construção do conhecimento envolveu um paralelismo dedutivo que somou ciência, religião, filosofia, história e cultura geral. Foi gratificante!
>
> Aluno 7 - Esta disciplina é bastante motivadora, incentivando os alunos a se aprofundarem nos conceitos. Eu, particularmente, que já era apaixonado pela Física, fiquei ainda mais estimulado através das aulas de Física Básica.
>
> Aluno 8 - A disciplina é importantíssima, pois favorece toda a abordagem histórico-conceitual que é extremamente necessária para um futuro licenciado em Física.
>
> Aluno 9 - Se tal disciplina não tinha sido, até então, abordada com esta conotação ou equivalente, o Instituto de Física errou! ! ! uma vez que o curso é para físicos (licenciados e bacharéis) e não para engenheiros. Não vejo necessidade de uma abordagem demasiadamente pragmática.
>
> Aluno 10 - PARABÉNS ao Instituto de Física pela iniciativa do Curso Noturno! Isto é cuidar do social, fazer política com P maiúsculo. Incentivem o Reitor a abrir outros cursos. O povo, o pobre precisa, O Brasil ... É feio ver Biologia, Letras, Matemáticas... à noite fechados.

Ainda de acordo com o professor da disciplina, resultados obtidos com abordagens como esta (IFUFBA, 1999, nov.):

> [...] corroboram a tese de que o ensino de ciências com enfoque histórico e conceitual pode contribuir não só para inscrever os conteúdos científicos em um quadro cultural mais amplo, e por isto mais motivante porque mais próximo das sensibilidades e inquietações dos alunos – o que seria natural se esperar – mas <u>também</u>, e aqui está um aspecto

> essencial, pode contribuir para uma melhor aprendizagem dos conteúdos científicos. Uma das razões para esta última vantagem é que tal ensino pode trazer à tona ideias próprias dos estudantes que guardam certa similaridade com ideias que estiveram presentes no desenvolvimento histórico das disciplinas científicas.

Ao final, o professor conclui seu Relatório afirmando que (IFUFBA, 1999, nov.):

> O curso ministrado, enquanto experiência didática, foi cercado de êxito, e as manifestações dos alunos no final do curso, e não só na avaliação escrita, são um indicador dessa avaliação. A experiência didática, mais as observações feitas, além da análise desses dados, apontam algumas contribuições para o problema que nos motivou na preparação do curso: **qual o melhor desenho para um curso com esta abordagem**, e **qual a sua eficácia no aprendizado da ciência e sobre a ciência**. [grifo nosso]

Após este comentário o professor relaciona suas conclusões, divididas em três itens (IFUFBA, 1999, nov.):

> 1) O desenho de um curso desta natureza enfrenta, nas condições brasileiras atuais, um obstáculo estrutural: a **ausência de um livro-texto satisfatório em língua portuguesa**.[grifo nosso] A importância desse material fica realçada se compreendermos que ele é essencial não só para os alunos que fazem o curso, mas também para os professores que vão ministrar disciplinas com tais abordagens poderem preparar seus cursos com êxito. Este segundo aspecto não pode ser subestimado porque sabemos que a formação graduada e pós-graduada usual do físico não valoriza tais aspectos, de modo que professores sensibilizados e em condições de ministrar tais disciplinas chegaram a esta condição mais por um percurso de autodidatismo que pelo ensino normal. No caso da nossa experiência conjecturo que mais da metade dos fatores que contribuíram para o êxito do curso derivam do fato de que o desenho desse curso seguiu de perto o livro do “Projeto Harvard.
>
> 2) As avaliações feitas com os alunos mostraram que tal abordagem facilita uma melhor compreensão do conteúdo da própria Física e apresenta a vantagem adicional de inserir aquele conteúdo no quadro da herança da cultura ocidental, permitindo uma compreensão, ainda que inicial, das relações entre ciência e sociedade, além de contribuir para tornar este conteúdo mais atrativo aos estudantes, por relacioná-lo com outras dimensões da existência humana além daquela da instrumentalidade técnica e do conhecimento da natureza.
>
> 3) A análise dessa experiência sugere que a eficácia de um curso com esta abordagem na formação dos licenciados em Física transcende o formato do atual currículo da nossa Licenciatura Noturna, de modo que

> cursos com esta abordagem, podem e devem ser introduzidos independente da denominação e da solução curricular adotada.

Nesse último item da conclusão, o professor procura mostrar que não foi o formato do currículo do Curso de Física, Licenciatura, noturno, que proporcionou o resultado positivo obtido no curso de Física Básica I e que outras soluções poderiam ser adotadas. É evidente a correção do professor neste particular, mas também é verdade que a solução adotada para o Curso de Física, Licenciatura, noturno, revelou-se um dos caminhos que podem levar a um bom resultado. Isto é relevante, pois a proposta adotada no currículo do curso noturno envolveu quatro Físicas Básicas e não só a Física Básica I. A questão a ser respondida agora é se esta abordagem seria igualmente eficaz, quando estendida à disciplina Física Básica II e as demais Físicas Básicas.

2.6.3 A disciplina Física Básica II em sala de aula – a recepção dos alunos

FIS 140

FÍSICA BÁSICA II

LOTAÇÀO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO

CARGA HORÁRIA: (30,30,00) NATEREZA: Obrigatória

CREDITAÇÀO: (02,01,00) PRÉ-REQUISITO: Sem pré-requisito

EMENTA: Estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas relacionados com oscilações, fluidos, ondas e calor, a nível introdutório, sem ênfase no Cálculo Diferencial e Integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive recursos de simulação computacional, História da Ciência e experimentos de laboratório envolvendo medidas de grandezas físicas, além de experiências demonstrativas. Discutem-se artigos simples publicados em revistas científicas relativos aos conteúdos citados, bem como suas aplicações tecnológicas.

QUADRO 3 – Ementa da disciplina Física Básica II.

Fonte: IFUFBA, Colegiado de Graduação em Física, 1998.

A implantação da disciplina Física Básica II se deu no segundo semestre do ano de 1999 por ocasião do planejamento acadêmico do Departamento de Física do Estado Sólido, onde esta disciplina estava lotada. Para muitos, a expectativa em torno do curso de Física Básica II era a de que este repetisse o mesmo sucesso obtido com a Física Básica I, tendo em conta o equacionamento e superação de muitas das dificuldades observadas na experiência de ministrá-la, como a falta de um livro-texto satisfatório em língua portuguesa**.** Os resultados obtidos em Física Básica II, entretanto, não se igualaram aos de Física Básica I e algumas razões podem ser relacionadas.

A primeira foi a publicação tardia do "Relatório da disciplina FIS139 – Física Básica I – Semestre 1999.1", que só ocorreu em novembro de 1999, algum tempo depois, portanto, do início do curso de Física Básica II. Este atraso dificultou a socialização da experiência adquirida no semestre anterior, já que alguns professores não conheciam as dificuldades enfrentadas pelo professor de Física Básica I para superar os desafios de ensinar uma disciplina sobre a qual não se dispunha de informações e dados de experiências anteriores.

A segunda foi, certamente, o já referido problema do livro-texto. Este não é um problema a ser subestimado num curso universitário introdutório. Se optasse por uma abordagem histórico-conceitual, o professor de Física Básica II, certamente, teria de fazer um esforço adicional para escrever seus próprios textos, um trabalho considerável, mesmo contando com textos de referência, em língua inglesa, como aqueles do "Project Physics Course", produzido pela Universidade de Harvard. ([36]) De qualquer forma, não seria fácil produzir um extenso material que tratasse da evolução dos conceitos físicos relacionados a fluidos, ondas e oscilações mecânicas, além daqueles relativos às leis da Termodinâmica e Teoria Cinética, articulando-os com experimentos de laboratório.

A terceira razão a ser considerada é a característica dos conteúdos de cada uma dessas disciplinas. O conteúdo de Mecânica, proposto na ementa de Física Básica I, envolve a história de conceitos que evoluíram ao longo de mais de dois mil anos, em estreita relação com o desenvolvimento da Astronomia, tratando-se, pois, de assuntos pouco explorados no ensino médio e universitário. Como se sabe, os cursos de

[36] Rutherford, F. J., Holton, G. & Watson, F.G. *The Project Physics Course* - Text, Holt, Minehart & Winston, New York, 1st ed. 1970.

Mecânica, nestes dois níveis, partem geralmente das leis da Mecânica, pouco discutindo o percurso histórico que resultou na sua formulação, elegendo-se normalmente a cinemática como ponto de partida. É evidente que este enfoque adotado nos cursos tradicionais de Mecânica deixa um largo espaço a ser ocupado por Física Básica I, com um extenso conteúdo a ser explorado, mesmo que nesta disciplina pouco se exercite a sua parte experimental. Os conteúdos de Física Básica II, entretanto, têm outras características. Como se pode depreender da sua ementa, as leis da Termodinâmica e a Teoria Cinética dos Gases constituem o seu conteúdo mais extenso, sendo complementado por uma variedade de outros assuntos como oscilações, fluidos e ondas. Ocorre que esta multiplicidade de assuntos ocupando, eventualmente, metade da carga horária da disciplina, dificulta a preparação de um curso único, apoiado em experimentos de laboratório, que tenha o objetivo principal de revelar os caminhos que levaram à formulação das leis da Termodinâmica e ao desenvolvimento da Teoria Cinética dos Gases. Além do mais, o estudo introdutório das aplicações da Mecânica a fluidos, oscilações e ondas não tem uma história conceitual tão extensa e rica quanto a da própria Mecânica.

A quarta razão foi a opção inicial do professor por uma abordagem digamos *teórico-conceitual* (e não histórico-conceitual) com base no livro *Fisica General* de Lev Landau**.** Esta opção era bastante ambiciosa e não se mostrou muito apropriada para uma turma de alunos iniciantes, sobretudo por não vir simultaneamente articulada a sua respectiva parte experimental. Considerando a pouca receptividade dessa abordagem, o professor, oportunamente, optou por fazer ajustes de rumo, introduzindo uma programação de atividades experimentais, mas com pouca variedade de experimentos demonstrativos. A opção de articular a apresentação da teoria a sua parte experimental talvez pudesse ter sido uma ideia a ser considerada desde o início do curso, o que também teria exigido um esforço considerável do professor, em razão da falta de tradição de cursos desse tipo no Instituto de Física da UFBA, em que os experimentos em laboratório não acompanham, necessariamente, a sequência dos assuntos apresentados na parte teórica.

Nesse primeiro semestre do oferecimento de Física Básica II não foi feita uma avaliação registrando a receptividade dos alunos. Mas, no Capítulo V, voltaremos a

comentar a receptividade dos alunos às disciplinas Física Básica I e II. No que diz respeito às disciplinas Física Básica III e IV, estas serão tratadas, como já anunciado na Introdução, nos Capítulos III e IV, respectivamente.

2.7 O Curso de Física, Licenciatura, noturno, nos seus primeiros anos

Ainda no mês em maio de 1998, logo após a aprovação pela Câmara de Ensino de Graduação do projeto de criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi iniciada sua divulgação através das mais variadas formas. Além da divulgação padrão feita pelos órgãos da administração central da Universidade, o IFUFBA tomou a iniciativa de também divulgar a criação do curso noturno, enviando cartazes (coloridos) às escolas de ensino médio de Salvador, textos explicativos das condições oferecidas para o funcionamento do curso (Ver Anexo 2.K), e ainda cumpriu uma programação de visitas às principais escolas de Salvador, da qual participou também o Diretor do IFUFBA, Manuel Blanco Martinez, visitando inclusive emissoras de rádio, a exemplo da Radio Excelsior da Bahia, existente (ainda hoje) no Bairro do Garcia, onde deu entrevista ao vivo. ([37])

A grande divulgação realizada, reforçada pela novidade da proposta, produziu resultados imediatos. Já no primeiro semestre de 1999, com o ingresso da primeira turma de 40 alunos, foi possível verificar o acerto da iniciativa. Nos anos que se seguiram, consolidou-se a certeza de que este curso era plenamente viável, apesar das dificuldades naturais advindas do não funcionamento regular da Universidade no período da noite. O primeiro grande desafio superado nesse período foi o de encontrar professores para todas as disciplinas do curso, especialmente as de Matemática. Presteza não faltou aos Departamentos de Matemática, de Química, de Educação I, de Educação II e naturalmente aos Departamentos do Instituto de Física da UFBA para

[37] Aliás, esta não foi a primeira vez que iniciativas desta natureza tinham sido tomadas. Na década de 1960, esforços com objetivos de despertar o interesse dos jovens para ingressar no Curso de Física tinham sido feitos primeiro pelo professor Waldez Alves da Cunha (por volta de 1962) e, mais tarde, independentemente, por outros professores.

atender as demandas do Colegiado do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Aquele era, entretanto, um período de grandes dificuldades e, muitas vezes, foi difícil encontrar até mesmo Professor Substituto que aceitasse ministrar determinadas disciplinas no período da noite. Um caso emblemático foi o de um professor (Professor Substituto) de Cálculo III que faltou por um período longo e, em seguida, simplesmente desistiu de ministrar a disciplina por ter conseguido emprego em uma universidade particular, problema que, felizmente, foi contornado pelo Chefe do Departamento de Matemática. Outro fato não menos representativo das condições da época, foi a dificuldade do Departamento de Matemática em encontrar um Professor Substituto para ministrar a disciplina Cálculo II, já que, simplesmente, não apareciam candidatos. Diante da ameaça dos alunos ficarem sem cursar esta disciplina naquele semestre, o Colegiado de Física desenvolveu gestões para convencer a professora Nice Americano da Costa Pinto, do Instituto de Física, a ministrá-la, o que de fato foi feito com a ajuda inestimável da professora Elinalva Vergasta de Vasconcelos, do Instituto de Matemática, que, mesmo sobrecarregada, aceitou ministrar as aulas de exercício de Cálculo II. É justo também aqui ressaltar o comprometimento dos Departamentos de Matemática, de Química Inorgânica, de Educação I e II e dos Departamentos do IFUFBA que, na época da criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, compreendendo a importância social do projeto, concordaram em oferecer as disciplinas obrigatórias, mesmo sem a garantia de novos concursos.

Por outro lado, a concentração das aulas apenas no prédio do IFUFBA (e, eventualmente, na Faculdade de Educação) reduzia o problema de segurança em razão da pouca movimentação de pessoas no Campus de Ondina. Da parte da Direção do Instituto de Física não faltaram esforços para suprir as demandas do curso, inclusive abrindo a Biblioteca do IFUFBA à noite e munindo-a também com alguns livros de Matemática, cedidos temporariamente pelo Instituto de Matemática.

Após cinco anos de funcionamento, em 2003, procedeu-se a uma avaliação mais detalhada do desempenho do curso, constatando-se que, de fato, este havia sido uma experiência muito bem sucedida, desfazendo as dúvidas que ainda poderiam pairar

quanto a sua viabilidade, por continuar sendo o único curso noturno da UFBA até aquela data, situação que perdurou até 2007. ([38])

A primeira constatação foi a de que, com a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, o número de interessados no Curso de Física, diurno, aumentou significativamente de 1998 para 1999 (ver Tabela 4). A relação candidatos-vaga no vestibular referente ao ano de 1999 aumentou em relação ao ano de 1998, mesmo com o aumento do número de vagas oferecidas para os cursos de Física, em razão da criação de 40 vagas para o Curso de Física, Licenciatura, noturno. Para os candidatos que desejaram ingressar no Curso de Física, diurno, no ano de 1998 (ano anterior à implantação do curso noturno), o Curso de Física, diurno, oferecia somente 50 vagas no vestibular e a relação candidatos-vaga foi de 1,98, ou seja, inscreveram-se 99 alunos. No ano seguinte, após o aumento de vagas para os cursos de Física, com a criação de 40 vagas no Curso de Física, Licenciatura, noturno, a concorrência para o curso diurno aumentou para 3,7 candidatos-vaga, perfazendo um total de 183 alunos inscritos e, simultaneamente, a concorrência para o recém-criado Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi de 4,7 candidatos-vaga, com 186 alunos inscritos. Passando, portanto, de 99 alunos inscritos, no turno diurno, em 1998, para 369 alunos inscritos (diurno e noturno) no ano de 1999. Um crescimento de quase 4 vezes. As relações candidatos-vaga nos anos seguintes mantiveram-se estáveis, sendo que no ano de 2002 foi de 4,1 (diurno) e de 5,1 (noturno), num total de 437 candidatos inscritos. A evolução da relação candidatos-vaga para o curso diurno, desde 1996, e para o curso noturno, desde 1999, podem ser vistas na Tabela 4 e no Gráfico 3, mostrados a seguir. No período de 1999 a 2009, a média das relações candidatos-vaga foi de 4 tanto para o curso diurno quanto para o noturno. A partir de 2010, entretanto, esta média passou para o patamar de 3 (diurno) e 2,5 (noturno).

[38] Até 2010, o Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi o único curso noturno a formar alunos pela UFBA: 123 alunos concluíram o curso até aquele ano. Em 2012, dos 112 cursos da UFBA (nos seus diversos *campi*), 34 eram de licenciatura. Dos 33 cursos noturnos da UFBA (sendo 31 em Salvador e 2 em Barreiras), 12 eram de licenciatura, dos quais 11 em Salvador e 1 em Barreiras. (PRÓ-REITORIA, 2012).

TABELA 4 – Relação candidatos-vaga no Vestibular de Física – UFBA – período 1996-2011.

Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Física – diurno	2,1	2,5	2,0	3,7	4,7	3,1	4,7	4,2	4,5	3,7	4,9	4,1	4,1	3,6	3,0	3,2	2,7
Física Licenciatura – noturno	–	–	–	4,7	4,8	3,7	5,1	4,4	3,7	4,3	3,8	5,1	3,3	4,0	2,3	3,4	1,8

Fonte: Pró-Reitoria de Planejamento e Orçamento – Setor de Informação e Documentação. Evolução do Concurso Vestibular Física e Física Noturno, 1990-2012.

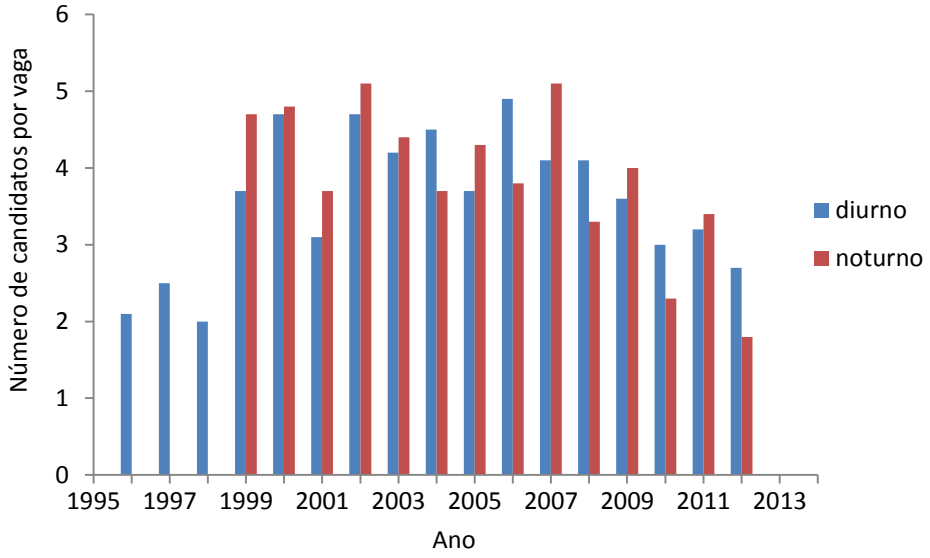


Gráfico 3 - Candidatos-vaga no vestibular de Física – UFBA – Salvador.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sucesso não se mostrou somente no aumento da concorrência, mas também no número de alunos matriculados a cada ano. Em1998, ano anterior à implantação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, o número de alunos matriculados, no primeiro semestre, na Licenciatura e no Bacharelado, diurnos, era de 165, mas, em 2003, no quinto ano de implantação do curso noturno, o total de alunos matriculados nos cursos

diurno e noturno de Física, da UFBA, em Salvador, era de 392 alunos, sendo 221 diurnos e 171 noturnos (o curso de Física do Campus de Barreiras só foi implantado em 2009). No primeiro semestre de 2011, esse número era de 474 alunos em Salvador, sendo 298 diurnos e 176 noturnos (Em 2011, havia, formalmente, 19 alunos matriculados no Curso de Física, Campus de Barreira, da UFBA). No Gráfico 4, a seguir, construído a partir da Tabela 5, apresentada ao final do capítulo, pode-se observar o número de alunos matriculados no Curso de Física, diurno, no período de 1952 a 2011. Os dados desta tabela permitem fazer comparação entre o número de alunos matriculados nos cursos diurno e noturno, o que foi ilustrado no Gráfico 5. O Gráfico 6 mostra, ano a ano, o total do número de alunos matriculados nos cursos de Física, diurno e noturno, desde a criação de cada um deles.

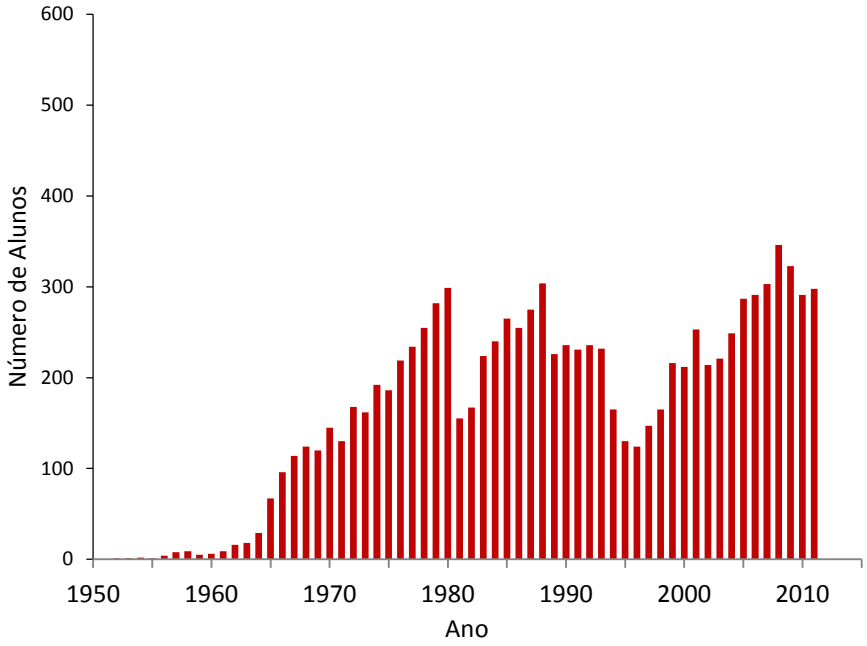


Gráfico 4 - Matrícula no Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

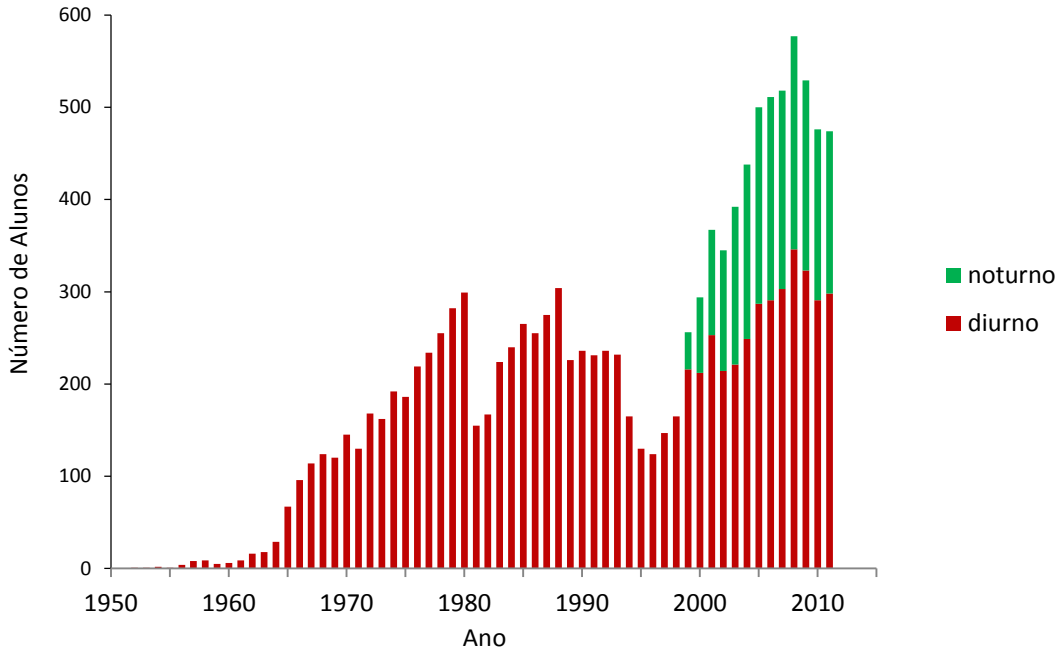


Gráfico 5 – Matrícula no Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno e noturno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

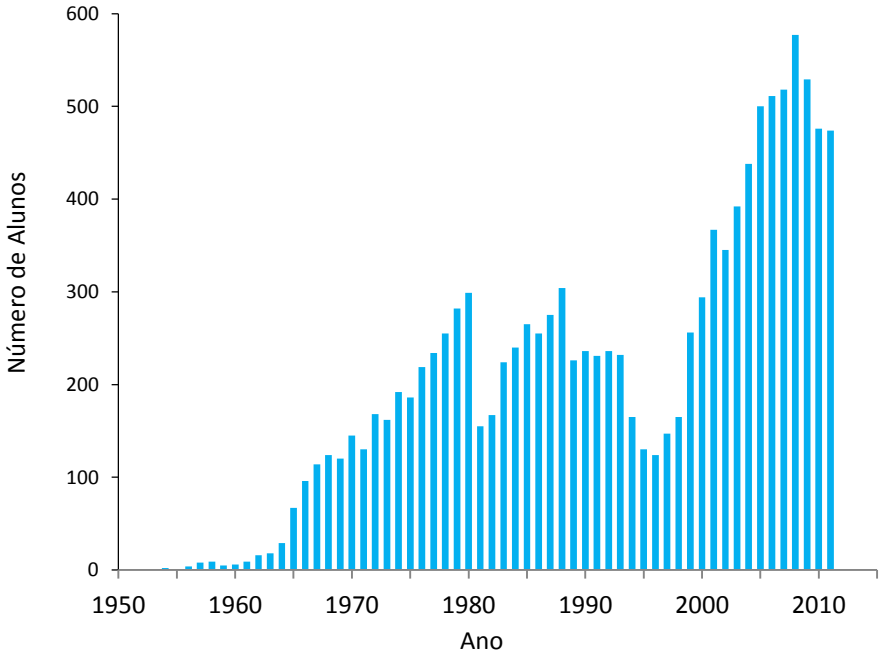


Gráfico 6 - Matrícula nos Cursos de Física – UFBA – Salvador – soma do diurno e noturno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Convém registrar que o sucesso maior não ficou por conta só do aumento do número de alunos matriculados nos cursos de Física. Foi verificado também um aumento significativo do número de alunos concluintes-ano, do Curso de Física, diurno, além do expressivo número de alunos concluintes-ano no Curso de Física, Licenciatura, noturno, o que pode ser observado nos Gráficos 7, 8 e 9 adiante, construídos a partir da Tabela 6, apresentada também ao final deste capítulo. Esta tabela mostra um levantamento completo do número de alunos que colou grau desde 1955 e nela pode-se constatar que, até 2002, mesmo antes da formatura regular dos alunos do curso noturno, prevista para 2003, o Curso de Física, Licenciatura, noturno, já havia diplomado 10 alunos, o que ocorreu em razão de aproveitamento de estudos anteriormente realizados. A primeira turma regular de formandos colou grau, no segundo semestre de 2003, de modo que dos 40 alunos que ingressaram, em 1999, 20 (50% - um número acima dos padrões históricos do Curso de Física) colaram grau até 2003, isto é, no tempo médio previsto de cinco anos para o curso noturno.

Conforme relatado no Capítulo 1, no período de 1955 a 1968, foram diplomados pela UFBA cerca de 38 profissionais na área de Física, numa média aproximada de 3 concluintes por ano. Esta média subiu para 10 concluintes por ano, no período de 1969 a 1998 ([39]) e para 31 no período de 1999 a 2011, ou para 40 no período de 2003 a 2011, se considerado que a primeira turma regular de formandos do curso noturno foi diplomada em 2003.

[39] Se fosse tomado como referência os dados do Arquivo Eletrônico do Setor de Informação e Documentação da Pró-Reitoria de Planejamento e Orçamento e não aqueles observado no Livro de Registro de Diplomas do Setor de Diplomas, da Superintendência Acadêmica da UFBA, no período de 1955 a 1968 esta média seria de 3 ao ano, sendo que no período de 1969 a 1998 esta média subiria para 8 alunos ao ano, o que corresponde a 246 concluintes e não a 296 (Tabela 6), que é valor observado nos Livros de Registro de Diplomas, do Setor de Diplomas da UFBA. Os dados acadêmicos destas duas fontes não coincidem.

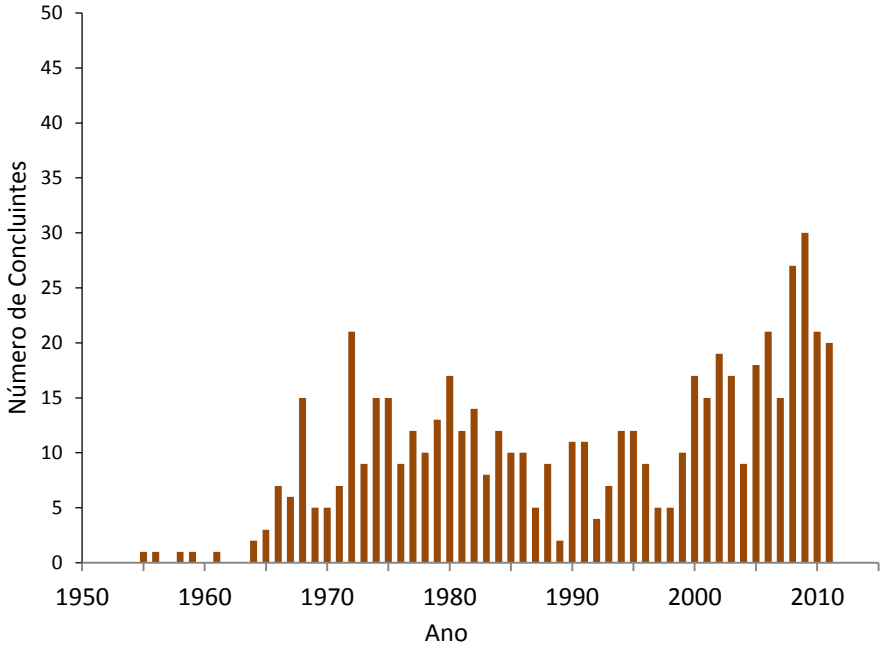


Gráfico 7 – Concluintes do Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

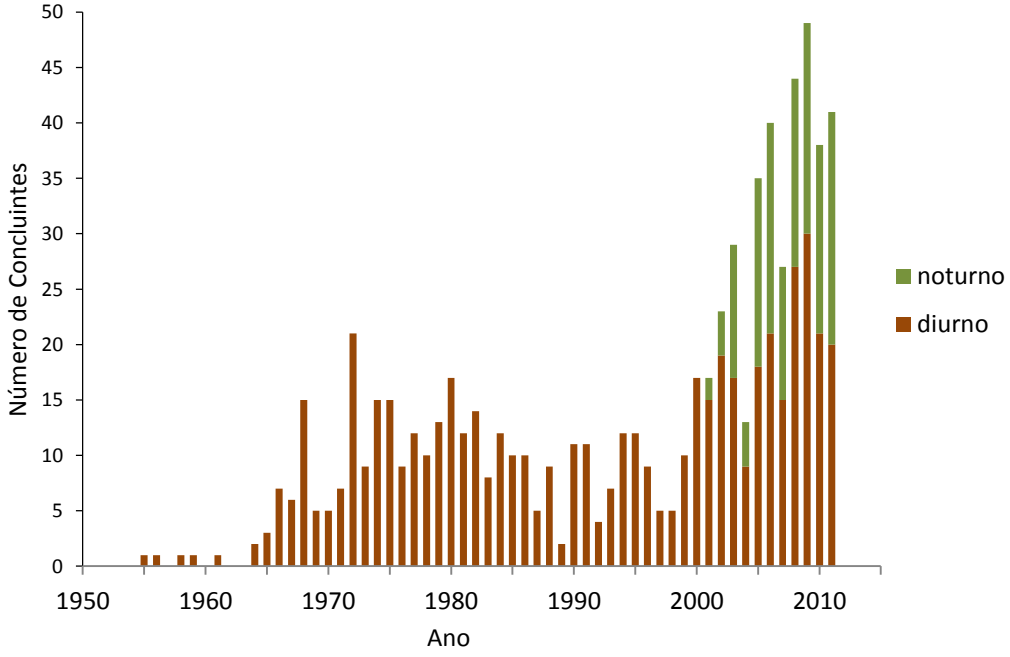


Gráfico 8 – Concluintes do Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno e noturno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

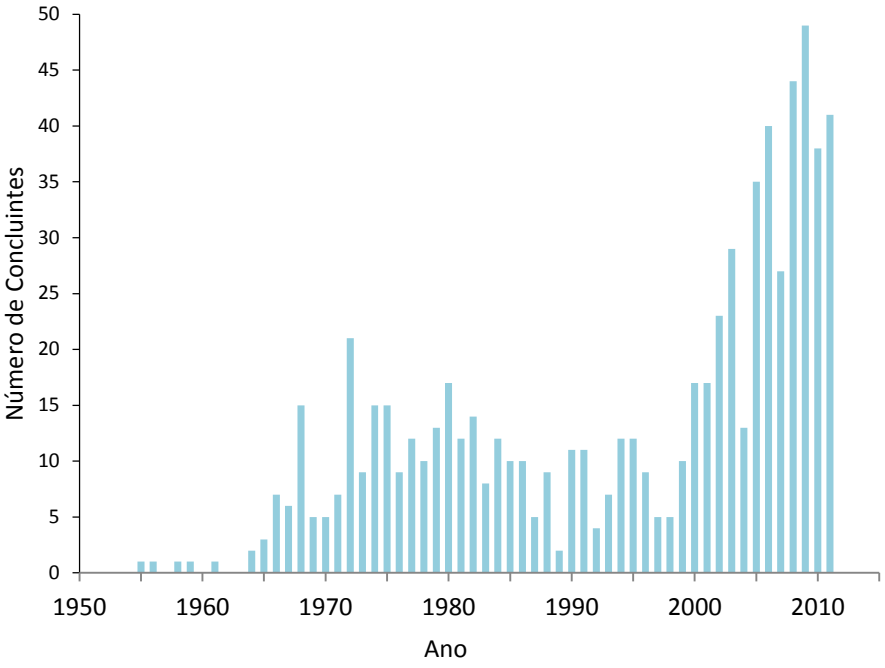


Gráfico 9 – Concluintes do Curso de Física – UFBA – Salvador – soma do diurno e noturno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados discutidos anteriormente permitem que sejam feitas algumas considerações importantes sobre a oportunidade de criação do curso de Licenciatura, noturno. A comparação dos Gráficos 4 e 7, por exemplo, revela que, por volta de 1996, o Curso de Física, diurno, da UFBA, (mas não só o Curso de Física, conforme será observado, adiante), passava por um processo de esvaziamento. Este esvaziamento se caracterizava pela redução paulatina do número de alunos matriculados no Curso de Física, diurno, e pela simultânea diminuição do número de concluintes. Na época, este fato era percebido pelo Colegiado de Graduação através da facilidade com que se realizava a matrícula de cada semestre em razão do baixo comparecimento dos alunos e do reduzido número de concluintes de cada semestre, a ponto de, no primeiro semestre de 1997, não haver sequer um concluinte e no segundo semestre deste mesmo ano, somente 3 licenciandos e 2 bacharéis terem sido diplomados. Este processo de esvaziamento por que passava o Curso de Física, diurno, pode ser melhor percebido se a análise do processo for concentrada no período de 1989 a 1996, o que pode ser observado nos Gráficos 10 e 11. É de notar que, em meados da década de 1990, houve não só uma redução do número de concluintes como também do número de alunos matriculados no curso de Física, em período equivalente, o que não aconteceu em outros momentos de baixo número de

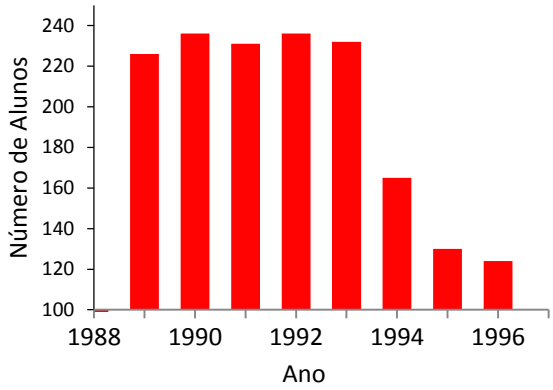


Gráfico 10 – Matrícula no Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

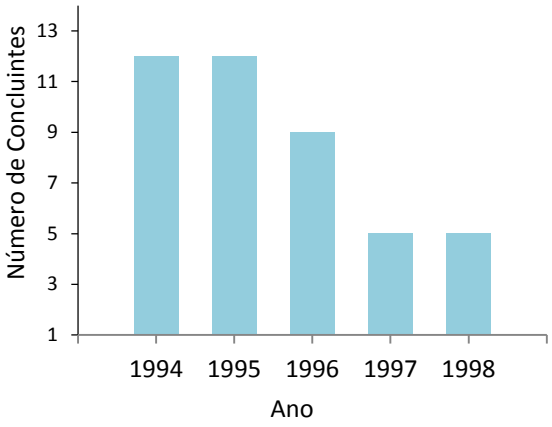


Gráfico 11 - Concluintes do Curso de Física – UFBA – Salvador – diurno.

Fonte: Elaborado pelo autor.

diplomação, como aquele verificado no ano de 1989. O desligamento voluntário dos alunos, em meados da década de 1990, parecia desaconselhar a abertura de mais vagas para o curso de graduação em Física, da UFBA e, consequentemente, parecia não recomendar a criação de um novo Curso de Física, nesta Universidade. ([40]) A avaliação que se fazia, entretanto, era a de que havia um número elevado de potenciais candidatos, com poucos recursos financeiros, desejosos de realizar um curso superior o que não era possível por não existir universidade pública na Bahia oferecendo cursos noturnos. O esperado era que a proposta de criação de um curso de Física, Licenciatura, noturno, atendesse pelo menos parte desta demanda.

Concluindo, deve-se registrar que o esvaziamento de curso, em meados da década de 1990, referido anteriormente, não era uma particularidade do Curso de Física. O Gráfico 12 mostra que outros cursos passavam por um fenômeno semelhante, a exemplo do Curso de Química. Isto, entretanto, não era o que acontecia com todos os cursos de graduação da UFBA, a exemplo do Curso de Engenharia Química, pelo menos na intensidade que ocorreu com o de Física e de Química. Uma análise aprofundada deste fenômeno merece um estudo específico, a ser feito oportunamente.

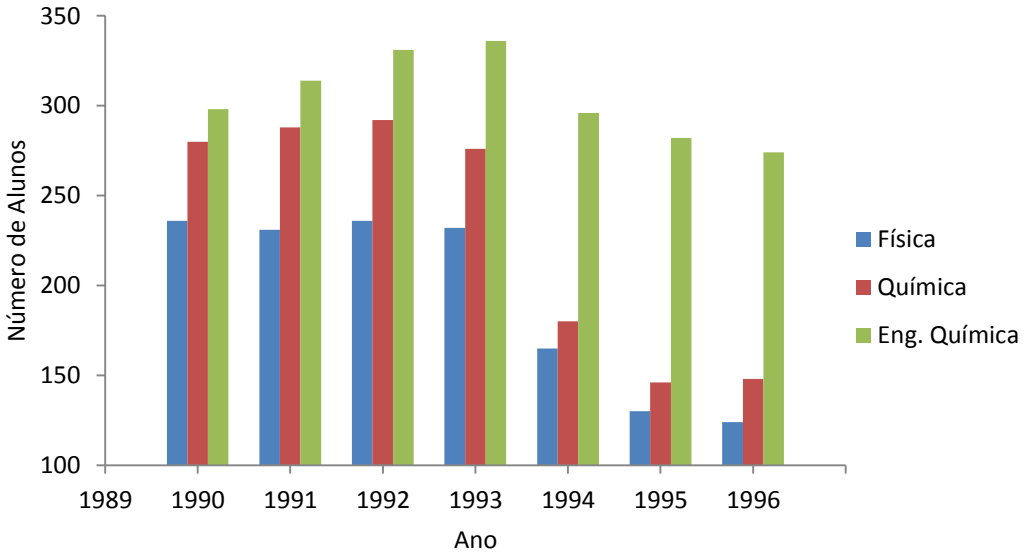


Gráfico 12 – Matrícula nos Cursos de Física, Química e Engenharia Química, diurnos - UFBA – Salvador.

Fonte: Elaborado pelo autor.

[40] A *ideia* de criação da Licenciatura, noturno, foi aprovada pelo Colegiado de Física, diurno, em maio de 1997, na sua 196.ª Reunião.

2.8 Diplomação de alunos pelas Universidades baianas no período 1997-2011

Analisando a Tabela 7, ao final deste capítulo, pode-se constatar que a demanda por professores de Física ficou longe de ser suprida pelos concluintes dos cursos de Física diplomados pela UFBA e outras universidades baianas, no período 1997-2011. Neste intervalo de tempo, foram licenciados no Estado da Bahia 596 **a**lunos (dos quais 144 foram licenciados pelo Curso de Física, Licenciatura, noturno, da UFBA)**,** sendo que no período de 2003 a 2011 foram licenciados 548**,** quando a carência mostrada pelo "Censo dos Profissionais de Educação Básica 2003" (BRASIL, 2003) era de mais de 2.000 profissionais, só na Bahia. Além disso, há de se ter em conta que houve expansão da rede escolar de ensino médio, o que manteve a carência em números superiores a 1.500 profissionais, supondo a não incorporação de licenciados formados em outros estados da Federação à rede pública baiana.

Outro resultado do "Censo dos Profissionais do Magistério da Educação Básica 2003", relacionado também com o anterior, que merece ser destacado, é o fato de, em 2003, só existirem cerca de 89 diplomados em Física (Licenciados ou Bacharéis) ensinando a disciplina Física nos colégios da Bahia. Se for considerado que, entre 1969 e 2002, somente o Instituto de Física da UFBA havia diplomado 168 licenciados e 189 bacharéis (num total de 357 profissionais), pode-se concluir que o problema não é só de carência de novos profissionais, mas também da existência de outros fatores que afastam parte dos novos profissionais das salas de aula das redes pública e privada, de nível médio, como, por exemplo, os baixos salários pagos aos professores. Muitos alunos licenciados em Física preferem continuar os estudos para adquirir o diploma de Bacharel e outros preferem desenvolver atividades diferentes daquelas próprias do ensino regular em escolas de nível médio. Um trabalho de pesquisa a ser considerado posteriormente é averiguar em quais setores do mercado de trabalho foram absorvidos os profissionais diplomados em Física, na Bahia, nos últimos 30 anos.

Ao final deste capítulo, na Tabela 7, é apresentado um quadro demonstrativo dos cursos de Física existentes no Estado da Bahia, no ano de 2011, acompanhados do número total de alunos diplomados em cada curso.

2.9 A recente reforma curricular e a incorporação das Físicas Básicas ao Curso de Física, diurno

Com o objetivo de adequar os currículos dos cursos de Física (diurno e noturno) aos Pareceres e Resoluções ([41]) decorrentes da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de dezembro de 1996 (Lei n.º 9.394/96), o Instituto de Física, através de seus órgãos diretores, promoveu, recentemente, uma ampla "reestruturação curricular" de seus cursos de graduação. ([42]) Uma das principais exigências legais atendida por esta reformulação foi a da estruturação dos currículos dos cursos de física em dois blocos distintos: o bloco do "núcleo comum" e o dos "módulos sequenciais especializados". A parte do "núcleo comum", com aproximadamente 50% de carga horária, é constituída pelos componentes curriculares comuns a todas as modalidades dos cursos de Física, não sendo restrito aos semestres iniciais da graduação. A parte dos módulos sequenciais especializados contém um conjunto de atividades necessárias para completar um Bacharelado ou Licenciatura em Física, nos moldes atuais, ou pode ser diversificada, associando a Física a outras áreas do conhecimento, como, por exemplo, Biologia, Química, Matemática, Tecnologia, Comunicação etc. É de se notar que estas exigências de um "núcleo comum" e de "módulos sequenciais" lembram aquelas estabelecidas no Parecer 296, com resolução anexa do CFE, de 17 de novembro de 1962, referentes à Licenciatura em Física, em que constava a obrigatoriedade do chamado "currículo mínimo" (Ver Anexo 2.P), podendo-se dizer que muito do "currículo mínimo" da antiga Licenciatura em Física está contido no chamado "núcleo comum" dos novos currículos (Ver Anexos 2.P e 2.X). Para o Bacharelado, entretanto, não havia exigência de "currículo mínimo".

[41] Mais especificamente, o Parecer CNE/CP 1.304, de 6 de novembro de 2001 do Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior e a Resolução CNE/CES 9, de 11 de março de 2002, em vigor desde 26 de março de 2002, estabelecendo as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Graduação em Física (Licenciatura e Bacharelado), em substituição ao Parecer 296, de 17 de novembro de 1962, com Resolução anexa do CFE, referente à Licenciatura.

[42] No final do ano de 2012, o Projeto Pedagógico foi aprovado pelo Colegiado de Graduação em Física e pela Congregação do Instituto de Física e, em 2013, foi submetido à apreciação dos órgãos superiores da UFBA.

Balizada por essas exigências legais, a reformulação curricular aprovada pela Congregação do Instituto de Física teve como um dos seus itens principais a unificação dos cursos de licenciatura noturno e diurno, com a incorporação ao currículo do Curso de Física, Licenciatura, diurno, das ideias principais contidas no currículo do Curso de Física, Licenciatura, noturno, implantado desde 1999, especialmente a concepção das Físicas Básicas e das disciplinas denominadas Complementos de Mecânica, de Termodinâmica e de Eletromagnetismo. As três últimas, agora denominadas Mecânica Clássica, Física Térmica e Eletromagnetismo (Ver Anexo 2.V), foram incluídas na estrutura curricular da Licenciatura, diurno, como obrigatórias e, na do Bacharelado, como optativas. As quatro primeiras, agora denominadas, respectivamente, Conceitos de Física A, B, C e D, foram incorporadas não só ao currículo da Licenciatura, diurno, como também ao do Bacharelado, sendo as três primeiras obrigatórias e a última optativa (Ver Anexo 2.W). Este resultado mostra o reconhecimento pelo Instituto de Física da validade da proposta das Físicas Básicas, sendo tal reconhecimento mais significativo quando se leva em conta uma pesquisa recente, realizada pelo autor desta tese, sobre a estrutura dos cursos em que são ministrados a matéria Física nos dois primeiros anos universitários, nas 20 maiores universidades do país, que mostrou não existir um conjunto de disciplinas constituindo um projeto igual ao das Físicas Básicas na estrutura curricular dos Cursos de Física dessas universidades. Nos currículos desses cursos, predominam as tradicionais Físicas Gerais e Experimentais, mesmo que nem sempre com esta denominação, através das quais a Física introdutória universitária é ministrada aos alunos da Licenciatura e do Bacharelado, nos moldes tradicionais.

Outras alterações importantes podem ser relacionadas, como, por exemplo (ver Anexo 2.V), a natureza da disciplina Evolução da Física, equivalente a Filosofia da Física-A, no novo currículo, que passou de optativa para obrigatória nos currículos da Licenciatura e do Bacharelado, diurnos (já era obrigatória na Licenciatura, noturno). Outra alteração no currículo da Licenciatura, diurno, já adotada pelo currículo da Licenciatura, noturno, foi quanto às disciplinas Álgebra Linear–A e Processamento de Dados, obrigatórias para a Licenciatura, diurno, e optativas para a Licenciatura, noturno. Estas foram substituídas pelas disciplinas Álgebra Linear I-B e Introdução à

Lógica de Programação e integradas aos currículos das Licenciaturas, diurno e noturno, como optativas, enquanto Álgebra Linear–A continuou como obrigatória para o Bacharelado. Além disso, a disciplina Informática Aplicada à Física, que era obrigatória para a Licenciatura, noturno, foi substituída pela disciplina obrigatória Projetos Computacionais no Ensino de Física, que passou a integrar os currículos das licenciaturas, noturno e diurno, ficando como optativa no currículo do Bacharelado. Finalmente, ainda como uma alteração importante referente aos conteúdos obrigatórios de Física, tem-se a inclusão da disciplina Física Moderna-A, como obrigatória para as Licenciaturas (noturno e diurno) e optativa para o Bacharelado, tendo como pré-requisito as disciplinas Estrutura da Matéria e Laboratório de Estrutura da Matéria. No currículo da Licenciatura, noturno, esta disciplina obrigatória cumprirá o papel que deveria ter sido cumprido pela disciplina optativa Complementos de Física Moderna, nunca oferecida pelo Colegiado de Graduação, noturno.

No que diz respeito às disciplinas pedagógicas, nota-se que no fluxograma do novo currículo das Licenciaturas as chamadas disciplinas de Educação estão distribuídas a partir do terceiro semestre do curso, o que não ocorria anteriormente, quando eram distribuídas no fluxograma, a partir do quinto semestre e, no antiquíssimo modelo 3+1 (Ver Apêndice 1), a partir do sétimo semestre!

Uma alteração surpreendente, entretanto, foi o aumento da carga horária do Curso de Física, Licenciatura, noturno, de 2.504 para 3.192 horas, o que significa 392 horas a mais que a exigência legal mínima atual de 2.800 horas e 688 horas a mais que a carga horária do antigo Curso de Licenciatura, noturno, da UFBA, implantado em 1999. ([43]) As 392 horas a mais que o exigido por lei significa um semestre a mais, pelo menos, para o aluno integralizar o Curso de Física, Licenciatura, noturno.

[43] A exigência do Parecer 296/62, de 17 de novembro de 1962 era de uma carga horária mínima de 2.500 horas, para a Licenciatura em Física.

TABELA 5 – Matrícula no Curso de Física – Graduação – UFBA – Salvador – período 1952-2011.

Ano		52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
Número de alunos *	diurno	1	1	2	1	4	8	9	5	6	9	16
	noturno											
	diurno mais noturno											

Ano		63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
Número de alunos *	diurno	18	29	67	96	114	124	120	145	130	168	162
	noturno											
	diurno mais noturno											

Ano		74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Número de alunos *	diurno	192	186	219	234	255	282	299	155	167	224	240
	noturno											
	diurno mais noturno											

Ano		85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Número de alunos *	diurno	265	255	275	304	226	236	231	236	232	165	130
	noturno											
	diurno mais noturno											

Ano		96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
Número de alunos *	diurno	124	147	165	216	212	253	214	221	249	287	291
	noturno				40**	82	114	131	171	189	213	220
	diurno mais noturno				256	294	367	345	392	438	500	511

Ano		07	08	09	10	11
Número de alunos *	diurno	303	346	323	291	298
	noturno	215	231	206	185	176
	diurno mais noturno	518	577	529***	476	474****

* O número de alunos corresponde à média nos dois semestres.

** O Setor de Informação e Documentação registrou o ingresso de 50 alunos no curso noturno, mas na verdade foram 40 alunos.

*** Em 2009 foi criado o Curso de Física, Campus de Barreiras, da UFBA, com 3 alunos matriculados em 2009, 11 alunos em 2010 e 15 alunos em 2011 (média de dois semestres). Em 2011, foi criada a Licenciatura Especial em Física, no Instituto de Física da UFBA, com 26 alunos inscritos na primeira turma (2010.2).

**** Considerando o tempo médio de conclusão dos cursos diurnos que é de quatro anos e o tempo médio de conclusão do curso noturno, que é de 5 anos, o número médio de alunos matriculados nos cursos de graduação em Física da UFBA, em Salvador, seria de 400 alunos.

Fonte: Pró-Reitoria de Planejamento e Orçamento da UFBA – Setor de Informação e Documentação. Matrícula, Física, 1952-2012.

TABELA 6 – Conclusão de Curso – Física – Graduação UFBA – Salvador Licenciatura e Bacharelado – período 1955-2011.

Ano	Número de Licenciados – diurno	Número de Licenciados – noturno	Número de Bacharéis – diurno	Total: Licenciados + Bacharéis
Ano (*)				
1955	1	–	–	1
1956	–	–	1	1
1957	–	–	–	–
1958	1	–	–	1
1959	1	–	–	1
1960	–	–	–	–
1961	–	–	1	1
Subtotal 1955-1961	**3**	–	**2**	**5**
Ano (**)				
1962	–	–	–	–
1963	–	–	–	–
1964	–	–	2	2
1965	1	–	2	3
1966	2	–	5	7
1967	4	–	2	6
1968	4	–	11	15
Subtotal 1962-1968	**11**	–	**22**	**33**
Total 1955-1968	**14**	–	**24**	**38**
1969	3	–	2	5
1970	–	–	5	5
1971	3	–	4	7
1972	8	–	13	21
1973	4	–	5	9
1974	9	–	6	15
1975	5	–	10	15
1976	4	–	5	9
1977	5	–	7	12
1978	6	–	4	10
1979	11	–	2	13
1980	3	–	14	17

Ano	Número de Licenciados – diurno	Número de Licenciados – noturno	Número de Bacharéis – diurno	Total: Licenciados + Bacharéis
1981	6	–	6	12
1982	4	–	10	14
1983	2	–	6	8
1984	9	–	3	12
1985	5	–	5	10
1986	4	–	6	10
1987	3	–	2	5
1988	4	–	5	9
1989	2	–	0	2
1990	4	–	7	11
1991	3	–	8	11
1992	2	–	2	4
1993	3	–	4	7
1994	7	–	5	12
1995	6	–	6	12
1996	6	–	3	9
1997	2	–	3	5
1998	3	–	2	5
Subtotal 1969-1998	**136**	–	**160**	**296**
Total 1955-1998	**150**	–	**184**	**334**
1999	6	–	4	10
2000	9	–	8	17
2001	6	2	9	17
2002	11	4	8	23
2003	11	12	6	29
2004	3	4	6	13
2005	8	17	10	35
2006	11	19	10	40
2007	8	12	7	27
2008	13	17	14	44
2009	12	19	18	49
2010	12	17	9	38
2011	2	21	18	41
Subtotal 1999-2011	**112**	**144**	**127**	**383**

Ano	Número de Licenciados – diurno	Número de Licenciados – noturno	Número de Bacharéis – diurno	Total: Licenciados + Bacharéis
Total Geral 1955-2011	**262**	**144**	**311**	**717**

Fontes: (*) Arquivos da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da UFBA – Relação de “Diplomados pela Faculdade de Filosofia de 1945-1958 – Bacharéis e Licenciados” e Pastas funcionais de alunos do Curso de Física, 1952, 1956, 1957, 1958.

(**) De 1962 a 2011: Superintendência Acadêmica da UFBA – Setor de Diplomas – Livros de Registro de Diplomas (Números 7, 26 e 26-A) e Pastas de Concluintes.

TABELA 7 – Cursos de Licenciatura e Bacharelado em Física existentes na Bahia no ano de 2011.

Instituição	Curso	Implantação	Número de concluintes até 2011		Vagas oferecidas em 2011
			Licenciatura	Bacharelado	
UFBA	Licenciatura / Salvador	1952	262	–	50
	Bacharelado / Salvador	1952	–	311	
	Licenciatura / not. / Salvador	1999	144	–	40
	Licenciatura / Barreiras	2009	–	–	40
	Bacharelado / Barreiras	2009	–	–	
UEFS	Licenciatura / F. de Santana	1997	98	–	40
	Bacharelado / F. de Santana	1999	–	50	
UESC*	Licenciatura / not. / Ilhéus	1999	98	–	20
	Bacharelado / Ilhéus	2001	–	43	20
UESB**	Licenciatura / V. Conquista	2001	126	-	40
UFRB	Licenciatura / Amargosa	2006	13	–	40
IFBA	Licenciatura / not. / Salvador	2011	–	–	80
Totais até 2011			**741**	**404**	**370**
Total de concluintes em Física, na Bahia, até 2011: 1.145					

* De 1981 a 1998, na UESC, havia um Curso de Ciências, Licenciatura Plena, com habilitação em Química, Física, Matemática e Biologia.

** No total de 126 alunos licenciados em Física pela UESB, até 2011, no campus de Vitória da Conquista, há a inclusão de dois concluintes sobre os quais, até o momento, não houve confirmação do ano de colação de grau: se 2011 ou 2012. O Curso de Física, Licenciatura, noturno, do campus de Itapetinga/UESB, foi iniciado em 2012, como já citado, com ingresso de 20 alunos/ano.

Fontes: UFBA: Superintendência Acadêmica, Setor de Diplomas.

UFRB, UESC, UESB e UEFS: Colegiados de Física.

IFBA: disponível em <http://ifba.edu.br/noticias/acontece-vestibular-para-licenciatura-em-fisica-neste-domingo.html#>. Acesso: 12 jun. 2013.

CAPÍTULO 3

FÍSICA BÁSICA III – ELETROMAGNETISMO: A HISTÓRIA DE UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO (2000-2012)

Conforme afirmado na Introdução desta tese, neste capítulo será relatada a história da experiência de ensino com a disciplina Física Básica III. Esta é uma das quatro disciplinas básicas introduzidas na estrutura curricular da Licenciatura, turno noturno, que resultou em inovações curriculares importantes em comparação com a estrutura curricular da Licenciatura, diurno, na UFBA (ver ementa no Quadro 4).

Tendo em vista a metodologia escolhida, a descrição será apresentada em quatro partes. Primeiro, serão tratados os objetivos e a natureza desta disciplina. Segundo, serão relatadas como foram superadas, ao menos em parte, as principais dificuldades associadas à oferta desta disciplina, ao longo dos anos, do 1º semestre de 2000 ao 1º primeiro semestre de 2012. Terceiro, serão descritas as estratégias de apresentação do conteúdo programático e, finalmente, a repercussão desta abordagem em sala de aula, segundo o ponto de vista dos alunos.

3.1 Objetivos da disciplina Física Básica III

Como já foi dito, o objetivo da Física Básica III era, essencialmente, apresentar o Eletromagnetismo clássico para alunos da Licenciatura, noturno, através de uma abordagem simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, contextualizando os assuntos estudados. Convém lembrar que por contextualização, entende-se não só a vinculação de conteúdos escolares a situações que façam sentido para o aluno, incorporando sua vivência (o que pode ser entendido como motivação), como também a recuperação do contexto em que o conteúdo científico foi produzido, o

FIS 141

FÍSICA BÁSICA III

LOTAÇÀO: DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA NUCLEAR

CARGA HORÁRIA: (30,30,00) NATUREZA: Complementar Optativa

CREDITAÇÀO: (02,01,00) PRÉ-REQUISITO: Sem pré-requisito

EMENTA: Estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas no ramo do Eletromagnetismo, a nível introdutório, sem ênfase no Cálculo Diferencial e Integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive, recursos de simulação computacional, História da Ciência e experimentos de laboratório envolvendo medidas de grandezas físicas, além de experiências demonstrativas. Discutem-se artigos simples publicados em revistas científicas, relativos ao Eletromagnetismo. Apresentam-se aplicações tecnológicas do Eletromagnetismo.

QUADRO 4 – Ementa da disciplina Física Básica III.

Fonte: IFUFBA, Colegiado de Graduação em Física, 1998.

que poderia ser feito com a ajuda da História da Ciência (História da Física). O esperado era que esta abordagem provocasse no aluno atitudes e valores que o tornassem capaz de opinar e tomar decisões em situações que envolvessem conceitos científicos. Entendido desta maneira, o ensino de Física contextualizado não se devia resumir, portanto, ao estabelecimento de relações ilustrativas com o cotidiano dos alunos, ou com exemplos de aplicações da Física. Deveria ser o resultado de escolhas didáticas, envolvendo conteúdos e metodologias, e um projeto de ensino bem definido, o que, no caso da Licenciatura, noturno, estava contemplado através das Físicas Básicas I, II, III e IV. Além disso, um conjunto de estratégias de ensino deveria preceder a contextualização dos assuntos apresentados em sala de aula, considerando-se a mais importante a *problematização*, entendida como a construção de situações-problemas para estruturar as situações de aprendizagem. No caso específico de Física Básica III, a construção das situações-problemas foi facilitada pela realização de experimentos de laboratório (não só qualitativos), geralmente no início de cada aula, a partir dos quais os alunos eram convidados a dar explicações teóricas para os

fenômenos observados. Entretanto, nem sempre os experimentos precediam a discussão teórica, aspecto a ser abordado posteriormente.

3.2 A natureza da disciplina

Desde a aprovação do currículo da Licenciatura, noturno, tinha ficado claro para o Colegiado de Graduação em Física que o sucesso do projeto das quatro Físicas Básicas, dependeria, essencialmente, do êxito das disciplinas Física Básica III (Eletromagnetismo clássico), e Física Básica IV (Óptica clássica e elementos de Física Moderna). Estas eram disciplinas optativas e o oferecimento continuado das mesmas dependeria, evidentemente, dos resultados que estivessem sendo produzidos e também do "prestígio" adquirido junto a professores e alunos, constituindo-se, assim, em assunto de grande interesse para aqueles que defendiam a ideia das Físicas Básicas.

Feitas estas considerações, uma pergunta se impõe: por que a disciplina Física Básica III não foi incluída no elenco das disciplinas obrigatórias, já que fazia parte de um projeto de currículo, isto é, de uma proposta global, envolvendo quatro Físicas Gerais e Experimentais e quatro Físicas Básicas?

A resposta a esta questão encontra-se na conjuntura político-acadêmica da época (1997-1998). Primeiro, havia uma forte recomendação da Pró-Reitoria de Graduação da UFBA para que as novas matrizes curriculares tivessem o menor número possível de disciplinas obrigatórias. Essa insistência da Pró-Reitoria de Graduação era decorrente de discussões nacionais, que estavam acontecendo já há algum tempo, com o objetivo de promover a renovação dos currículos das licenciaturas. Por outro lado, havia também o propósito do Colegiado do Curso de Física (diurno) de fixar o tempo médio de integralização da Licenciatura, noturno, em 5 anos; um ano a mais que o tempo médio para a Licenciatura, diurno, em razão das especificidades do período da noite. Este balizamento deixava pouco ou quase nenhum espaço para disciplinas optativas, já que, sem a inclusão de duas das quatro Físicas Básicas, como optativas,

menos de 10% da carga horária do curso seria destinada a disciplinas desta natureza (ver o fluxograma da Licenciatura, noturno, no Capítulo 2, tópico 2.3). Segundo, as Físicas Básicas eram uma novidade. Não se conhecia caso anterior algum idêntico a este já experimentado em cursos de Licenciatura em Física em outras universidades. Isto levava ao argumento de que, inicialmente, poderiam ser aprovadas duas Físicas Básicas (Física Básica I e II) como disciplinas obrigatórias e as outras duas (Física Básica III e IV) como optativas, e, após a fase de experimentação, avaliar a necessidade de transformar as duas Físicas Básicas optativas em obrigatórias. Terceiro, a pouca diferença que faria, do ponto de vista prático, que estes componentes curriculares fossem de natureza obrigatória ou optativa, já que, de qualquer modo, teriam de ser regularmente oferecidos diante da pouca oferta de disciplinas, por outras Unidades, no período da noite, e também não havia perspectiva de criação imediata de outros cursos noturnos. Finalmente, ainda não havia no Instituto de Física um número expressivo de docentes envolvidos com História e Filosofia da Ciência e a proposta das Físicas Básicas prometia exigir o envolvimento de vários docentes, num período em que não havia qualquer possibilidade de novos concursos. Aliás, o Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi criado sem a exigência de contratação de novos docentes, simplesmente porque, se tal exigência fosse feita, a proposta não seria aprovada pelos órgãos superiores da Universidade, por total impossibilidade de atendimento. Convém recordar que o Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi, por 8 anos, o único curso noturno da UFBA, com todas as disciplinas sendo oferecidas à noite.

A experiência mostrou que a consolidação do projeto das Físicas Básicas não dependeu significativamente do fato de Física Básica III e Física Básica IV serem incluídas no currículo da Licenciatura, noturno, como disciplinas optativas ou obrigatórias, conforme pode ser observado na Tabela 8, ao final deste capítulo. Esta Tabela mostra que, de fato, esta disciplina foi sempre muito concorrida para os padrões de disciplinas optativas, oferecidas aos alunos de um único curso (no caso, a Licenciatura, noturno), pois a média de alunos matriculados, ao longo de 13 anos, foi de aproximadamente 22 alunos por semestre. Nessa mesma tabela, nota-se que o número total de alunos matriculados foi de 285, com 170 aprovações, um número maior do que o total de alunos diplomados pelo Curso de Física, Licenciatura, noturno, no período

equivalente, que foi de 144, conforme se pode verificar na Tabela 6, do Capítulo 2. Analisando dois anos específicos deste período, 2007 e 2008, escolhidos aleatoriamente, verificamos que, em 2007, por exemplo, dos 17 alunos concluintes da Licenciatura, noturno, 13 cursaram e foram aprovados em Física Básica III (77%) e 4 não a cursaram. Em 2008, algo semelhante pode ser constatado: dos 12 alunos concluintes da Licenciatura, noturno, 10 cursaram e foram aprovados em Física Básica III (83%) e 2 não a cursaram (IFUFBA, 2012; SUPERINTENDÊNCIA, 2012.a; 2012.b).

3.3 As dificuldades na implantação

A disciplina Física Básica III foi oferecida pela primeira vez, no primeiro semestre do ano 2000, atendendo o planejamento acadêmico do então Departamento de Geofísica Nuclear do Instituto de Física da UFBA.

A diversidade de Departamentos envolvidos no oferecimento das Físicas Básicas não era uma questão muito relevante para o sucesso dos cursos, pois professores de diferentes Departamentos podiam ministrar qualquer uma destas disciplinas, considerando a colaboração que o professor responsável por ministrá-las poderia ter de colegas do Departamento ao qual a disciplina estava vinculada.

Após as experiências do ano 1999 com Física Básica I e Física Básica II, as eventuais dificuldades ou desafios a serem superados pelo docente (ou docentes), para a implantação da disciplina Física Básica III, já estavam identificadas. Tais dificuldades ou desafios eram as seguintes: 1) o problema da escolha do livro-texto; 2) a seleção de assuntos que pudessem ser tratados sem sofisticação matemática, mas com linguagem ou enfoque de 3º grau; 3) a identificação de experimentos de laboratório que pudessem ser apresentados simultaneamente à parte teórica da disciplina e que fossem diferentes daqueles já oferecidos nas Físicas Gerais e Experimentais e para os quais houvesse equipamentos disponíveis; 4) a preparação de textos/notas de aula que servissem de referência para os alunos; 5) a preparação de listas de exercícios conceituais, apropriadas para esse tipo de curso; e 6) a inexistência de uma sala de laboratório

específica para esta disciplina, com equipamentos adequados para experimentos demonstrativos (não só qualitativos).

A identificação antecipada desses eventuais obstáculos permitiu ao docente (ou aos docentes) de Física Básica III ao menos *minimizar* vários dos problemas desta disciplina, já que a solução completa de alguns deles exigiria o esforço de um número maior de pessoas diretamente envolvidas nesse projeto. O primeiro a ser minimizado foi o problema da escolha do livro-texto. A relevância deste problema estava principalmente no fato de que a pretensão dos interessados em ministrar esta disciplina era a de estruturar o curso em bases históricas, incluindo extensamente o conteúdo de História da Ciência (História da Física), o que exigiria um livro-texto ou preparação prévia de textos/notas de aula para orientar as discussões em sala de aula, pois, na falta destes, o curso poderia adquirir um formato puramente fenomenológico. Esta dificuldade foi contornada, em parte, após a viagem a Europa, no ano de 1999, de um docente do Instituto de Física que, tendo tomado conhecimento da tradução para o Português dos livros do *Harvard Project Physics,* adquiriu um exemplar de cada uma das quatro primeiras unidades dessa coleção ([44]). Com essa descoberta, o livro número 4 dessa coleção, com o título *Projecto Física - Luz e Eletromagnetismo*, passou então a ser uma opção de texto para Física Básica III, mesmo sem os textos adicionais, integrantes da chamada "Coletânea de Textos" e outros materiais didáticos que deveriam acompanhar o "Texto e Manual de Experiências e Atividades" e que não estavam disponível em língua portuguesa, pelo menos àquela época. Na ausência dos textos adicionais e outros materiais didáticos, o *Harvard Project Physics* se mostrou insuficiente para um curso universitário de preparação de professores, sobre o eletromagnetismo, com 4 horas de aulas semanais. Para contornar essa dificuldade, a alternativa imediata foi recomendar também o livro *Eletromagnetismo*, do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física - GREF, volume 3 ("textos para professores") ([45]), mas, apesar da qualidade do projeto, este texto não fazia nenhuma referência ao

[44] Rutherford, F. J., Holton, G. & Watson, F.G. *Projecto Física*, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 4 volumes, 1985. A coleção completa era de 6 unidades, mas os volumes de números 5 e 6 não estavam disponíveis. Como já referido, a Biblioteca do Instituto de Física da UFBA tem a coleção completa em língua inglesa.

[45] Grupo de Reelaboração do Ensino de Física - GREF, *Física 3 – Eletromagnetismo*, São Paulo, Edusp, 1993.

desenvolvimento histórico das ideias do eletromagnetismo. Outras possibilidades, como o livro intitulado *Física*, de Jay Orear, e o livro *Física*, de Paul Tipler ([46]), também não foram consideradas soluções satisfatórias. Desta forma, a questão do livro-texto não foi satisfatoriamente resolvida e esta foi uma dificuldade que acompanhou o curso de Física Básica III ao longo dos anos.

No que diz respeito ao item 2, seleção de assuntos que deveriam ser tratados nas Físicas Básicas e que pudessem ser apresentados sem sofisticação matemática, mas numa linguagem de 3º grau, é necessário dizer que a dificuldade aqui não foi a de selecionar uma sequência de tópicos a serem abordados, mas sim de selecionar tópicos que pudessem ser acompanhados por experimentos demonstrativos (não só qualitativos) de importância histórica e conceitual e para os quais houvesse equipamentos disponíveis. Em termos práticos, o problema a ser enfrentado era o de encontrar equipamentos adequados para ser utilizado nesta disciplina. Este problema apareceu também ao se tentar superar as dificuldades explicitadas no item 3, de identificar experimentos demonstrativos diferentes daqueles já oferecidos nas Físicas Gerais e Experimentais tradicionais (I, II, III e IV) e para os quais houvesse equipamentos disponíveis. A carência de equipamentos adequados para esta disciplina se mostrou, portanto, um problema recorrente e logo se verificou que a falta de recursos para adquiri-los ou construí-los não permitiria que o mesmo tivesse solução imediata. Ao longo do tempo, entretanto, algum progresso foi feito. No segundo ano de funcionamento do curso, foram localizados no próprio Instituto de Física equipamentos possíveis de serem utilizados em experimentos de demonstração os quais foram incorporados ao “laboratório” desta disciplina. Neste mesmo período, foram construídos alguns equipamentos simples destinados especificamente a este curso. Paralelamente, outros equipamentos foram sendo agregados, como foi o caso dos novos geradores de Van de Graaff e de alguns poucos produtos comprados de empresas especializadas em materiais didáticos.

As dificuldades não impediram, entretanto, que, já na fase inicial de implantação do curso, alguns experimentos interessantes fossem feitos, mesmo com um certo grau de improvisação. Entre eles estavam alguns experimentos análogos aos propostos pelo

[46] Orear, J, *Física*, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1971; Tipler, P. *Física*, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S. A., 2.ª edição, vol. 2a, 1984.

Projecto Física (do *Harvard Project Physics*) e pelo livro do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, a exemplo daqueles envolvendo ação de forças elétricas entre corpos eletrizados e de forças magnéticas sobre correntes elétricas. Porém, experimentos envolvendo produção e detecção de ondas eletromagnéticas (rádio-galena, por exemplo), só foram realizadas após algum tempo de funcionamento do curso. O sugestivo experimento da "Câmara de Nuvem" também foi incluído posteriormente, e mais recentemente foi incluído um experimento sobre supercondutividade, onde se usa um disco supercondutor de YBaCuO, comprado pela Internet.

No que diz respeito ao item 4, a preparação de textos/notas de aula, que servissem de referência para os alunos, foi a parte mais difícil de ser equacionada. A preparação desse material não era um trabalho que pudesse ser feito em pouco tempo e, enquanto se procurava uma solução definitiva, a opção foi recomendar a leitura dos livros citados anteriormente: a) *Projecto Física*, Unidade 4, que é parte do *Harvard Project Physics*; b) *Física*, volume *2a*, 2.ª edição, de Paul Tipler; c) *Eletromagnetismo*, produzido pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) ("textos para Professor"); e outros.

Quanto à preparação de listas de exercício conceituais, adequada para este tipo de curso, a alternativa, inicial, foi usar exercícios do próprio *Projecto Física* e de outros livros, além da elaboração de algumas questões conceituais relacionadas aos temas discutidos em sala de aula. Com o tempo, as listas de exercícios foram sendo aperfeiçoadas.

Finalmente, sobre a inexistência de salas de laboratório específicas para esta disciplina, com equipamentos adequados para aulas demonstrativas (não só qualitativos), pode-se dizer que este problema foi minimizado com a utilização das salas destinadas ao laboratório de Física Geral e Experimental III, as quais, apesar de não estruturadas para as Físicas Básicas, podiam ser utilizadas nos horários em que os alunos da disciplina Física Geral e Experimental III não as estivessem ocupando. Solução análoga a esta também tinha foi adotada no caso de Física Básica II.

O fato de Física Básica III tratar apenas do Eletromagnetismo e não de uma variedade de assuntos como ocorreu em Física Básica II também ajudou na

estruturação do curso, cujo objetivo maior era o de, usando um enfoque histórico-conceitual, apresentar fenomenologicamente o Eletromagnetismo clássico, tendo as equações de Maxwell como referência, mas sem exercitá-las diretamente na resolução de problemas.

3.4 A produção de material didático para Física Básica III

A disciplinas Física Básica, III ao longo dos 12 primeiros anos em que foi oferecida, uma vez por semestre, foi ministrada por um número relativamente reduzido de docentes, que são relacionados a seguir: Yukimi Pregnolato e J. Fernando Rocha, no semestre 2000.1, Yukimi Pregnolato e Fernando Santana, no semestre 2001.1, Raimundo Muniz no semestre 2006.2, e nos demais semestres J. Fernando M. Rocha, sozinho ou em parceria com o professor Geovaldo P. do Nascimento e ainda, em uma única oportunidade, com o professor André Telles da Cunha Lima, conforme Tabela 8, no final deste capítulo. Todos estes docentes estavam conscientes de que o curso de Física Básica III era para ser ministrado na perspectiva de uma abordagem histórico-conceitual, articulada com experimentos demonstrativos, de modo que o perfil dessa disciplina pouco variou ao longo desse período. Em mais de uma oportunidade, o curso foi ministrado não por um único professor, mas por dois, em parceria, sendo que o professor da parte teórica também participava da aula de laboratório. O autor desta tese foi um dos professores por 8 semestres, sendo que nos últimos 3 semestres, em que a mesma foi oferecida, assumiu sozinho a parte teórica e experimental.

O problema da carência de textos de natureza histórico-conceitual (que se relacionassem diretamente com a parte experimental apresentada em sala de aula) foi, como já referido, uma dificuldade enfrentada no dia a dia. Aos poucos, entretanto, algum material foi sendo produzido e, de alguma forma, utilizado em sala de aula. Este material era de dois tipos. Uma parte era constituída de alguns textos avulsos, denominados aqui de *textos complementares*, e a outra era composta de capítulo de livro e de artigos publicados. Os textos complementares podem ser vistos no Apêndice

3, e mais adiante voltaremos a falar sobre os mesmos. Nosso interesse no momento é destacar apenas as publicações que trataram do eletromagnetismo. A mais importante publicação incorporada à bibliografia do curso, mesmo que não produzida especificamente com este fim, talvez tenha sido o livro intitulado *Origens e Evolução das Idéias da Fíisica* (ROCHA, 2002), publicado em 2002, como produto de trabalho conjunto de alguns professores do Instituto de Física (Figura 13). Este livro, que foi relacionado entre os 10 indicados para o Prêmio Jabuti-2003, da Câmara Brasileira de Livros (o mais importante prêmio literário do Brasil), teve uma dupla participação do autor desta tese, na medida em que foi o organizador da obra e ao mesmo tempo o autor do Capítulo III da mesma. Esse capítulo, intitulado *Origem e Evolução do Eletromagnetismo,* foi um extenso trabalho, abordando os aspectos histórico-conceituais do Eletromagnetismo, ao qual a Óptica foi incorporada através dos trabalhos de Maxwell, na segunda metade do século XIX. Apesar da motivação para a produção deste livro ser anterior à criação da Licenciatura, noturno, sua publicação foi um grande reforço nas bibliografias não só do curso de Física Básica III como também no de Física Básica I, II e IV, e era bastante consultado pelos alunos destas disciplinas. O Capítulo III foi largamente utilizado no curso de Física Básica III, na parte que trata dos aspectos histórico-conceituais do eletromagnetismo.

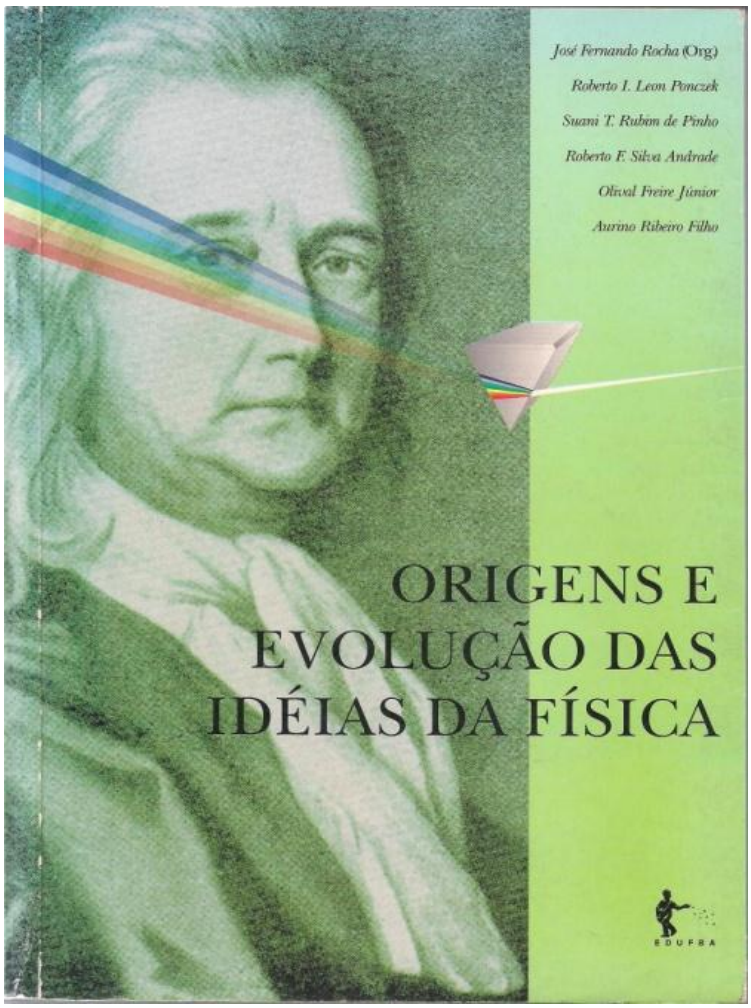


Figura 13 – Capa do livro *Origens e Evolução das Idéias da Física.* (ROCHA *et al*, 1999).

Esse, entretanto, não foi o primeiro trabalho publicado referente à produção de textos relacionados à História da Ciência e ao Ensino de Física e, de alguma maneira, possível de ser relacionado às disciplinas Físicas Básicas. Já em 1999, em um artigo intitulado *Aspectos histórico-conceituais da Física no ensino pré-universitário – o caso do eletromagnetismo e da Mecânica Quântica*, publicamos na revista *Ideação* (Figura 14) em parceria com outro professor do Instituto de Física da UFBA, um artigo relacionado ao tema História da Ciência e Ensino de Física. No resumo do artigo, foi destacado que (ROCHA; RIBEIRO FILHO, 1999):

> A importância de se enfatizar os aspectos histórico-conceituais ligados ao ensino de Ciências e, particularmente, ao ensino de Física, tem sido observada por inúmeros cientistas, professores e pesquisadores em Ensino, História e Epistemologia. Neste trabalho, discutiremos a relevância e mostraremos a viabilidade de se apresentar noções de Física Moderna no ensino pré-universitário. O ponto básico desta proposta é a discussão do conflito entre as previsões da Teoria Eletromagnética Clássica e o modelo atômico de Bohr.

O conteúdo deste artigo foi aproveitado, em parte, na estrutura do texto do Capítulo III do livro *Origens e Evolução das Ideias da Física*, publicado em 2002, citado anteriormente.

Mas não somente este artigo foi publicado em 1999. Nessa mesma revista *Ideação,* também foi publicado outro trabalho de autoria de Carvalho Neto, Freire Jr. e J. F. M. Rocha, intitulado *Revelando o caráter determinístico da Mecânica Quântica – Uma ponte para o ensino de física moderna no segundo grau* (CARVALHO NETO; FREIRE JR.; ROCHA, 1999). No seu resumo, pode-se ler:

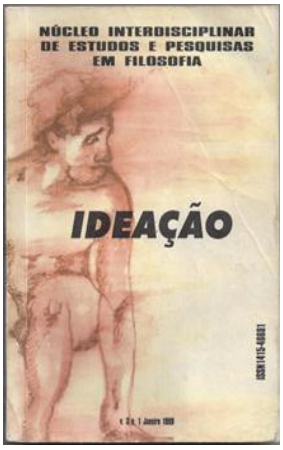


Figura 14 – Capa da revista *Ideação*, onde foi publicado o artigo intitulado *Aspectos histórico-conceituais da Física no ensino pré-universitário – o caso do eletromagnetismo e da Mecânica Quântica.* (ROCHA; RIBEIRO FILHO, 1999).

> A introdução da Física Quântica no ensino médio justifica-se em função do largo impacto cultural desta teoria científica. Para tanto, nós adotamos uma abordagem histórica, não só sobre assuntos da Física Moderna, mas também sobre assuntos da Física Clássica, mudando a apresentação tradicional dos tópicos desta última. Concluímos pela viabilidade desta modificação no Ensino da Física acreditamos que os alunos expostos a esta

> modificação melhoraram sua compreensão da própria Física Clássica. Encontramos também, nestas experiências, interessantes evidências de concepções espontâneas dos estudantes referentes às noções de determinismo e probabilidade.

Em 2004, outro trabalho também relacionando História da Ciência e ensino de Física, de caráter experimental, foi publicado na revista “Cadernos Brasileiro de Ensino de Física” com o título *O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível para medir forças eletromagnéticas* (WELTNER *et al*, 2004, agosto) (Figura 15). Este trabalho foi motivado por uma demanda do laboratório da disciplina Física Básica III, quando estava em pauta a discussão das contribuições de Ampère para o eletromagnetismo. Durante tal discussão, surgiu a ideia de se construir uma *balança de Ampère*, ou melhor, uma *balança de corrente* que servisse de apoio às discussões histórico-conceituais desenvolvidas no curso. Uma posterior conversa nossa com o Professor Klaus Weltner, o autor principal do artigo, disparou o processo de construção da “balança de Ampère”. No seu resumo, foi dito que (WELTNER, et al, 2004, agosto):



Figura 15 – Capa da revista “Caderno Brasileiro de Ensino de Física”, onde foi publicado o artigo *O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível para medir forças eletromagnéticas.* (WELTNER *et al*, 2004, agosto).

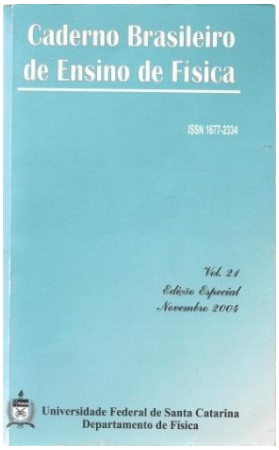


Figura 16 – Capa da edição especial da revista “Caderno Brasileiro e de Ensino de Física”, onde foi republicado o artigo *O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível para medir forças eletromagnéticas.* (WELTNER *et al*, 2003.

> Usamos a força restauradora de um pêndulo gravitacional para medir forças horizontais de pequena intensidade, como a força eletromagnética entre correntes elétricas paralelas em uma balança de Ampère. Tal procedimento permite substituir os dinamômetros sofisticados e sensíveis, porém caros, por um dispositivo de construção simples, de baixo custo e bastante sensível. Este pode ser confeccionado pelo experimentador, o que amplia o leque de aplicações a outros experimentos ou demonstrações em sala de aula.

Ainda em 2004, em comemoração aos vinte anos do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, foi produzida uma Edição Especial desta revista (Figura 16), na qual este trabalho foi republicado, após ter sido selecionado pelos editores. (WELTNER, 2004, nov.). Antes de sua publicação no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, um resumo completo deste trabalho foi apresentado na Alemanha pelo autor principal Klaus Weltner (WELTNER *et al*, 2003).



Figura 17 – Capa da Revista Brasileira de Ensino de Física, onde foi publicado o artigo intitulado *O conceito de ´campo` em sala de aula*. (ROCHA, 2009).

Em 2009, como consequência de nossas atividades didáticas desenvolvidas no curso de Física Básica III, foi produzido e publicado um artigo na Revista Brasileira de Ensino de Física (Figura 17) com o título: *O conceito de ´campo` em sala de aula*. (ROCHA, 2009) Este artigo teve boa aceitação e se constituiu em uma contribuição para as discussões do conceito de campo em sala de aula de Física. O texto completo do mesmo pode ser visto em **Artigo 1**, anexo à presente tese. O seu resumo destaca que (ROCHA, 2009):



Figura 18 – Capa da revista “Ciência Hoje”, onde foi publicado o artigo sobre supercondutividade, com o título: “Sem Resistência”. (ROCHA, 2011).

> O conceito de campo é uma das ideias fundamentais da física e pode motivar um rico debate em sala de aula sobre as noções básicas desta ciência. Apesar de sua importância, quando o mesmo é apresentado em sala de aula geralmente somente seus aspectos matemático-conceituais são enfatizados deixando-se em segundo plano os aspectos histórico-conceituais, quando estes não são simplesmente ignorados. Neste trabalho, pretendemos mostrar que uma apresentação com ênfase apenas matemático-conceitual deste conceito não explora toda a sua potencialidade. Com tal propósito, primeiro consideramos a noção de campo como algo responsável pela mediação de interação entre os corpos e depois tratamos a noção de campo como uma função matemática das coordenadas e do tempo. Em seguida, mostramos que o conceito de campo, na forma que o entendemos hoje, resultou de um complexo processo de fusão destas duas concepções.

Em 2011, ainda dentro dos temas estudados em Física Básica III, um novo artigo foi publicado, desta vez na revista “Ciência Hoje” (Figura 18), envolvendo tópicos de física avançada. O tema foi a supercondutividade e o título recebido foi “Sem Resistência” (ROCHA, 2011). Neste artigo, foi afirmado que a descoberta de materiais supercondutores de “altas” temperaturas críticas, a partir de 1986, evidenciou que a supercondutividade não é um fenômeno restrito ao domínio das temperaturas muito baixas, ao contrário do que geralmente se imaginava até o início da década de 1980, colocando em dúvida a aplicabilidade geral da chamada teoria BCS. A dúvida decorreu do fato de que cálculos baseados na teoria BCS sugeriam que a supercondutividade não poderia ocorrer acima de aproximadamente 25K, pois, nesse caso, o mecanismo que mantém os elétrons acoplados em pares poderia ser desfeito. Ao concluir, o artigo afirma que a teoria BCS é um exemplo de que as teorias físicas não são definitivas, estando em constante aperfeiçoamento, e que a formulação de uma teoria rigorosa para explicar a supercondutividade de todas as classes de materiais certamente é um dos grandes desafios a serem enfrentados pelos cientistas nas próximas décadas (ROCHA, 2011). Como desdobramento deste artigo, um novo e curto trabalho intitulado *Por que prata, cobre e ouro, bons condutores de eletricidade, não apresentam supercondutividade?* foi publicado, na mesma revista (Figura 19), como resposta ao leitor, sobre uma questão suscitada pelo artigo anterior. Esta questão dizia respeito especificamente às propriedades de condução da prata, cobre e ouro, sabidamente os melhores condutores convencionais de eletricidade, e que não se apresentam no estado supercondutor mesmo a temperaturas tão baixas quanto 0,05K. Foi afirmado então que a razão destes materiais não apresentarem a supercondutividade, era a fraca capacidade de interação entre os elétrons e a rede de átomos dos mesmos. Neles, a ação das forças de atração responsáveis pela supercondutividade, mostrava-se incapaz de superar a repulsão natural entre os elétrons, impedindo a produção dos pares de Cooper e as razões dessa incapacidade ainda estão sendo estudadas pelos físicos (ROCHA, 2012).



Figura 19 – Capa da revista “Ciência Hoje”, onde foi publicado um curto artigo sobre supercondutividade. (ROCHA, 2012).

3. 5 A abordagem do conteúdo

Para elaborar o “plano de curso” da disciplina Física Básica III, cujo conteúdo era o Eletromagnetismo clássico, partiu-se do pressuposto de que as conceituações e proposições mais gerais devem ser apresentadas no início de qualquer processo de instrução. Esta ideia é abraçada também por eminentes educadores, inclusive da área do ensino de Física (MOREIRA, 2004), e baseia-se em duas hipóteses: primeiro, a de que as dificuldades de aprendizagem são menores quando, a partir do todo, olha-se as partes, do que quando, a partir das partes, tenta-se entender o todo; e, segundo, a de que existe certa hierarquia na estrutura mental de um indivíduo, onde as ideias mais gerais encontram-se no topo, vindo mais abaixo proposições e conceitos específicos.

Foi com base nesse pressuposto que tomamos como ponto de partida não um tema específico da Teoria Eletromagnética Clássica, tal como a lei de Coulomb, ou algum subtema da eletrostática (a exemplo dos modelos explicativos do fenômeno da eletrização dos corpos), mas sim a ideia geral de que o aluno no início do curso deveria ter uma noção ampla do que trata a Física e também de como se constituiu (em linhas gerais) ao longo do tempo, para só depois abordar temas específicos que lhe são hierarquicamente subordinados. Esta escolha do tema de abertura do curso tinha a vantagem de provocar o interesse do aluno para o passo seguinte, que tratava do próprio arcabouço da Física clássica, isto é, de como as diversas áreas da Física se relacionavam e como se situava a Teoria Eletromagnética nesta estrutura. A esta estratégia de organização do conteúdo, acrescentava-se a possibilidade de se estabelecer relações entre as chamadas equações de Maxwell, base da Teoria Eletromagnética Clássica, e as leis do eletromagnetismo estudadas nas escolas de nível médio (lei de Coulomb, de Biot-Savart, Faraday etc.).

As discussões gerais sobre a Física, referidas anteriormente, isto é, sobre “o que é a Física”, seu objeto de estudo, limites de seu campo de ação, onde e quando teve sua origem etc., eram orientadas por um *texto complementar*, intitulado “A Física e a

Sociedade", produzido para servir de *material didático* para esta disciplina. Além de tratar de tais questões, este texto aborda, de forma resumida, o processo de desenvolvimento da Física ao longo do tempo, especialmente durante o século XVII, quando a mesma progrediu por dois caminhos diferentes. De um lado, aquele da Física herdada da tradição grega e que incluía as áreas que já tinham tido um desenvolvimento importante na Antiguidade e na Idade Média e eram bastante matematizadas, como é o caso da Óptica e da Harmônica. Do outro, o caminho da chamada ciência *baconiana*, ou seja, da física experimental, que valorizava a observação e a experimentação como fontes de conhecimento, e cujo principal expoente foi o inglês Francis Bacon (1561-1626). Um exemplar do citado texto foi anexado a esta tese para esclarecer como este assunto foi tratado, podendo ser visto no Apêndice 3 – Texto Complementar 1.

A etapa seguinte, a apresentação do arcabouço teórico da Física clássica e de como a Teoria Eletromagnética nela se situava, era apoiada no conteúdo da parte inicial do Capítulo III do livro *Origens e Evolução das Idéias da Física,* referido anteriormente, acrescentando-se a este uma breve discussão do significado e da importância das equações de Maxwell. O Capítulo III também servia como ponto de apoio para a revisão histórica das principais descobertas no ramo da eletrostática, desde as primeiras observações na Grécia antiga até as descobertas de Coulomb, expressas na chamada *lei de Coulomb*.

A citada revisão histórica das principais descobertas no ramo da eletrostática constituía-se em uma oportunidade para os alunos discutirem a natureza da ciência, na medida em que os relatos das descobertas e as tentativas de explicação revelavam o uso de diferentes modelos mecânicos (eletricidade como um fluído) para explicar fenômenos do eletromagnetismo. Esta transposição de conceitos da mecânica para o eletromagnetismo era um reflexo da forte influência exercida pela Mecânica em todo o pensamento científico do século XVIII e não só nele.

É claro que simultaneamente às discussões das origens e evolução dos conceitos da eletrostática, muitos itens experimentais, cerca de dez, podiam ser apresentados pelo docente sem perda de continuidade da exposição. As mais diversas manifestações do fenômeno de eletrização por atrito eram conseguidas, em sala de

aula, mesmo em ambiente úmido, usando o recurso de um secador de cabelo para retirar a umidade dos objetos (melhor ainda seria num ambiente com um aparelho de ar-condicionado em funcionamento). A eletrização de um bastão de vidro com a seda pura (que Charles du Fay chamou de *eletricidade vítrea* e que depois Benjamin Franklin denominou “positiva”) era uma experiência indispensável por seu valor histórico e pelo fato de a eletricidade adquirida pelo bastão poder ser tomada como referência para se descobrir o tipo de eletricidade de outros objetos eletrizados. A identificação do tipo de carga dos corpos eletrizados era feita também pelos alunos, com a ajuda de uma pequena lâmpada de neon, fazendo uso dos *kits* experimentais adquiridos de uma empresa especializada na produção de material didático (PHYWE), Outro experimento com eletricidade estática era aquele em que pedacinhos de papel ou cortiça são atraídos e depois repelidos por um corpo atritado, uma experiência análoga àquela realizada e descrita por Newton no seu artigo de 1675, “Hypotesis of Light”, na qual um pequeno globo de vidro atritado atraia e repelia pedacinhos de papel colocados em suas proximidades. Experiências como esta realizada por Newton, ou análogas a esta, como as que foram realizadas em sala, eram justificadas em razão dos alunos, geralmente, não terem feito qualquer experiência em eletricidade até aquele momento. Entretanto, o principal item experimental, desta parte do curso, era a demonstração da inexistência de excesso de cargas no interior de condutores isolados. Este fato experimental foi primeiro percebido por Franklin (1755), em seguida confirmado pelo seu amigo Prestley (1767) e, posteriormente, de forma mais precisa, por Faraday (no século XIX), através de sua também famosa experiência com um balde metálico, que ficou conhecida como experiência do balde de gelo. A demonstração de que o excesso de cargas dos condutores localizava-se na superfície externa dos mesmos, mostrava-se muito importante como verificação experimental da lei de Coulomb, e propiciava outras consequências práticas, pois o método de usar a balança de torção com divisão de cargas (usado por Coulomb) não era muito preciso. Juntava-se a isto o fato de que após a descoberta de Coulomb e antes de Faraday, Laplace havia demonstrado um importante teorema da eletrostática, de acordo com o qual decorre da lei de Coulomb (e de seu corolário, a chamada Lei de Gauss) que a carga no interior de um condutor esférico, isolado, é sempre zero (isto é válido não só para condutores esféricos). A

importância deste resultado levou Maxwell a realizar experiências precisas, em 1873, para verificar o teorema citado, tendo obtido que o mesmo era verdadeiro, pelo menos no limite da precisão experimental de sua experiência com duas esferas concêntricas. Versão mais moderna da experiência de Franklin foi realizada por outros experimentadores, a exemplo daquela realizada por Samuel Plimpton e Willard Lawton, em 1936.

A realização de uma variedade de itens experimentais, inclusive o anteriormente relatado, não substituía, entretanto, a discussão detalhada do experimento realizado por Coulomb, com sua balança de torção, considerado especialmente instrutivo, porque foi, principalmente, a partir das experiências de Coulomb que se começou a pensar em carga elétrica como uma quantidade definida que poderia ser medida, o que não tinha sido feito com precisão, até então. Para orientar as discussões dos resultados obtidos por Coulomb, foi produzido um texto complementar com o título “Lei de Coulomb e carga elétrica”, onde se incluiu um item sobre a discussão das medidas realizadas por Coulomb e outro sobre conceito de carga elétrica e sua conservação. Este trabalho encontra-se no Apêndice 3 - Texto Complementar 2.

Para culminar a discussão do conceito de carga elétrica e de sua conservação, era introduzido o significativo experimento da “Câmara de Wilson” ou “Câmara de Nuvens”, em que pode ser revelada a presença de partículas atômicas carregadas, a exemplo de partículas alfa. O *kit* experimental existente no laboratório foi construído pelo aluno Leonardo Silva Borges sob a orientação dos Professores Iuri Pepe e Maria Zucci, com a colaboração do engenheiro Ivan Monsão e de integrantes do Laboratório de Fotoacústica e do Laboratório de Propriedades Ópticas - LAPO. Este experimento era muito instrutivo, por reforçar as discussões já realizadas sobre o conceito de carga e sua conservação, e suscitar discussões sobre temas da atualidade, relacionados aos aceleradores de partículas. Um texto de revisão histórica sobre a invenção da Câmara de Nuvens, em 1911, que deu o Prêmio Nobel a Charles Wilson, em 1927, foi produzido com o título “A descoberta de Wilson” e pode ser encontrado no Apêndice 3 **-** Texto Complementar 3.

Após as discussões sobre a Lei de Coulomb e também do conceito de carga e sua conservação, o esperado era a introdução da noção de campo, um conceito sobre

o qual se estrutura todo o eletromagnetismo de Maxwell. A abrangência desse conceito recomendava, que fosse feita, primeiro, uma profunda revisão das suas origens históricas, a fim de que fosse evidenciado o seu papel fundamental no delineamento da estrutura conceitual do eletromagnetismo, para só depois relacioná-lo aos experimentos de laboratório. O desenvolvimento desta revisão histórica foi orientada por questões do tipo: O que é mesmo o campo elétrico? A presença de uma carga muda realmente as propriedades do espaço em sua volta? O campo elétrico é algo real, ele existe de fato? Não é apenas um recurso útil para descrever os fenômenos físicos? Pode-se falar de interação (repulsão ou atração) entre campos (criados por bobinas ou imãs, por exemplo)? Qual a diferença essencial entre o conceito de campo usado na linguagem cotidiana, a exemplo de campo de influência política, e o conceito científico de campo físico? Como se vê, estas são questões de natureza, essencialmente, metafísica, mas desempenhavam um papel fundamental nas discussões sobre o conceito de campo, incitando os alunos a refletirem sobre ideias que, geralmente, são tratadas apenas do ponto de vista matemático. As respostas a tais questões eram buscadas na exposição histórico-conceitual que se seguia, tomando como referência os trabalhos de alguns filósofos ou cientistas importantes que contribuíram para a formulação do conceito de campo. Começava-se então com a apresentação das ideias de Tito Lucrécio (95-52 a.C.) e de William Gilbert (1544-1603) sobre o problema da transmissão da força e de como este problema foi tratado por outros filósofos ou cientistas, especialmente a partir do século XVII. Mostrava-se, em seguida, que a ideia de ação a distância passou a ganhar destaque a partir da publicação da segunda edição dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, de Newton, que trazia no seu Prefácio, escrito pelo editor Roger Cotes, a defesa da noção de ação a distância, uma ideia, aliás, não comungada por Newton, mas que, em razão de encontrar-se no prefácio de sua obra, fora interpretada como se fosse dele.

Em contraposição à ideia de ação a distância, adotada por cientistas importantes como C. Coulomb, A. Ampère, W. Weber e outros, apresentava-se a noção de linhas de força, ou de ação de campo, proposta por M. Faraday, no século XIX. Esta discussão era seguida da apresentação das contribuições de Lord Kelvin, que, diferentemente de Faraday, adotava a ideia de um meio permeando o espaço, o éter, e comparava os

efeitos elétricos do éter com as variações encontradas nos corpos sólidos submetidos a tensões (Faraday preferia preencher o espaço com linhas de força), tratando o problema da transmissão da força a partir de uma abordagem essencialmente matemática, usando símbolos matemáticos. Após essas discussões introdutórias, mostrava-se como J. C. Maxwell entrara em cena, articulando as contribuições de Faraday e de Kelvin com vistas a obter uma descrição matemática consistente para os fenômenos do eletromagnetismo clássico. Era mostrado então que Maxwell, apesar de considerar seus trabalhos uma tradução matemática do que achava ser as ideias de Faraday, gradualmente, deslocara sua atenção da ideia de linhas de força (de Faraday) para a ideia de uma substância que preencheria todo o espaço e que seria responsável pela transmissão dos efeitos elétricos e magnéticos, incorporando ao seu éter, nesse processo, muitas das ideias que Faraday havia desenvolvido para as linhas de força.

A apresentação das contribuições de Maxwell culminava a exposição sobre as origens históricas do conceito de campo, mas as discussões sobre a relação entre a ideia do éter clássico e a ideia de campo não se encerravam aí. Isto porque a ideia do éter clássico (pré-relativístico) fora posta em sérias dúvidas, após o chamado experimento de Michelson-Morley e, principalmente, após os trabalhos de Einstein, relativos à Teoria da Relatividade Restrita. Era então esclarecido que, aos poucos, as esperanças de explicar o campo com base em concepções mecânicas para o éter foi se enfraquecendo e, paulatinamente, as atenções dos cientistas foram se deslocando do conceito de éter para o conceito de campo, tendo sido, provavelmente, Hertz um dos primeiros a postular a validade das equações de Maxwell sem a necessidade de um meio etéreo em que as ondas eletromagnéticas se propagariam. Finalmente, as discussões eram completadas afirmando-se que, na sua origem, o conceito de campo parecia ser apenas um conceito útil, mas que, em razão do desenvolvimento da Física, este conceito foi se tornando cada vez mais real, de modo que, para a Física Moderna, conforme diz Einstein, o campo eletromagnético é tão real quanto a cadeira que sentamos.

Essa rica revisão histórica criava um clima, especialmente, propício para se modelar matematicamente o conceito de campo, o que era feito somente após a apresentação dos experimentos demonstrativos, que possibilitavam aos alunos

visualizar as configurações de linhas de força de campo elétrico, criadas pelas mais variadas distribuições de cargas. O uso de um gerador de Van de Graaff, ou do gerador de Wimshurst, tornava esta tarefa relativamente simples e os resultados experimentais obtidos serviam de referência para as discussões teóricas que se seguiam. Convém registrar que a utilização desses geradores eletrostáticos foi necessariamente precedida da explicação dos seus princípios físicos de funcionamento. Esta parte experimental constituía-se em um momento importante do curso, em razão da oportunidade de, com base nos experimentos, obter-se as expressões matemáticas do campo elétrico devido a uma esfera carregada e também do campo no interior de um capacitor de placas paralelas, além, naturalmente, do campo devido a uma carga pontual. A alternativa a este procedimento seria a utilização da Lei de Gauss que, entretanto, era considerada fora dos propósitos do curso de Física Básica III. A importância do conceito de campo no curso de eletromagnetismo foi considerada tão relevante que somente para a apresentação deste conceito estava reservado um mínimo de 10% da carga horária da disciplina.

Se do ponto de vista teórico nenhum conceito da teoria eletromagnética podia ser mais importante que o de campo, do ponto de vista prático era o conceito de diferença de potencial que ganhava destaque. Este conceito está intimamente relacionado ao conceito de energia e sua apresentação exigia também uma revisão histórica do seu desenvolvimento. Mas, ao contrário dos procedimentos anteriores, a apresentação destes conceitos não era iniciada com a revisão histórica, mas com a realização de um experimento demonstrativo, em que se procurava tratar o conceito de diferença de potencial como um desnível elétrico entre dois pontos do espaço, em analogia com o caso mecânico. Isto era conseguido fazendo-se uso também do gerador Van de Graaff, com a ajuda do qual se estabelecia uma elevada diferença de potencial entre duas placas metálicas, paralelas, colocadas sobre uma placa de isopor lisa e entre as quais se punha uma esfera de isopor (do tamanho de uma bola de gude) envolvida em papel alumínio. O movimento da esfera, deslocando-se no plano horizontal, entre as placas carregadas, após tocar cada uma delas (e trocar de carga), era então comparado com o movimento de um corpo entre dois pontos do espaço, localizados em alturas diferentes. Somente após esses exercícios experimentais (e

antes de se exercitar os recursos matemáticos), era realizada uma breve revisão histórica do conceito de energia, ao qual, o conceito de potencial está intimamente ligado, conforme já registrado. Nesta revisão, começava-se por mostrar que a dificuldade de se dar uma definição geral do conceito de energia não impedia que fossem dadas definições de suas formas específicas, como a de energia potencial, que é definida como a capacidade do sistema de realizar trabalho em razão das posições relativas de suas partes. Esta revisão histórica do conceito de energia tinha o intuito de melhor posicionar os alunos diante do conceito de potencial elétrico ou diferença de potencial elétrico.

Os procedimentos referidos, isto é, a realização de experimento demonstrativo e a revisão histórica do desenvolvimento do conceito de energia facilitavam a abordagem do conceito de diferença de potencial do ponto de vista matemático, para o que eram usadas a definição de *trabalho* e noções de cálculo diferencial e integral, um recurso matemático que, nesse caso, se mostrava indispensável para o bom entendimento e desenvolvimento do assunto. Este era um dos poucos momentos em que o cálculo diferencial e integral era usado explicitamente, mas de forma comedida, para que se ficasse dentro dos objetivos da disciplina. Convém registrar que as aplicações práticas do conceito de diferença de potencial eram as mais variadas possíveis. A seguir serão relacionados três desses itens experimentais, para que se tenha uma ideia do que se fazia em sala de aula. O primeiro consistia na clássica experiência de “levantamento de cabelo” de uma pessoa posicionada sobre uma placa isolante (de isopor) com a mão posta sobre a esfera do gerador de Van de Graaff, a uma tensão de aproximadamente 20.000V; o segundo era o da produção de eflúvios em lâmpadas incandescentes e fluorescentes, quando estas eram aproximadas da esfera (carregada) desse gerador; e o terceiro, o da avaliação do potencial alcançado por esta esfera, a partir do tamanho da centelha produzida ao se aproximar outra esfera da mesma. Foi também uma aplicação bastante instrutiva a avaliação da quantidade máxima de carga que se podia acumular na esfera do gerador de Van de Graaff, supondo a mesma perfeita, a partir da medida do raio da esfera. É importante ainda ressaltar que o número de itens ou exercícios experimentais, envolvendo o conceito de diferença de potencial foi ampliado após ser introduzido o conceito de capacitância de um capacitor. Para se ter uma ideia

do tipo de experimentos ou exercícios regularmente realizados, envolvendo o conceito de capacitância, serão relacionados três deles como exemplos: o primeiro, aquele em que se mostrava uma lâmpada incandescente emitindo luz, quando conectada aos terminais de um capacitor eletrolítico de 0,013F ou de 1F, inicialmente carregados; o segundo, aquele em que se carregava um capacitor (1F/5V) com 5C de carga e se pedia a um aluno para tocar seus terminais (o aluno geralmente não aceitava); e o terceiro, aquele em que se comparava o efeito de se tocar a esfera de um eletroscópio (2cm de raio) com um dos terminais de um capacitor eletrolítico (capacitância de 0,0135F, carregado) e, após isto, repetindo o processo, com um dos terminais de um capacitor artesanal (capacitância da ordem de 10^{-12}F, carregado), construído a partir de um pequeno tubo de guardar filmes fotográficos. Foram também acrescidos a esses itens experimentais a comparação da energia necessária para elevar o potencial da esfera do gerador de Van de Graaff à tensão de 20.000V, supondo a esfera perfeita, e a comparação da energia acumulada no capacitor de 1F (1F/5V), com 5C de carga, com a energia transferida em uma descarga atmosférica típica. Para orientar as discussões sobre potencial e diferença de potencial elétrico, foi produzido um texto complementar que segue anexo com a indicação de Apêndice 3 - Texto Complementar 4.

O passo seguinte à introdução do conceito de diferença de potencial e do conceito de capacitância era o da discussão do conceito de *força* eletromotriz (*fem*), conceito este que, a partir da invenção da pilha eletroquímica, em 1799, por A. Volta, esperou aproximadamente cinquenta anos para ser compreendido nos termos que o entendemos hoje. Como no caso anterior, inicialmente eram apresentados os itens experimentais demonstrativos para, em seguida, mostrar o contexto histórico em que se deu a invenção da pilha eletroquímica e o desenvolvimento do conceito de *fem*, a ela associado. Para ilustrar, relaciona-se, a seguir, três dos itens experimentais referido: o primeiro, a construção de um gerador elementar de força eletromotriz (*fem*), introduzindo em um limão uma pequena placa de zinco e outra de cobre; o segundo, a ligação em série de duas células obtidas conforme o item anterior, após o que era medida, com um voltímetro a *fem* da associação (valor aproximado) e verificado se a tensão produzida pela associação das células era suficiente para acender um *LED*; e o terceiro, a construção de outro tipo de gerador, substituindo a placa de zinco por uma

placa de alumínio para comparar o valor da *fem* desta nova célula com aquele obtido com a célula anterior.

O momento da apresentação das descobertas de Galvani e Volta revelava-se como uma boa oportunidade para se refletir sobre o processo de produção do conhecimento científico, pois era possível se comparar os esforços infrutíferos de Luigi Galvani para fazer a interpretação correta do fenômeno por ele descoberto, com as investigações de Volta, que o levaram à interpretação correta das causas das contrações musculares dos nervos crurais da rã, observadas primeiramente por Galvani, um professor de anatomia e ginecologia da Universidade de Bolonha. A exposição das circunstâncias históricas em que ocorreu a invenção da pilha era baseada no texto do citado Capítulo III do livro *Origens e Evolução das Idéias da Física,* de nossa própria autoria, e por um texto complementar, intitulado "´Força eletromotriz – aspectos históricos e conceituais", que fora produzido como material de suporte para o próprio curso de Física Básica III e que se encontra no Apêndice 3 (Texto Complementar 5). Nesse texto complementar, foi mostrado que a natureza da força responsável pela separação das cargas na pilha foi interpretada corretamente por G. Kirchhoff, em 1847, ao afirmar que a mesma deveria ser entendida como a medida da energia que era transferida à unidade de carga que circula no circuito, e não simplesmente como a capacidade que tinham alguns corpos de gerar eletricidade em outros. A distinção explícita dos conceitos de diferença de potencial e força eletromotriz marcava o fim da primeira parte do curso, momento em que era realizado uma avaliação individual, na qual os alunos deviam responder, por escrito, 6 ou 7 questões conceituais.

A segunda parte do curso era iniciada com o estudo da corrente elétrica. Antes de se definir as grandezas físicas, intensidade de corrente elétrica e resistência elétrica, razões pedagógicas sinalizavam para uma breve discussão sobre a estrutura dos sólidos e suas propriedades de condução. Começava-se, geralmente, pela classificação dos mesmos em sólidos cristalinos, não cristalinos e mesomórficos (cristais líquidos), salientando-se que quase todos os sólidos existentes na natureza apresentam-se na forma de cristais. Mostrava-se então que os sólidos cristalinos podiam ser de vários tipos: moleculares, iônicos, covalentes ou metálicos, sendo que, destes, os únicos bons

condutores de eletricidade (em condições normais) eram os sólidos metálicos, cuja estrutura certamente inspirou P. Drude a propor o chamado modelo clássico da condução elétrica, em 1900. Este momento apresentava-se como mais uma oportunidade para reflexão sobre o papel dos modelos físicos no desenvolvimento das teorias físicas, tornando possível confrontar-se a descrição macroscópica da condução elétrica, realizada por Ohm, com a descrição do mesmo fenômeno a partir de modelos microscópicos, particularmente a partir do modelo de Drude. Isto era feito comparando-se as expressões matemáticas da resistividade, ρ, decorrentes de tais modelos, e também os valores calculados através delas, para o caso em que o condutor era de cobre.

Como já referenciado, este movimento inicial era apenas preparatório para a introdução dos tópicos de interesse naquele momento, em especial, a definição da grandeza intensidade de corrente elétrica e sua relação com a velocidade de migração dos portadores de cargas nos condutores, além da definição de resistência elétrica. Tais definições eram apresentadas após um breve relato histórico de como evoluiu o estudo do fenômeno da condução elétrica, desde a sua descoberta pelo cientista amador inglês Stephan Gray, em 1729, passando pelas descobertas de G. Ohm e T. Seebeck, na década de 1820, e pelos modelos microscópicos da condução elétrica, de Drude e Lorentz, no início do século XX, para culminar com a descoberta da supercondutividade, por H. K. Onnes, no ano de 1911. Tal relato histórico era acompanhado por experimentos demonstrativos, a exemplo daquele em que era mostrado o efeito Seebeck, usando um termopar de cobre e ferro, e o efeito Peltier (descoberto em 1834, em metais), usando uma pastilha termoelétrica, contendo uma série de elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n, agrupados em pares, agindo, neste caso, da mesma forma em que dois condutores metálicos agiriam. Convém lembrar que pilhas eletroquímicas e pares termoelétricos desempenharam papel fundamental nas investigações desenvolvidas por G. Ohm entre 1825 e 1827. Esta era uma oportunidade também dos alunos realizarem experiências quantitativas, com o intuito de determinar a resistência interna de uma bateria e de confrontar as expressões matemáticas da potência dissipada em resistores de comprimento diferentes ($P=iR^2$ e $P=V^2/R$), adaptados de resistências de chuveiro usadas em residências com linhas

elétricas de 127 V. Para complementar a parte do Capítulo III do livro *Origens e Evolução das Ideias da Física*, que trata deste tema (ROCHA, 2002b), e orientar as discussões em sala de aula, foram produzidos dois textos de cunho histórico-fenomenológico-conceitual. O primeiro, com o título “Efeito Seebeck e efeito Peltier – Discussão” e, o segundo, intitulado “A Lei de Joule e a determinação do *equivalente mecânico* por processos elétricos”, anexados a esta tese com a indicação de Apêndice 3 - Textos Complementares 6 e 7.

Esta primeira etapa do estudo da condução elétrica não era encerrada antes de se determinar (avaliar) experimentalmente a massa de um átomo de cobre e de se apresentar as leis das malhas e dos nós, obtidas por G. Kirchhoff, entre 1845 e 1847. A massa do átomo de cobre era determinada, fazendo-se uso do fenômeno da eletrólise, seguindo o roteiro preparado com esta finalidade, apresentado no Apêndice 3 - Texto Complementar 8, desta tese, enquanto a apresentação das leis das malhas e dos nós, era feita mostrando-se que Kirchhoff elaborou tais leis, após realizar uma série de experiências com redes elétricas (conjunto de malhas) planas e espaciais, seguida da análise dos seus resultados com base na lei da conservação da carga e da energia. Note-se que este período coincide com o próprio período da formulação do princípio da conservação da energia, estabelecido por Mayer, Joule, Helmholtz e outros.

Seria de se esperar que a discussão do fenômeno da supercondutividade fosse feita ainda durante o estudo da condução elétrica, o que realmente ocorria quando pouca atenção ainda era dada a esse fenômeno, por não se dispor de uma pastilha supercondutora para se realizar um experimento demonstrativo capaz de motivar os debates sobre este tema. Esta programação mudou, entretanto, a partir de 2011, com a compra de um disco cerâmico supercondutor de YaBaCuO, sobre o qual foi possível fazer levitar um imã, a partir do chamado efeito Meissner. Este efeito é caracterizado pela expulsão do fluxo magnético do interior da amostra supercondutora, quando esta é resfriada com nitrogênio líquido na presença de um campo magnético estático. Tal efeito tinha sido descoberto em 1933 por W. Meissner e R. Ochsenfeld, quando estudavam o comportamento de amostras de estanho em função da temperatura na presença de campo magnético. A realização desse experimento em sala de aula, no primeiro semestre de 2012, revelou o quanto os cursos modernos de introdução ao

eletromagnetismo podem avançar na direção dos tópicos de Física contemporânea, sem deixar de discutir os assuntos mais introdutórios do eletromagnetismo. No semestre referido, as discussões sobre o fenômeno da supercondutividade passaram a ser orientadas pelo texto de um artigo de nossa autoria, publicado na revista “Ciência Hoje”, já citado neste capítulo (ROCHA, 2011), complementado por um outro curto artigo, também de nossa autoria, publicado em outro número da mesma revista, e também já referido (ROCHA, 2012).

De acordo com a programação do curso, o passo seguinte a ser dado era o do estudo do magnetismo, um ramo do eletromagnetismo geralmente pouco explorado em sala de aula, mas que podia se tornar significativo se acompanhado de alguns experimentos demonstrativos. Dentre os experimentos selecionados como provocador de interesse sobre o tema era apresentado o que comparava a configuração do campo magnético produzida por um imã, com a configuração do campo magnético produzido por um solenoide, de onde também se podia obter argumentos (após ser explorada a noção de fluxo magnético) para apresentar uma das equações de Maxwell (na forma integral), conhecida como lei de Gauss para o Magnetismo. Um outro exemplo era aquele em que se dependurava uma pequena placa de alumínio (20 cm^2 de área, aproximadamente) numa linha de 2 metros de comprimento, preso no teto da sala, e se aplicava um forte campo magnético, para investigar seu comportamento frente a este campo. O comportamento paramagnético da amostra podia ser notado a partir do efeito de atração que persistia após desaparecer o efeito de indução eletromagnética, produzido imediatamente após se aplicar o campo magnético, usando um eletroímã. Em um terceiro exemplo, buscava-se investigar o efeito da temperatura sobre materiais chamados magnéticos (ferromagnéticos). Neste experimento, um clipe era dependurado próximo a um imã, de modo que o fio que suportava a amostra ficasse inclinado em relação à direção vertical, devido a ação do imã, mas sem o tocar. O efeito da temperatura sobre a magnetização da amostra era percebido, quando se aquecia o clipe com a chama de uma vela, após o que se notava o enfraquecimento da força de atração do imã sobre o clipe, a ponto deste afastar-se para longe do imã movido pela força da gravidade. As discussões histórico-conceituais sobre o assunto eram apoiadas no Capítulo III do citado livro *Origens e Evolução das Idéias do Eletromagnetismo*,

complementada por um resumo explicativo das propriedades dos materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos, que segue anexo com a indicação de Apêndice 3 - Texto Complementar 9.

A inclusão do estudo do magnetismo neste curso visava motivar os alunos a buscar a explicação da origem do magnetismo dos materiais. Uma revisão histórica do tema criava a oportunidade para expor os argumentos de Ampère, apresentados na década de 1820, quando afirmou que a corrente elétrica é a fonte de todo magnetismo, uma ideia que contrastava com as teorias comuns da época, baseadas em fluidos magnéticos.

Após esse breve estudo do magnetismo, chegava-se à etapa da apresentação dos fenômenos eletromagnéticos propriamente ditos. Este era o momento em que se delineava a parte final do curso, caracterizada pelo estudo de quatro fenômenos importantes do eletromagnetismo, apresentados em bloco, para só oportunamente cada um deles ser analisado separadamente. Tais fenômenos eram resumidamente enunciados nos seguintes termos: a) em volta de um condutor percorrido por uma corrente elétrica existe um campo magnético; b) um condutor percorrido por uma corrente elétrica, colocado num campo magnético, fica sujeito a uma força; c) se houver variação do fluxo magnético que atravessa uma superfície determinada por um condutor fechado, aparecerá no condutor uma corrente elétrica ou, de outro modo, um campo magnético variável induz um campo elétrico; e d) um campo elétrico variável induz um campo magnético. A exposição desses fenômenos era precedida da introdução dos conceitos de campo magnético e de fluxo magnético, o que era feito em analogia com os conceitos de campo elétrico e de fluxo elétrico, este último introduzido com base na ideia de que a densidade de linhas de força, isto é, linhas de força por unidade de área perpendicular às linhas, era uma medida da intensidade do campo elétrico ($E_{perpend} \propto N/A$, ou $E_{perpend}\ A \propto N$, ou ainda $\boldsymbol{E.A} \equiv \phi_E \propto N$, onde E é a intensidade do campo, N é o número de linhas de força, A é a área perpendicular às linhas e ϕ_E o fluxo do campo elétrico). A apresentação de cada um desses fenômenos eletromagnéticos era acompanhada por um experimento demonstrativo simples, associando-se uma aplicação tecnológica importante a cada um, com o objetivo de vinculá-lo ao cotidiano dos alunos. Estas discussões de caráter fenomenológico-

conceitual, ocorreram sem ênfase nos aspectos históricos, deixados para mais adiante, isto é, para o momento de discussão aprofundada de cada um dos fenômenos. A definição do vetor campo magnético, também apresentada nesta mesma oportunidade, era feita atendendo às exigências de que o campo é uma grandeza associada a cada ponto do espaço, sendo que a apresentação da expressão da chamada força de Lorentz ($\boldsymbol{F}=q\boldsymbol{vxB}$), usada para definir o vetor campo magnético, $\boldsymbol{B}$, era feita com base na análise de resultados experimentais conhecidos, relativos aos efeitos magnéticos sobre uma carga de prova, passando por um determinado ponto do espaço (com velocidades e direções diferentes), na presença de um imã.

O passo seguinte era a discussão do fenômeno descoberto por Oersted, em 1820, no qual, em linguagem atual, um condutor percorrido por uma corrente elétrica produzia um campo magnético em sua volta. A discussão sobre este fenômeno era iniciada com a apresentação de experimentos demonstrativos análogos aos experimentos que levaram Oersted a sua descoberta, e mais outros experimentos, como o que mostrava o funcionamento interno de um galvanômetro de imã móvel (comparando-o com o de bobina móvel) e aquele em que se media a intensidade dos efeitos magnéticos devido a um imã ou a uma corrente num fio, a partir da contagem das oscilações de uma bússola (conforme fizeram também Biot e Savart ao medir intensidade do magnetismo terrestre a diferentes alturas, subindo de balão até aproximadamente 4.000 metros). Após a apresentação desses experimentos, era feita a descrição do contexto em que se deu a descoberta de Oersted. Nesta descrição, mostrava-se que a relação entre eletricidade e magnetismo já era conhecida (mas não compreendida) muito antes das experiências de Oersted, pois, já no início do século XVIII, a imantação de objetos de ferro pela ação de raios (sem que esses os atingissem) merecia registro na revista *Philosophical Transaction* da *Royal Society* de Londres e também, já em meados do século XVIII, se sabia que a polaridade de uma bússola podia sofrer inversão durante uma tempestade. Mostrava-se então que esses fatos, apesar de hoje parecerem fortes evidências de uma relação entre eletricidade e magnetismo, não foram suficientes para conduzirem os cientistas diretamente à descoberta do eletromagnetismo, o que só veio a ser feito por Oersted, em 1820, de um modo aparentemente casual (a descoberta foi divulgada em 21 de julho). Dissemos

aparentemente casual, porque Oersted insistiu em que “Durante toda a sua carreira como escritor, ele aderiu a opinião de que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os elétricos e que não foi levado a isto pelas razões comumente alegadas a favor desta opinião, mas por um princípio filosófico, o de que todos os fenômenos são produzidos pelo mesmo poder original ...”. Apresentava-se também outra declaração de Oersted, datada de 1827, em que este relatava:

> No inverno de 1819-1820, ele (Oersted) apresentou um curso de conferência sobre eletricidade, galvanismo, e magnetismo, diante de uma audiência previamente familiarizada com os princípios da filosofia natural. Ao preparar a conferência na qual versaria sobre a analogia entre magnetismo e eletricidade, conjeturou que, se fosse possível produzir algum efeito magnético pela eletricidade, isto não poderia ocorrer na direção da corrente, pois tal havia sido frequentemente tentado em vão, mas que deveria ser produzido por uma ação lateral...
>
> Assim como os efeitos luminosos e caloríficos saem de um condutor em todas as direções, quando este transmite uma grande quantidade de eletricidade, assim imaginou ser possível que o efeito magnético se irradiasse de forma semelhante. As observações registradas acima, de efeitos magnéticos produzidos por raios em agulhas que não foram diretamente atingidas, confirmaram-no em sua opinião. Ele estava longe de esperar um grande efeito magnético da pilha galvânica; supôs que poderia ser exigido um poder suficiente para tornar incandescente o fio condutor.
>
> O plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um pequeno aparelho galvânico de frascos, comumente usado em suas conferências, passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre uma bússola coberta com vidro. A experiência foi preparada, mas como acidentalmente ele foi impedido de ensaiá-la antes da aula, planejou adiá-la para outra oportunidade; no entanto durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e assim realizou a primeira experiência na presença da audiência. A agulha magnética, embora fechada em sua caixa, foi perturbada; mas, como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público. Pode parecer estranho que o descobridor não tenha realizado mais experiências sobre o assunto durante três meses; ele próprio acha difícil concebê-lo; mas pode ter sido levado a postergar suas pesquisas até uma época mais conveniente, pela extrema fraqueza e aparente confusão dos fenômenos na primeira experiência, e pela lembrança de numerosos erros cometidos nesse assunto por filósofos anteriores (particularmente seu amigo Ritter) e porque tal assunto tem o direito de ser tratado com atenção e cuidado.
>
> No mês de julho de 1820, ele novamente retomou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito mais poderoso. O sucesso foi agora evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos,

> supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu que condutores de um diâmetro maior proporcionam um maior efeito e então descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do Eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela. (ROCHA, 2002, p. 248)

Em seguida à apresentação dos argumentos de Oersted, mostrava-se que, após a publicação de seus trabalhos, houve uma intensa discussão sobre quem teria sido realmente o primeiro a descobrir o eletromagnetismo, pois, para alguns cientistas, tal descoberta teria sido feita, não em 1820, mas em 1802, pelo jurista italiano Gian Domenico Romagnosi, que tivera sua comunicação ignorada. Era esclarecido então que a polêmica em torno da prioridade dessa descoberta perdurou até o final do século XIX, a partir de quando o nome de Romagnosi fora esquecido e que, mais recentemente, tal controvérsia foi retomada com a publicação, na 15.ª edição da *Encyclopedia Britannica* (1980), do nome de Romagnosi como predecessor de Oersted. Finalmente, seguindo-se os resultados dos trabalhos de pesquisas de Martins (1986), mostrava-se que o efeito observado por Romagnosi era puramente eletrostático e não eletromagnético, como foi o caso do efeito observado por Oersted, conclusão que confirmava o privilégio da descoberta do eletromagnetismo para Oersted, não excluindo, naturalmente, a possibilidade deste ter tomado conhecimento dos trabalhos de Romagnosi e nele ter encontrado alguma inspiração.

A discussão do fenômeno descoberto por Oersted, não era finalizada antes da apresentação de algumas de suas aplicações tecnológicas, e isto era feito expondo vários dispositivos que funcionam com base nos efeitos de correntes elétricas sobre materiais ferromagnéticos (utilizavam eletroímãs), a exemplo de campainhas, relés, disjuntores termomagnéticos, cabeçotes de gravação de discos magnéticos e outros. Poder-se-ia argumentar que o fenômeno descoberto por Oersted era muito simples e não se justificaria “perder muito tempo com esta discussão”. Este argumento, entretanto, não se sustentaria, pois a descrição matemática deste fenômeno mostrava-se bastante desafiadora, diante da intensa atividade de pesquisa realizada por membros da Academia de Ciências de Paris (A. Ampère, J. Biot, L. Gay-Lussac etc.), logo após tomarem conhecimento da descoberta de Oersted. Iniciava-se então a

discussão, comparando-se as contribuições de J. Biot (e seu colaborador F. Savart) com as contribuições de Ampère, salientando-se que o interesse imediato de Ampère era investigar a ação mútua entre correntes, enquanto o de Biot e Savart era investigar os efeitos magnéticos de uma corrente sobre um imã. Optava-se então por discutir primeiro as investigações realizadas por Biot e Savart, sendo que tais discussões eram iniciadas após a realização de dois experimentos demonstrativos, com vistas a apresentar primeiramente a chamada lei de Biot-Savart, escrita hoje na forma $d\boldsymbol{B}=(\mu_o/4\pi)id\boldsymbol{l}x\boldsymbol{r}/r^3$ (S.I.). Em um deles, procurava-se descobrir a configuração do campo magnético devido a uma corrente (de aproximadamente 10A), percorrendo um fio reto, orientado verticalmente, usando-se um conjunto de bússolas equidistantes do fio, colocadas num plano horizontal. No outro, utilizando-se uma fonte de energia, um amperímetro, uma bobina e uma bússola colocada no centro da bobina, além da expressão matemática da lei de Biot-Savart, procurava-se determinar experimentalmente o valor local da *componente horizontal do campo magnético terrestre*. Após a apresentação de tais experimentos, passava-se à discussão histórico-matemático-conceitual dos mesmos, mostrando-se inicialmente que já em 30 de outubro do mesmo ano (50 dias após tomarem conhecimento da descoberta de Oersted), Biot e Savart anunciaram os resultados preliminares de suas medições de forças sobre um imã, ou polos de um imã (“molécula de magnetismo boreal ou austral”), colocado a uma distância *l* de um “fio cilíndrico fino e longo”, medida perpendicularmente ao fio. Esclarecia-se então que essas forças são proporcionais à intensidade de corrente, inversamente proporcionais à distância (*r*) ao fio e orientadas perpendicularmente ao plano definido pelo fio e pela linha que liga o fio a “molécula magnética”. Tais discussões eram acompanhadas por uma figura ilustrativa da montagem do experimento de Biot-Savart (Figura 20), na qual se podia ver uma agulha (imã) *AB*, suspensa por um fio tênue, um fio de cobre *CZ,* pelo qual passava uma corrente, e um imã A’B’ posicionado com o objetivo de anular o efeito do magnetismo terrestre (indesejável, neste caso) sobre o

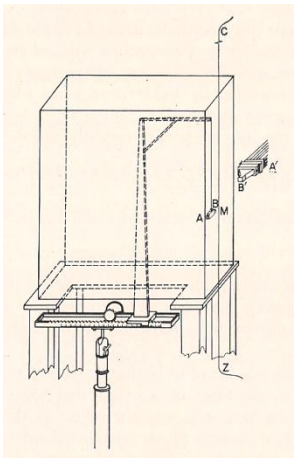


Figura 20 – Montagem do experimento de Biot e Savart. Figura extraída de R. A. R. Tricker, “Early Eletrodynamics – The First Law of Circulation”, 1965.

imã de prova. Estes comentários históricos eram complementados, esclarecendo-se que para encontrar a forma exata da lei de força entre um elemento infinitesimal do fio e o imã, Biot e Savart investigaram a dependência da força com o ângulo θ entre a direção da corrente (dada por ***dl***) e a linha ligando o elemento de corrente ao imã (**r**), mas, não sendo possível isolar um elemento de corrente, eles fizeram tal investigação estudando a força exercida no imã por um fio inclinado (Figura 21). Salientava-se então que os resultados assim obtidos levaram Biot e Savart a concluir que a lei experimental para o fio inteiro consistia de uma força diretamente proporcional ao ângulo α: $dF=cte.i\alpha/r$ (corrigido depois, em 1824, para tg(α/2)), sendo isso usado como confirmação da hoje chamada *lei de Biot-Savart*, a qual, na sua versão moderna, é expressa em termos do conceito de campo magnético: $d\mathbf{B}=cte.idl\times\mathbf{r}/r^3$. Após esta breve discussão, aplicava-se a lei de Biot-Savart ao segundo experimento, acima referido, para determinar indiretamente o valor (aproximado) do campo magnético no centro da bobina, onde estava localizada a bússola e, em seguida, o valor local da componente horizontal do campo magnético terrestre; um cálculo relativamente simples de ser feito em razão da geometria do problema. Com o objetivo de orientar as discussões relativas à lei de Biot-Savart, foi produzido um texto denominado “Contexto da descoberta de Biot e Savart”, que faz parte desta tese, com a indicação de Apêndice 3 **-** Texto Complementar 10.

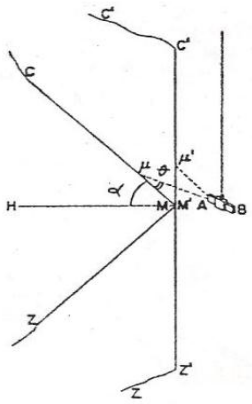


Figura 21 – Esquema mostrando o fio inclinado no experimento de Biot e Savart. Figura adaptada de R. A. R. Tricker, “Early Eletrodynamics – The First Law of Circulation”. 1965.

Após a apresentação da lei de Biot-Savart, passava-se a discutir o já citado fenômeno da ação de forças magnéticas sobre condutores percorridos por correntes elétricas, quando imersos em um campo magnético, seja este produzido por um imã ou por uma corrente. As discussões desse fenômeno eram iniciadas com a realização de experimentos demonstrativos, não só qualitativos, dois deles descritos a seguir, para ilustração. O primeiro deles, o experimento clássico da ação da força sobre um condutor reto imerso num campo magnético produzido por um imã e, o segundo, o do funcionamento de um protótipo de motor elétrico. Em seguida a esta parte experimental, passava-se à dedução puramente teórica da expressão da força

magnética sobre um fio reto de comprimento *l* (***F*****=**$\int$*d****F*****=**$\int$*i****l***x***B***), a qual era obtida da força magnética sobre uma carga *q* (**F**=*qv*x**B**), aplicada às cargas do fio percorrido por uma corrente. Aproveitava-se então o momento para se fazer um breve comentário histórico sobre a expressão geral da força magnética entre condutores percorrido por correntes elétricas, expressa hoje na forma $d\boldsymbol{F}=cte.i_2 d\boldsymbol{l}_2 x(i_1 d\boldsymbol{l}_1 x\boldsymbol{r}/r^3)$, obtida experimentalmente por Ampère, ainda na primeira metade da década de 1820. Relembrava-se que já em 18 de setembro de 1820, Ampère apresentara seu primeiro trabalho sobre o eletromagnetismo, através de sua *Memória relativa aos novos fenômenos galvano-elétricos,* onde descrevia um aparelho que utilizava o efeito eletromagnético para a medida de corrente elétrica, atribuindo-lhe o nome de *galvanômetro* e, uma semana depois, apresentara seu segundo trabalho (*Memória sobre os efeitos da pilha*), mostrando que “duas correntes se atraem quando se movem paralelamente, no mesmo sentido” e “se repelem quando se movem paralelamente, em sentidos contrários”. Afirmava-se ainda que em cada uma das reuniões semanais posteriores (até 6 de novembro de 1820), Ampère anunciou novas ideias e descobertas e também propostas de novos instrumentos elétricos e, ao longo dos três anos seguintes, publicou nada menos que quinze textos sobre o assunto antes de apresentar à Academia de Ciências da França, por volta de 1825, sua *Teoria Matemática dos Fenômenos Eletrodinâmicos Deduzida Unicamente da Experiência*, considerada por muitos uma das mais belas obras da Física Matemática. Em continuidade, afirmava-se que, nesse mesmo período, a partir de experiências com espiras, Ampère percebeu, também, que estas interagiam como se fossem imãs, e isto o levou à ideia de que o magnetismo do ímã natural era uma consequência de ser a substância magnética composta de uma infinidade de pequeninas espiras por onde passavam correntes, mais tarde chamadas “correntes amperianas”. Como já citado, esta era uma hipótese bastante arrojada para a época, pois até então se admitia que o magnetismo fosse devido a “fluidos magnéticos”. Na sua teoria do magnetismo dos ímãs naturais, Ampère afirmava ainda que nas substâncias não magnéticas tais espiras estavam orientadas ao acaso, de modo que a soma de seus efeitos era nula. Finalmente, completava-se a revisão histórica, afirmando-se que as “correntes de Ampère”, assim como as propriedades magnéticas

dos materiais só viriam a ser melhor compreendidas no século XX, a partir do modelo de átomo do físico dinamarquês Niels Bohr, de 1913.

Esta breve revisão histórica era seguida da discussão do funcionamento interno de vários equipamentos elétricos, a exemplo do galvanômetro de bobina móvel, do liquidificador e da furadeira, cujas partes internas eram expostas para que pudessem ser melhor analisadas. Na sequência, era feita a exposição de um protótipo de balança de corrente e esclarecido que, dos dois protótipos de balança de corrente antes existentes, apenas um agora estava disponível, já que aquele capaz de medir forças eletromagnéticas fracas, usando um pêndulo gravitacional como dinamômetro sensível (Figura 22), tinha sido desmontado (sem nosso conhecimento) no semestre seguinte à sua construção, e suas partes tinham sido reutilizadas com outras finalidades. Esclarecia-se então que tal perda estava sendo suprida temporariamente pelo protótipo ali exposto, menos ambicioso, mas que podia ser usado para medir a intensidade do campo magnético aplicado a um fio reto percorrido por uma corrente. Esse tema não era encerrado sem antes ser salientado que as descobertas de Oersted, Ampère, Biot e Savart revelaram um aspecto surpreendente nesse novo tipo de interação física, pois, diferentemente da lei da gravitação universal de Newton e da Lei de Coulomb - que são exercidas na mesma linha que une duas quantidades -, a força entre o polo magnético e as pequenas porções do fio, são perpendicular à linha que une o fio ao polo magnético, e isto, de certo modo, contrariava a filosofia mecanicista da época, que tentava reduzir todas as ações do mundo a forças tipo a da gravitação universal.

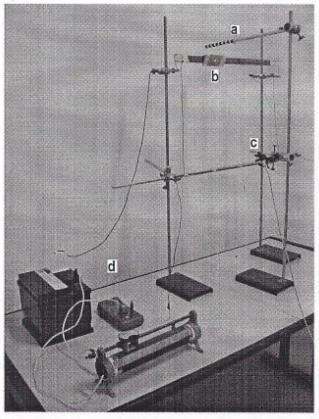


Figura 22 - Arranjo experimental da balança de Ampère referida no artigo *O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível para medir forças eletromagnéticas.*

Após a apresentação do fenômeno da ação de forças sobre condutores e imãs, o passo seguinte era a discussão detalhada do importantíssimo fenômeno da indução eletromagnética, citado em momento anterior, para o que era mantida a mesma estratégia metodológica. Partia-se da realização de um conjunto de experimentos demonstrativos semelhantes àqueles realizados por Faraday, para, em seguida, descrever-se o contexto da descoberta do fenômeno e mostrar suas aplicações. Entre

os itens experimentais de destaque estavam os seguintes: primeiro, aquele em que era estudada qualitativamente a interação eletromagnética entre dois circuitos em razão da variação da corrente de um deles; fazia-se uso de um núcleo de ferro em forma de *U*, envolvido por duas bobinas, independentes (com 300 espiras ou mais), com uma delas ligada a um galvanômetro e a outra ligada, em série, com uma resistência variável, um miliamperímetro, uma fonte de tensão e uma chave. Segundo, aquele em que eram estudados, também qualitativamente, os efeitos eletromagnéticos da variação da distância entre um imã e uma bobina ligada a um galvanômetro, mantendo-se a bobina fixa e variando-se a posição do imã, e, terceiro, aquele em que eram estudados os efeitos eletromagnéticos da variação da distância entre o imã e a bobina, mantendo-se agora o imã fixo e variando a posição da bobina.

Após a apresentação dos itens experimentais, passava-se à descrição do contexto em que ocorreram as descobertas de Faraday, afirmando-se inicialmente que a descoberta da pilha de Volta, em 1800, tinha estimulado a imaginação dos cientistas sobre a possibilidade da eletricidade poder fornecer meios de distribuição de energia e colocar máquinas em funcionamento, em substituição às máquinas geradoras a vapor que eram muito quentes e sujas, além da energia por elas fornecida só ficar disponível na zona em que estavam localizadas. A utilização da pilha de Volta com essa finalidade mostrou-se muito ineficiente, levando os cientistas a explorar a descoberta de Oersted com vistas à utilização mais vasta da eletricidade, ocasionando uma enorme quantidade de experiências e especulações que lotaram muitas revistas científicas. Esclarecia-se então que a descoberta-chave de como gerar uma corrente contínua em grande quantidade, escapou a todos, até que, após as descobertas de Faraday, iniciou-se um grande processo de inovações tecnológicas que revolucionaram e beneficiaram a civilização moderna, com a construção das primeiras usinas hidrelétricas nas últimas décadas do século passado.

Feitas essas considerações, passava-se a relatar algumas das experiências realizadas pelo próprio Faraday, em 1831, que o levaram à descoberta da indução eletromagnética, confrontando-as com as experiências realizadas em sala de aula anteriormente. Isto era feito esclarecendo-se, inicialmente, que o interesse de Faraday pelo eletromagnetismo tinha ocorrido dez anos antes, depois de ser solicitado pelo

editor da revista *Annals of Philosophy* a escrever um resumo das experiências e teorias sobre o eletromagnetismo, publicadas no ano anterior. Tais atividades o levaram a perceber que não podia se limitar ao relato dos trabalhos dos outros, passando então a desenvolver suas próprias experiências em eletromagnetismo, tentando responder se o fenômeno inverso ao de Oersted não poderia ocorrer, isto é, se o magnetismo não poderia produzir correntes elétricas, ou se uma corrente estacionária num fio não poderia gerar corrente num outro fio. Esclarecia-se então que numa investigação cuidadosamente planejada, Faraday mostrou que estas questões deveriam ser respondidas negativamente, mas ao dar continuidade a suas pesquisas e fazer experiências com dois fios enrolados em espiral em volta de um anel de ferro (Figuras 23 e 24), notou, acidentalmente, que aparecia uma corrente numa das bobinas sempre que se ligava ou desligava a chave que permitia passar corrente na outra bobina. Afirmava-se então que Faraday, não satisfeito com apenas esta observação, passou a investigar a possibilidade de produzir o mesmo efeito de outra maneira, mostrando, experimentalmente, logo em seguida, não ser o núcleo de ferro necessário para a produção do fenômeno, tendo observado que, na ausência do núcleo de ferro, a bobina *A* (Figura 23) não era imprescindível para que ocorresse esse efeito, pelo fato de uma corrente também ser induzida neste circuito, se uma barra imantada fosse introduzida na bobina *B*, no momento em que tal barra estivesse sendo inserida ou sendo retirada. Finalizava-se este relato histórico, afirmando-se que, após estas e outras experiências, Faraday percebeu que a palavra chave para explicar este fenômeno era *variação*, e utilizando o conceito de *linhas de força*, sintetizou seus resultados afirmando que a variação das linhas de força

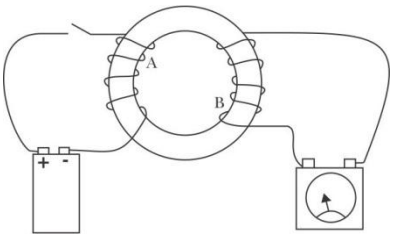


Figura 23 – Representação esquemática da montagem de Faraday.

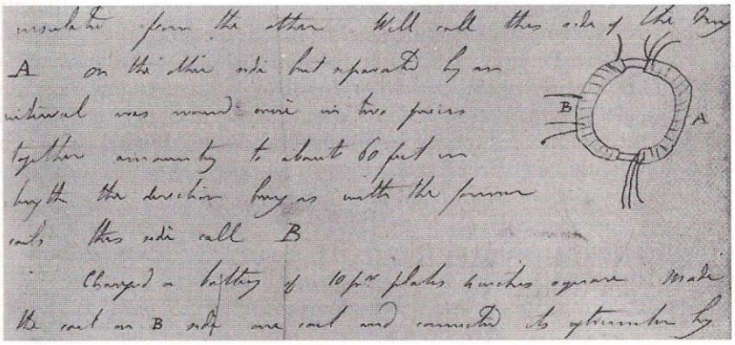


Figura 24 – Parte da página do diário de Faraday onde se encontra anotado o primeiro experimento bem sucedido em indução eletromagnética.

magnéticas pode induzir uma corrente num fio, sendo este enunciado completado após a descoberta do fenômeno da *auto-indução*, em 1834, pelo físico russo H. Lenz, segundo o qual uma corrente variável em uma bobina pode provocar um efeito indutivo nela própria. Tal descoberta foi feita a partir de ações mecânicas entre circuitos, usando o princípio de ação e reação de Newton, quando ficou evidenciado que os efeitos de uma corrente induzida por forças eletromagnéticas sempre se opõem a essas forças (lei de Lenz).

Em conclusão, afirmava-se que, com Lenz, completavam-se as descobertas experimentais básicas do Eletromagnetismo - período de 1820 a 1834 -, sendo que a formulação matemática das mesmas em termos de quatro equações só seria alcançada com os trabalhos de Maxwell, desenvolvidos entre 1855 e 1873, mas que antes de Maxwell, por volta de 1845, o físico alemão F. E. Newmann escreveria a expressão matemática da lei de Faraday, segundo a qual a força eletromotriz induzida em um dado circuito é igual à variação temporal do fluxo magnético que o atravessa: $\varepsilon=-d\phi_B/dt$, cuja forma integral pode ser vista no Apêndice 3 - Texto Complementar 11.

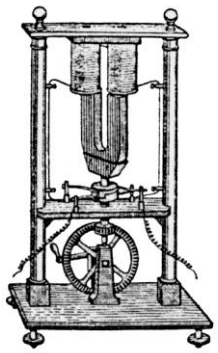


Figura 25 – Gerador eletromagnético construído em 1832.

Após a apresentação da lei de Faraday, eram discutidas as consequências práticas da descoberta do fenômeno da indução eletromagnética, dando-se ênfase à principal que foi a possibilidade de se construir máquinas elétricas geradoras de corrente. Era esclarecido então que vários tipos de geradores mecânicos de eletricidade foram inventados, a exemplo do que é mostrado na Figura 25, construído em 1832, em que os polos de um imã giravam em relação a duas bobinas fixas e daquele em que só a bobina girava em relação aos polos magnéticos de um imã fixo. Mostrava-se então que um dínamo de bicicleta gerava força eletromotriz em razão do movimento de um imã nas proximidades de uma bobina fixa e que os geradores de usinas hidrelétricas geravam *fem* em razão do movimento de eletroímãs nas proximidades de 3 bobinas fixas, posicionadas adequadamente para nelas serem induzidas tensões defasadas de 120º entre si, com valores eficazes de tensões de 127 V.

A essa apresentação das aplicações tecnológicas iniciais, era acrescentada a discussão do funcionamento interno de uma variedade de equipamentos que funcionavam com base nesse fenômeno de indução eletromagnética, como o caso do ventilador, do relógio de luz, do toca disco e outros que também possuem motor de indução. Aproveitava-se a oportunidade para mostrar que o funcionamento dos geradores constituídos por uma bobina girando num campo magnético constante podia ser explicado com base na lei de força de Lorentz.

Encerrada a apresentação da lei de indução eletromagnética de Faraday, passava-se à discussão detalhada do fenômeno descoberto por Maxwell, em que um campo elétrico variável induz um campo magnético não conservativo. A discussão era iniciada (como na maioria dos temas anteriores) com a apresentação de sua parte experimental e, entre os itens experimentais de interesse, serão destacados quatro para ilustração: primeiro, aquele em que era apresentado um protótipo do rádio-galena, com a posterior discussão de seu funcionamento; segundo, o experimento em que se media a frequência de oscilação da tensão elétrica da rede de distribuição de energia; terceiro, aquele em que se media a tensão elétrica induzida pela radiação eletromagnética predominante no local; e quarto, aquele em que se estudava o fenômeno da blindagem eletromagnética. A apresentação de um experimento demonstrativo, análogo àquele realizado por Hertz, foi um projeto que não pôde ser realizado pelo fato de sua construção ainda não ter sido concluída, não impedindo, entretanto, que fossem feitos alguns comentários sobre a produção e captação de ondas eletromagnéticas.

Ao se chegar aos momentos finais do curso, geralmente ocorria que pouquíssimo tempo restava para o desenvolvimento das discussões do funcionamento do rádio-galena e para considerações históricas sobre as descobertas de Maxwell, que o levaram à predição da existência de ondas eletromagnéticas. Apesar do pouco tempo, disponibilizava-se um protótipo de radio-galena, para que cada aluno ouvisse a emissora de rádio que estava sendo captada naquele local com a recomendação de que cada um construísse seu próprio rádio-galena, tomando por base o projeto sugerido pelo livro do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, vol. 3, inspirado num trabalho de Aníbal Figueiredo e Eduardo Terrazan (publicado na *Revista*

de Ensino de Ciências, FUNBEC, n. 17, de março de 19/87). Para ajudar na compreensão do funcionamento do rádio-galena, foram produzidos os textos complementares intitulados “Ondas Eletromagnéticas – Produção e Captação” e “Maxwell e as Ondas Eletromagnéticas”, anexados a esta tese com a indicação de Apêndice 3 - Textos Complementares 12 e 13. É oportuno esclarecer que somente os resumos dos textos eram, normalmente, utilizados em sala de aula, a maioria sendo distribuída para leitura posterior, especialmente os textos produzidos nos semestres mais recentes.

No último semestre em que esta disciplina foi oferecida (2012.1), o coroamento do curso foi alcançado com a realização do experimento demonstrativo da supercondutividade, já referido neste relato, sendo que a escolha do melhor momento para a sua realização ficou como um problema em aberto.

Os cursos eram encerrados normalmente após a realização da segunda avaliação individual (segunda prova). As avaliações foram sempre completadas com um terceiro conceito, formado com base na participação dos alunos em sala de aula.

Quanto à visão dos alunos sobre o desenvolvimento do curso, duas coletas de opinião foram realizadas, formalmente, em oportunidades diferentes, conforme apresentação a seguir.

3.6 A receptividade dos alunos

A influência ou o impacto dos conteúdos da disciplina Física Básica III na formação dos alunos que a cursaram será discutida no Capítulo 5. Neste momento, serão comentadas apenas duas coletas de opinião de alunos, realizadas em dois momentos diferentes do oferecimento desta disciplina: no semestre 2000.1, primeira vez em que foi ministrada, e no semestre 2012.1.

No caso do semestre 2000.1, cada aluno manifestou sua opinião preenchendo um formulário com questões sobre o curso ministrado (Ver modelo no Anexo 2.M), distribuído pela Vice-Coordenadora do Colegiado do Curso de Física, Licenciatura,

noturno, professora Iara Brandão de Oliveira, por ocasião da matrícula para o semestre seguinte. Infelizmente, os formulários respondidos pelos alunos (relativos aos semestre 2000.1) não foram localizados nos arquivos do Colegiado, nem nos arquivos pessoais da professora Iara Brandão, tendo esta, em correspondência eletrônica, informado ter encontrado os formulários relativos a disciplinas oferecidas no semestre 1999.2, que não eram de interesse, neste caso. Como já observado, a falta de registros sobre o desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi um dos elementos que justificou a nosso escolha da metodologia da História Oral, para complementar nossas fontes históricas, como será exposto no Capítulo 5.

A segunda coleta de opinião de alunos foi feita, em 2012, através de outro tipo de formulário, após os alunos responderem a última prova desta disciplina. Dos dez alunos matriculados no semestre 2012.1, três tinham abandonado o curso, de forma que somente sete se manifestaram, por escrito, sobre as questões propostas. As respostas a tais *Questões* são apresentadas ao final deste capítulo.

3.7 O processo de ensino e os resultados de Física Básica III

Inicialmente é importante enfatizar que as atividades desenvolvidas no curso de Física Básica III, na forma descrita neste capítulo, passaram por um processo de contínuo aperfeiçoamento desde a primeira vez em que foi oferecido, no ano 2000. Ao longo do tempo, vários aspectos do curso foram aperfeiçoados, às vezes incluindo um novo tema, outras vezes modificando assuntos apresentados em semestres anteriores, ou mesmo excluindo-os.

Apesar do caráter optativo da disciplina Física Básica III, o relato detalhado do desenvolvimento do curso mostra que esta oferece uma oportunidade privilegiada para a apresentação do eletromagnetismo, utilizando uma abordagem contextual. Pode-se depreender do relato que a maior importância deste tipo de curso não está no estudo da História da Ciência (História da Física) em si ou na realização de experimentos demonstrativos, atividades ou conteúdos que, *separadamente*, poderiam ser supridas

por outras disciplinas especificas, como Evolução da Física e Projetos e Modelos, esta última de caráter experimental. A importância de um curso como este está no fato do mesmo se constituir em um espaço bem definido, onde são ministrados conteúdos importantes utilizando uma abordagem que explora, *simultaneamente*, aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais, um método que, inclusive, pode servir de referência para as atividades profissionais dos futuros licenciados, respeitadas as diferenças entre os níveis superior e médio. Este tipo de curso torna-se ainda mais importante, quando se sabe que os licenciados de amanhã tenderão a ter como referência os modelos de ensino utilizados pelos seus professores de hoje, o que geralmente é reforçado pela utilização dos mesmos livros didáticos. Pode-se também extrair do relato que a falta de qualquer dos elementos que formam a estrutura básica do curso (elementos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais), mutilará sua concepção, levando à fragmentação do conteúdo da disciplina e, consequentemente, ao afastamento de seus objetivos.

É possível notar da narrativa que muitos tópicos apresentados neste curso de preparação de professores, a exemplo de conceito de campo e diferença de potencial, não seriam acessíveis a alunos que não tivessem passado pela vivência da escola média, isto porque, além da linguagem utilizada ser, geralmente, de nível de complexidade não apropriado para um jovem de 16 ou 17 anos, são usadas também noções de cálculo diferencial e integral, mesmo que de forma simplificada. Além disso, em que pese os tópicos de eletricidade serem, geralmente, os mesmos que aqueles presentes nas escolas de nível médio (e também nos cursos universitários de Física Geral e Experimental), o tempo utilizado para a apresentação desses assuntos é de apenas um semestre e não de um ano, como no caso do ensino médio. Um outro elemento importante é o número de alunos em salas de laboratório, que nas condições em que este curso foi apresentado, não poderia ser maior que vinte.

Argumentos que sugerem a impropriedade deste tipo de curso sob a justificativa de que não cabe à Universidade o ensino de Física sem o uso de um formalismo matemático rigoroso, pois é o uso deste formalismo que diferencia a física ensinada/aprendida no nível médio da física ministrada no nível superior, não parece proceder, pois existem outros elementos de diferenciação entre estes dois níveis de

ensino, como se pode depreender do estudo de outras ciências. Os cursos universitários de História e Biologia, por exemplo, aprofundam temas já estudados nas escolas de nível médio, fazendo uso de uma linguagem mais complexa e com maior nível de profundidade, sem fazer uso de símbolos matemáticos. É necessário, portanto, que haja espaço nos cursos universitários de preparação de professores para tratar a ciência como parte de um processo histórico amplo, explorando outros aspectos que não só o puramente formal, de maneira a otimizar o aprendizado do aluno, permitindo que este encontre significado naquilo que está vivendo em sala de aula e que possa levar, criticamente, sua experiência de vida para a sua própria escola.

Uma das virtudes da proposta das Físicas Básicas, na qual está incluída Física Básica III, foi mostrar a falha presente na concepção tradicional dos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, de compartimentalizar os conteúdos de forma rígida, não abrindo espaço para que pelo menos parte dos conteúdos de física possa ser estudada de forma articulada com outros saberes.

É preciso reconhecer, entretanto, que este tipo de enfoque, em que os aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais são tratados simultaneamente, também é acompanhado de dificuldades operacionais e duas destas merecem destaque: a falta de um livro-texto apropriado e o reduzido número de professores interessados em ministrar cursos dessa natureza. Tais dificuldades, entretanto, podem ser superadas com o empenho do colegiado e dos departamentos envolvidos na oferta da disciplina.

Concluindo-se, pode-se afirmar que este tipo de abordagem, que vê a atividade científica como parte de um processo histórico amplo e não só como uma atividade puramente técnica, revela-se muito apropriado para a formação acadêmica dos licenciados, o que é confirmado pelas respostas dos alunos, obtidas através de questionários e apresentadas a seguir (o modelo do questionário pode ser visto no Anexo 2.N). Esta confirmação foi obtida também, como já citado, através da metodologia da História Oral, por meio de entrevistas gravadas, apresentadas no Capítulo 5.

Opinião discente sobre a disciplina Física Básica III – semestre 2012.1

Respostas entregues após a realização da última prova por 7 dos 10 alunos matriculados

Questão 1

Identifique entre os temas estudados dois ou três assuntos que você aprendeu, ou compreendeu melhor, em razão da abordagem utilizada nesse curso de Física Básica III (Eletromagnetismo), em que se procura articular os conceitos teóricos com experimentos demonstrativos (não só qualitativos) e recursos da História da Ciência (História da Física).

Respostas:

Aluno 1 – Eletromagnetismo, supercondutividade e eletricidade.

Aluno 2 – Eletromagnetismo, eletricidade, mas o curso como um todo interessantíssimo.

Aluno 3 – Os experimentos de Gray, a descoberta de Oersted e a indução eletromagnética.

Aluno 4 – O eletromagnetismo de uma forma geral, pois fomos montando os conceitos durante o curso.

Aluno 5 – Como se deu a elaboração da equação de Faraday, como Oersted correlacionou a eletricidade com o magnetismo e a história do desenvolvimento da ciência.

Aluno 6 – Lei de Lenz, força em campo magnético, força de Lorentz, paramagnetismo e diamagnetismo, correntes de Faucoult.

Aluno 7 – Carga elétrica, corrente elétrica.

Comentário das respostas dos alunos

Os alunos citam assuntos que se distribuem por todo o Eletromagnetismo clássico (eletrostática, magnetostática, eletromagnetismo), além do fenômeno da supercondutividade. Citam, explicitamente, as experiências de Stephen Gray, o

conceito de carga elétrica, os efeitos diamagnéticos e paramagnéticos, as descobertas de Oersted, a lei de Faraday e Lenz, a lei de força de Lorentz, as correntes de Foucault e também os aspectos históricos da Física tratados extensamente no curso.

Questão 2

Em que esta abordagem contextualizada, simultaneamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, favoreceu a aprendizagem ou levou a uma melhor compreensão do conteúdo dessa disciplina?

Respostas:

Aluno 1 – Os experimentos, sem dúvida, a apresentação de como os pensadores pensavam e realizavam suas experiências.

Aluno 2 – Da forma como foram abordadas as aulas favorecem muito ao entendimento.

Aluno 3 – Favoreceu no sentido de descobrirmos a dificuldade e o contexto histórico envolvido nas descobertas, na minha opinião favoreceu a aprendizagem.

Aluno 4 – O fato desta priorizar mais o conceitual favorece, pois toda a formulação dos conceitos, desde o início dos primeiros pensamentos, o que acaba nos desenvolvendo mais, é como se nós mesmos tivéssemos formulando os conceitos, as leis, ... com o privilégio de passar por todas as etapas.

Aluno 5 – Favoreceu no sentido de não ter uma ciência como a Física, explicada de modo tão aleatório. A Física Básica III permite que o aluno entenda o que aprende e não só observe fórmulas, com significado vago.

Aluno 6 – A história sempre nos remete à época do fato, pude perceber as dificuldades dos cientistas da época. Hoje tudo é fácil, mas a dedicação dos personagens nos faz perceber que o esforço era muito grande.

Aluno 7 – Favoreceu uma melhor compreensão dos fenômenos elétricos e eletromagnéticos, se tratando da importância de ambos e como se desenvolveram.

Comentário

Para os alunos, a abordagem contextual favoreceu o aprendizado ao priorizar mais os aspectos conceituais, permitindo-lhes entender os conceitos e não só observar fórmulas, perceber como os cientistas pensavam e realizavam suas experiências e ainda perceber as dificuldades presentes nas descobertas realizadas pelos cientistas, aproximando-os do modo como o conceito foi formulado.

Questão 3

Em razão da sua experiência como aluno de Física Básica III, você acha que, no caso do currículo do curso de Licenciatura em Física, esta disciplina deve ser obrigatória, optativa ou excluída? Por que?

Respostas:

Todos os alunos responderam que deve ser obrigatória.

Aluno 1 – Por tratar de mostrar a origem das ideias, as influências que levaram a física [a] chegar no que é hoje.

Aluno 2 – (não justificou)

Aluno 3 – Por que a abordagem histórica e conceitual favorece a aprendizagem do conteúdo.

Aluno 4 – Pois trata-se de uma parte do curso de Física pouco priorizada, que é a conceitual histórica, o que nos ajuda, sem dúvida, a compreender os próprios conceitos atuais.

Aluno 5 – A interpretação fenomenológica que o curso de Física Básica III [dar] é imprescindível para que o aluno do curso de Física possa ter uma melhor compreensão dos fenômenos por ele estudado. Tanto no quesito do fenômeno por ele estudado, quanto no maior domínio do aluno sobre a ciência por ele estudada.

Aluno 6 – É no início do curso antes das Físicas Gerais experimentais.

Aluno 7 – Enriquece didaticamente o licenciando em Física. Amadurecendo os conteúdos em eletricidade e magnetismo.

Comentário

Todos os alunos responderam que a disciplina deve ser obrigatória por considerar que os aspectos históricos, fenomenológicos e conceituais são, em geral, pouco priorizados no curso de Licenciatura. Acreditam que esta disciplina enriquece didaticamente a formação do licenciado em Física e lhe dar maior domínio sobre ciência.

Questão 4

Em razão da sua experiência como aluno de Física Básica III, você acha que, no caso do currículo do curso de Bacharelado em Física, esta disciplina deveria ser incluída como obrigatória, deveria ser incluída como optativa ou não deveria ser incluída? Por que?

Respostas:

Seis dos sete alunos responderam que deve ser obrigatória.

Aluno 1 – Por tratar de uma matéria [que] gera uma compreensão do contexto histórico e mostra os experimentos feitos pelos grandes físicos.

Aluno 2 – Devido a grande importância para o curso de física geral e experimental, ela acrescenta muito para um êxito maior nesta disciplina.

Aluno 3 – Mesmo motivo do item 3.

Aluno 4 – Idem ao item acima.

Aluno 5 – Porque ao bacharel compete a ele, além do fenômeno por ele estudado, entender como o processo ocorre, a fim de uma maior familiarização com o campo de pesquisa.

Aluno 6 – Ela conceitua os eventos físicos facilitando o entendimento.

Aluno 7 – Pela mesma razão respondida na questão anterior.

Comentário

Com exceção do Aluno 2, que considera que a disciplina deve ser optativa para o Bacharelado (aparentemente por um lapso, em razão da justificativa), todos responderam que deve ser obrigatória, pelos mesmos motivos do item anterior, acrescentando-se que compete ao bacharel não só estudar o fenômeno em si, mas também o processo que levou ao seu entendimento.

Questão 5

Expresse livremente sua opinião sobre o curso de Física Básica III, ministrado neste primeiro semestre de 2012.

Respostas:

Aluno 1 – Ótimo curso com abordagem histórica e contemporânea, facilitando o entendimento dos assuntos.

Aluno 2 – Um curso importante necessário historicamente conceitual onde devido ao curso e todo aprendizado não vou trocar de curso pois a física III foi essencial para esta decisão um curso perfeito.

Aluno 3 – Um bom curso que nos mostra as origens das ideias do eletromagnetismo, através de experimentos nos leva a pensar nestas ideias e explicita que para chegar a conceitos que hoje nos parece triviais, houve uma longa caminhada que na maioria das vezes é bastante trabalhosa.

Aluno 4 – Um excelente curso, nos faz compreender como começaram os conceitos, desenvolvendo-os correspondentes a cada época. Outra parte muito boa do curso são os experimentos apresentados, o qual trabalhamos para compreender o fenômeno e não só fazer relatório como é nas disciplinas geral e experimental. Porém, isto tudo também se deve a bons professores para ministrar o curso, como foi o caso deste semestre.

Aluno 5 – O curso de Física Básica III é um curso altamente importante para que o aluno de Física possa concluir seu entendimento de ciência com a sua história o seu desenvolvimento dando-lhe uma formação de maior propriedade.

> Aluno 6 – Não só o curso em questão, mas todo curso requer maior atenção do aluno, que é conseguida com a programação e envolvimento do professor/aluno.
>
> Aluno 7 – Foi um bom curso, bastante didático e contextualizado. Na minha opinião tem Nota 10, principalmente na forma como é abordado o curso.

Comentário das respostas dos alunos

Os alunos aprovaram unanimemente o curso por várias razões, entre elas: por relacionar a ciência com a sua história, pela importância dada à compreensão dos conceitos, pela realização de experimentos e por ser didático e contextualizado.

TABELA 8 – Desempenho dos alunos matriculados em Física Básica III nos últimos 12 anos

FÍSICA BÁSICA III: Desempenho dos alunos matriculados nos últimos 12 anos								
Semestre	**Matriculados**	**Aprovados por média**	**Aprovados com prova final**	**Reprovados por conceito**	**Reprovados por média**	**Reprovados disc s/nota**	**Reprovados por falta**	**Trancamentos**
2000.1 *	24	12	5	–	–	–	5	2
2001.1 •	25	14	–	–	–	–	10	
2002.1 **	25	9	8	–	1	–	7	1
2003.1 **	24	11	5	–	–	–	4	4
2004.1 **	23	6	4	–	1	–	4	8
2005.1	Foi registrado como 2005.2							
2005.2***	27	7	12	1	2	–	3	2
2006.1 ••	26	6	7	2	2	–	7	2
2007.1 **	27	7	5	7	5	–	3	
2008.1****	21	9	4	–	–	–	6	2
2009.1***	18	3	7	2	–	–	6	–
2010.1***	15	5	4	–	–	2	4	–
Subtotal	**255**	**89**	**61**	**12**	**11**	**2**	**59**	**21**

A partir de 2011 deixou de existir a prova final

Semestre	**Matriculados**	**Aprovados**	**Reprovados**	**Reprovados disc s/nota**	**Reprovados por falta**	**Trancamentos**
2011.1***	20	13	–	1	5	1
2012.1***	10	7	–		3	
Subtotal	**30**	**20**	**–**	**1**	**8**	**1**

TOTAL GERAL

	Matriculados	**Aprovados**	**Reprovados**	**Reprovados disc s/nota**	**Reprovados por falta**	**Trancamentos**
Total geral	**285**	**170**	**23**	**3**	**67**	**22**

Disciplina ministrada pelo(s) Prof(s):

* Yukimi Pregnolato e J. F. M. Rocha (Nos arquivos há o registro apenas do nome de Yukimi Pregnolato)

• Yukimi Pregnolato e Fernando Santana

** J. F. M. Rocha e Geovaldo P. do Nascimento

*** J. F. M. Rocha

**** J. F. M. Rocha e André C. Lima

•• Raimundo M. Teixeira Filho

Fonte: Instituto de Física, Colegiado de Graduação em Física, Cadernetas de Física Básica III de 2000 a 2012.

CAPÍTULO 4

FÍSICA BÁSICA IV – A HISTÓRIA DE UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO (2000-2011)

Neste capítulo, conforme referência anterior, será narrada a história da experiência de ensino com a disciplina Física Básica IV. Esta é uma das quatro disciplinas que compõem o projeto das Físicas Básicas, incorporado à estrutura curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno, como uma das suas inovações importantes.

Como no capítulo anterior, a exposição será dividida em quatro partes. Primeiro, serão abordados os objetivos e natureza desta disciplina. Após serão descritas como foram enfrentadas as principais dificuldades associadas à oferta desta disciplina, ao longo dos anos, de 2000, segundo semestre, a 2011. Em seguida será relatada a forma como foi apresentado o conteúdo programático e, finalmente, a repercussão de sua apresentação em sala de aula, segundo o ponto de vista dos alunos.

FIS142

FÍSICA BÁSICA IV

LOTAÇÀO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO

CARGA HORÁRIA: (30,30,00) NATUREZA: Complementar Optativa

CREDITAÇÀO: (02,01,00) PRÉ-REQUISITO: Sem pré-requisito

EMENTA: Estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas no ramo da Óptica e o processo de formação da Física Moderna, a nível introdutório, sem ênfase no Cálculo Diferencial e Integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive, recursos de simulação computacional, História da Ciência e experimentos de laboratório envolvendo medidas de grandezas físicas, além de experiências demonstrativas. Discutem-se artigos simples publicados em revistas científicas, relativos aos conteúdos citados. Apresentam-se aplicações tecnológicas da Óptica e da Física Moderna.

QUADRO 5 – Ementa da disciplina Física Básica IV.

Fonte: IFUFBA, Colegiado de Graduação em Física, 1998.

4.1 Objetivos da disciplina Física Básica IV

O objetivo da Física Básica IV era apresentar um curso introdutório de Óptica e Física Moderna para alunos da Licenciatura, turno noturno, através de uma abordagem, simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, procurando contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula. O intuito era desenvolver esforços para recuperar o contexto em que foi produzido o conteúdo científico e estabelecer relações entre estes conteúdos e situações vivenciadas pelo aluno, contribuindo assim para uma compreensão mais significativa dos assuntos discutidos em sala de aula, afastando-se, consequentemente, de um ensino baseado somente em fórmulas e equações**.**

4.2 A natureza da disciplina

Na estrutura curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno, a disciplina Física Básica IV é de natureza optativa. Os motivos pelos quais Física Básica IV foi incluída na estrutura curricular como optativa são os mesmo já apresentados no tópico 3.2, Capítulo 3, referente a Física Básica III. Convém apenas insistir que, pelos argumentos relacionados no tópico citado, o êxito ou eventual insucesso do projeto das Físicas Básicas não dependia significativamente do fato de Física Básica IV ser incluída no currículo da Licenciatura, noturno, como disciplina optativa ou obrigatória. Conforme pode ser observado na Tabela 9, ao final deste capítulo, da mesma forma que Física Básica III, esta disciplina (de 4.º semestre) foi sempre muito concorrida para os padrões de disciplinas optativas, oferecidas aos alunos de um único curso, pois a média de alunos matriculados, ao longo de 12 anos, foi de aproximadamente 15 alunos por ano (182 alunos divididos por 12 semestres; ver Tabela 9, ao final deste capítulo), uma média que é praticamente igual à de alunos concluintes no período equivalente, que foi

também de aproximadamente 15 alunos concluintes por ano (144 alunos dividido por 9 anos ou semestres, onde foram incluídos os 6 alunos diplomados antecipadamente, em 2001 e 2002; ver Tabela 6, no final do Capítulo 2). Na tabela 9, nota-se também que o número total de alunos aprovados foi de 127, um número próximo do total de alunos diplomados pelo Curso de Física, Licenciatura, noturno, no período equivalente, que foi de 144, conforme citado anteriormente. Vale registrar que nem todos os alunos que foram aprovados em Física Básica IV concluíram o Curso de Física, Licenciatura, noturno, mas, tomando como exemplo os anos 2007 e 2008, escolhidos aleatoriamente, pode-se verificar que, em 2007, dos 12 alunos concluintes, 9 cursaram Física Básica IV (75%) e apenas três não a cursaram. No ano de 2008, dos 17 alunos concluintes, 8 cursaram Física Básica IV (47%) e apenas um não foi aprovado (SUPERINTENDÊNCIA, 2012.a; 2012.b).

4.3 As dificuldades de implantação

A implantação da disciplina Física Básica IV, uma introdução à Óptica e Física Moderna, ocorreu no segundo semestre do ano 2000, atendendo ao planejamento acadêmico do Departamento de Física do Estado Sólido.

As experiências acumuladas com o oferecimento das Físicas Básicas I, II e III pareciam indicar que, de fato, uma abordagem contextualizada, apoiada por experimentos demonstrativos (não só qualitativos), era a que melhor justificava a proposta de criação dessas disciplinas. Diante deste quadro, parecia lógico que o professor designado para ministrar esta disciplina optasse por uma abordagem contextual. Na verdade, dois professores dividiram a responsabilidade de ministrar o curso de Física Básica IV, no semestre de 2000.2, tendo um deles ficado responsável pela parte de Óptica e o outro pela parte de Física Moderna, mas ambos concordando com a abordagem a ser adotada.

Apesar de Física Básica IV tratar simultaneamente de conteúdos diversos, Óptica e Física Moderna, não houve descontinuidade ou fragmentação dos conteúdos

estudados, em razão das raízes históricas da Física Moderna que, como se sabe, tem no Eletromagnetismo e na Óptica dois de seus pilares, e também em razão da escolha da sequência dos tópicos abordados. Na primeira parte do curso, Óptica, foram estudados os fenômenos básicos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização, com experimentos de laboratório ocupando metade da carga horária do curso. Na segunda parte, Física Moderna, optou-se por utilizar o material produzido pela professora Ileana Maria Rosa Greca, usado em um curso por ela ministrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, destinado a alunos de Física Geral, como parte dos requisitos para a obtenção do título de doutora em ciências. ([47]) Vale esclarecer que, por razões de limitação de tempo, a parte de espelhos e lentes não foi incluída nesta programação para que fosse possível a inclusão de um número maior de tópicos de Física Moderna.

Na preparação do curso de Física Básica IV, a identificação prévia dos eventuais problemas a serem enfrentados na oferta desta disciplina permitiu aos professores da mesma minimizar, mas não solucionar, os vários problemas já enfrentados em Física Básica I e II. Estas dificuldades foram análogas às de Física Básica III, relacionadas no tópico 3.3, desta tese, e será repetida aqui apenas para facilitar a leitura: 1) o problema da escolha do livro-texto; 2) a seleção de assuntos que pudessem ser tratados sem sofisticação matemática, mas com linguagem ou enfoque de 3º grau; 3) a identificação de experimentos de laboratório que pudessem ser apresentados simultaneamente à parte teórica da disciplina e que fossem diferentes daqueles já oferecidos nas Físicas Gerais e Experimentais, considerando-se os equipamentos disponíveis; 4) a preparação de textos/notas de aula que servissem de referência para os alunos; 5) a preparação de listas de exercícios conceituais, apropriada para aquele tipo de curso; e 6) a inexistência de uma sala de laboratório específica para a disciplina, com equipamentos adequados para experimentos demonstrativos (não só qualitativos).

No que diz respeito ao item 1, problema da escolha do livro-texto, a origem desta dificuldade estava principalmente no fato de que o propósito dos docentes designados para ministrar a disciplina era estruturar o curso em bases históricas, incluindo, extensivamente, o conteúdo de História da Ciência (História da Física). Da mesma

[47] Greca, Ileana M. R. *"Construindo significados em Mecânica Quântica: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral"*, Tese de Doutorado, 2000.

forma que em Física Básica III, esta opção exigiria um bom livro de texto ou a preparação prévia de textos/notas de aula para orientar as discussões em sala de aula, tendo em vista que, sem este material, o curso poderia adquirir um formato puramente fenomenológico. Para a primeira parte do curso, que tratava da Óptica, esta dificuldade foi contornada, em parte, recomendando-se o livro *Projecto Física* – Luz e Eletromagnetismo, Unidade 4 (Capítulo 13), do *Harvard Project Physics*, mesmo sem a coleção dos textos adicionais, a denominada "Coletânea de Textos". Esta recomendação apresentou-se como solução parcial, considerando o público ao qual se destinava. Para contornar esta dificuldade, a alternativa imediata, foi recomendar também o livro *Física Térmica e Óptica*, do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física - GREF, volume 2 ("textos para professores") ([48]) Nele, entretanto, não havia referência alguma ao desenvolvimento histórico das ideias da Óptica e Física Moderna, não se constituindo, portanto, na solução definitiva do problema. Outras possibilidades, como as do livro intitulado *Física*, de Jay Orear (volume único), e do livro *Física*, de Paul Tipler, vol. *2b* ([49]), também não se constituíam soluções adequadas e, desta forma, a questão da escolha do livro-texto, para esta parte do curso, Óptica, não foi satisfatoriamente resolvida. No que se refere à segunda parte do curso, elementos de Física Moderna, utilizou-se o texto produzido pela professora Ileana Greca, citado anteriormente, mas alguns alunos não se adaptaram plenamente àquela proposta de curso. Sendo assim, o problema do livro-texto não foi satisfatoriamente resolvido nem para a parte de Óptica nem para a de Física Moderna, reforçando a necessidade de produção de textos específicos para as Físicas Básicas da Licenciatura, noturno, pelo menos para Física Básica III e Física Básica IV.

Quanto ao item 2, seleção de assuntos que pudessem ser tratados em Física Básica IV sem sofisticação matemática, mas com linguagem ou enfoque de 3º grau, pode-se afirmar que as dificuldades foram semelhantes àquelas encontradas em Física Básica III. Da mesma forma, a dificuldade não era a de selecionar uma sequência de tópicos a serem abordados, mas tópicos que pudessem ser suportados por

[48] Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, *Física 2 – Física Térmica e Óptica*, São Paulo, Edusp, 1993.
[49] Tipler, P., *Física*, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S. A., 1984, 2.ª edição, vol 2b, 1984; e Orear, J, *Física*, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1971, citado no Capítulo 3.

experimentos demonstrativos de importância histórica e conceitual e para os quais houvesse equipamentos disponíveis. Esta dificuldade ocorreu também no item 3, ao se tentar identificar experimentos demonstrativos diferentes daqueles oferecidos nas Físicas Gerais e Experimentais I, II, III e IV, tendo em conta os equipamentos disponíveis. A carência de equipamentos adequados para a disciplina Física Básica IV mostrou-se assim um problema recorrente. Ao longo do tempo, entretanto, algum progresso foi conseguido e, para a parte do curso referente à Óptica, alguns itens experimentais simples foram sendo improvisados (com custo insignificante) e alguns equipamentos foram sendo agregados, como os novos interferômetros de Michelson, os novos lasers e uma peça de acrílico, em forma de semicírculo, para o estudo da refração. No que se refere à parte de Física Moderna, com o transcorrer do tempo, alguns equipamentos para o experimento do efeito fotoelétrico, localizados no laboratório de Estrutura da Matéria, passaram a ser utilizados, mesmo com alguns deles já danificados. Ainda com relação ao item 3, pode-se dizer que os experimentos propostos pelo *Projecto Física* (do *Harvard Project Physics*) assim como aqueles propostos pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física não eram em número suficiente ou adequados para cobrir toda a parte experimental de Física Básica IV, considerando a forma como esta foi pensada.

No que se refere ao item 4, preparação de textos ou notas de aula que, na ausência de um livro-texto, servissem de referência para os alunos, pode-se afirmar que, assim como em Física Básica III, esta foi a parte mais difícil de ser equacionada. Naquele momento, a opção foi recomendar a leitura de livros diversos, tais como: o *Projecto Física*, unidade 4 (Cap. 13), o livro *Física*, de Paul Tipler (2.ª edição, volume *2b*) e o livro *Eletromagnetismo*, produzido pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF (volume 3, “textos para professor”), não excluindo outras possibilidades.

Sobre a preparação de lista de exercícios conceituais, adequada para aquele tipo de curso (item 5), é necessário mais uma vez separar a parte de Óptica da parte de Física Moderna. Na parte de Óptica, a alternativa foi usar exercícios do próprio *Projecto Física* (que se mostraram muito simples) e de outros livros, além da elaboração de algumas questões conceituais relacionadas aos temas discutidos em sala de aula. No

que se refere à parte de Física Moderna, o próprio material produzido pela professora Ileana Greca já continha os exercícios.

Finalmente, sobre a inexistência de salas de laboratório específicas para esta disciplina, com equipamentos adequados para aulas demonstrativas (não só qualitativos), pode-se dizer que, no caso de Óptica, este problema foi contornado com a utilização das salas destinadas ao laboratório de Física Geral e Experimental IV. Este foi, portanto, o relato da experiência de implantação da disciplina Física Básica IV, no semestre 2000.2. É importante registrar que nos semestres que se seguiram houve algum progresso nas condições de ensino, tanto no que se refere ao processo pedagógico quanto aos recursos didáticos.

4.4 A produção de material didático

A disciplina Física Básica IV foi ministrada por apenas dois docentes ao longo dos últimos 12 anos, Olival Freire Júnior e José Fernando M. Rocha, e por apenas um docente nos últimos 10 anos, José Fernando M. Rocha (ver Tabela 9, ao final do capítulo), sendo oferecida uma vez por ano. O docente responsável por esta disciplina, nos 10 semestres que a ministrou sozinho, optou por uma abordagem histórico-contextual, articulada com experimentos demonstrativos, de modo que o perfil da mesma pouco variou ao longo desse período. O problema da carência de textos de natureza histórico-conceitual apropriados para esta disciplina (que se relacionassem diretamente com a parte experimental apresentada em sala de aula) foi, como já referido, uma dificuldade enfrentada desde o primeiro semestre em que esta foi oferecida. Aos poucos, entretanto, algum material foi sendo produzido e, de alguma forma, utilizado em sala de aula. Como em Física Básica III, pode-se identificar dois tipos de material didático: textos, classificados de *complementares*, e publicações selecionadas, isto é, artigos e capítulos de livro. Os textos complementares constituem o Apêndice 4, e serão objeto de abordagem posterior. Quanto às publicações, interessam as que tratam de assuntos de Óptica e/ou Física Moderna. Pode-se

destacar, inicialmente, o livro *Origens e Evolução das Idéias da Física*, publicado em 2002 (ROCHA *et al*, 2002), citado no capítulo anterior, considerado uma referência importante também para a disciplina Física Básica IV, ainda que não produzido inicialmente com esta finalidade. Deste livro, três capítulos foram recomendados aos alunos. Um deles foi o capítulo III, intitulado *Origem e Evolução do Eletromagnetismo*, especialmente, na parte que tratava dos aspectos histórico-conceituais da Óptica, que, como se sabe, foi incorporada à Teoria Eletromagnética clássica, no século XIX, através dos trabalhos de Maxwell e outros. Além do capítulo III, foram recomendados também os capítulos IV (*Novo tempo, novo espaço, novo espaço-tempo: Breve história da Relatividade*) e V (*Os Quanta e a Física Moderna*), de autoria de O. Freire Júnior e A. Ribeiro Filho, respectivamente.

Além das publicações referidas, pode-se citar mais dois trabalhos, publicados no ano de 1999, na revista *Ideação*, que se relacionam com a Física Moderna e que já foram lembrados no Capítulo 3 desta tese por estarem também relacionados ao eletromagnetismo. Um deles, com o título *Aspectos históricos-conceituais da Física no ensino pré-universitário – o caso do eletromagnetismo e da Mecânica Quântica*, foi publicado em parceria com um professor do Instituto de Física (ROCHA; RIBEIRO FILHO, 1999) e o outro, intitulado *Revelando o caráter determinístico da Mecânica Quântica – Uma ponte para o ensino de física moderna no segundo grau*, é de autoria de R. A. Carvalho Neto, O. Freire Jr. e J. F. M. Rocha, (CARVALHO NETO *et al,* 1999). Mais recentemente, um outro artigo, também relacionado à disciplina Física Básica IV e à Física Moderna, de nossa autoria, intitulado *O conceito de ´dualidade onda-partícula` em sala de aula*, foi produzido e está em processo de submissão para publicação. Este artigo (vide **Artigo 2**, anexo à presente tese) é um relato detalhado da experiência de implantação e desenvolvimento da disciplina Física Básica IV, uma das quatro disciplinas que compõem o projeto das Física Básicas do Curso de Física, Licenciatura, noturno. No seu resumo pode-se ler (ROCHA, 2012):

> A descoberta do conceito de *dualidade onda-partícula*, no início do século XX, foi de grande importância para o desenvolvimento da física contemporânea. Nosso objetivo neste trabalho é mostrar como este conceito foi usado para estruturar um curso *introdutório* de óptica e elementos de física moderna, através da disciplina Física Básica IV, destinado especificamente a alunos de Licenciatura em Física, ao longo

> de um semestre letivo, com quatro horas de aulas semanais. Tal curso, oferecido paralelamente ao curso tradicional de Física Geral e Experimental IV (destinado aos alunos da área de ciências exatas), tem sido ministrado dentro de uma abordagem, simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual e é largamente suportado por dezenas de experimentos simples (não só qualitativos), diretamente relacionados com o nosso cotidiano ou possíveis de serem relacionados com o nosso cotidiano e que, em cada aula, servem de motivação para a subsequente e imediata discussão teórica de conceitos da física clássica ou quântica, a elas relacionados, inclusive nos seus aspectos matemáticos mais simples. Estes experimentos e discussões, na sua maioria, desde o início do curso, são orientados para o confronto dos modelos de onda e partícula de luz.

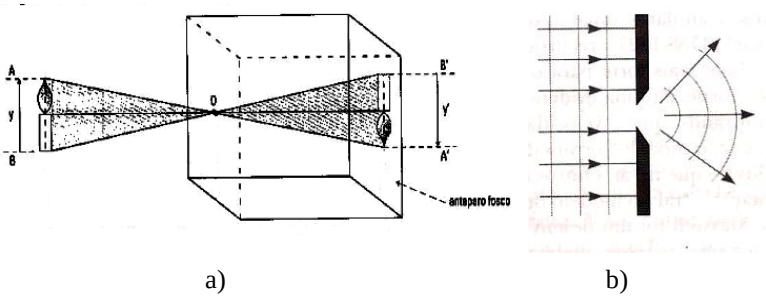
Após esses comentários sobre o material didático relacionado ao conteúdo da disciplina Física Básica IV, será narrada, em detalhes, nossa experiência de vários semestres ministrando esta disciplina.

4.5 A abordagem do conteúdo

Da mesma forma que em Física Básica III, para elaborar o “plano de curso” da disciplina Física Básica IV, cujo conteúdo envolvia elementos de Óptica e Física Moderna, partiu-se do pressuposto de que as conceituações e proposições mais gerais devem ser apresentadas no início de qualquer processo de instrução. Com base neste pressuposto, a orientação do curso foi dirigida para o problema da natureza da luz, um problema sempre presente e debatido pelos filósofos e cientistas, ao longo de séculos. A escolha desse tema geral visava provocar o interesse dos alunos para o estudo dos fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração, polarização, entre outros, o que era feito sempre com base nos modelos corpuscular e ondulatório da luz.

Com o propósito de adotar uma abordagem histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, a apresentação do problema da natureza ou constituição da luz era feita através de um procedimento que poderia ser considerado inovador. Para iniciar, eram realizados dois sugestivos experimentos com luz (Figura 26), que, eventualmente, exigiriam explicações aparentemente contraditórias. De um lado, o experimento da

câmara escura de orifício, em que a imagem de uma vela aparecia invertida e, de outro, um experimento de difração, em que um padrão de difração (interferência) era formado num anteparo, após um feixe de luz laser incidir num orifício circular ou numa fenda estreita retangular.



a) b)

Figura 26 - Representação esquemática a) do experimento da câmara escura e b) do experimento de difração por uma fenda.

Ao esclarecer e comparar as explicações teóricas do que era observado nesses experimentos, geralmente, os alunos se defrontavam com um aparente paradoxo: se para explicar a imagem invertida da chama de uma vela na câmara escura, eles usavam o "princípio de propagação retilínea" ([50]), o mesmo não faziam para explicar as franjas claras e escuras que apareciam no anteparo, no caso do experimento com a luz de um laser. Essas sutilezas do comportamento da luz, explicadas classicamente por Augustin Fresnel, nas primeiras décadas do século XIX, serviam de motivação para se introduzir o problema da natureza da luz.

Após as discussões desses dois experimentos ficava evidente que a óptica geométrica (que é, essencialmente, um *modelo* de partícula) é um conjunto de fenômenos ópticos em situações nas quais os efeitos de interferência e de difração são desprezíveis, isto é, em situações em que o aspecto de onda da radiação luminosa não é relevante. Em tais situações, o chamado comprimento de onda (λ) da luz, é muito menor que as dimensões típicas (d) envolvidas na propagação da onda (dimensões de obstáculos e orifícios).

A discussão precedente era então ampliada, cogitando-se sobre o que ocorreria em cada uma dessas experiências na hipótese da intensidade do feixe de luz ser suficientemente fraca a ponto de chegar ao anteparo uma partícula de luz de cada vez

[50] Este é um dos princípios básicos da óptica geométrica. Do ponto de vista ondulatório, a óptica geométrica é uma aproximação válida para situações em que os comprimentos de onda são muito pequenos em comparação com as dimensões típicas envolvidas (no caso, o diâmetro, a, do orifício e o comprimento de onda, λ), ou seja**,** é aplicada a um conjunto de fenômenos ópticos em situações nas quais os efeitos de difração e interferência são desprezíveis.

(regime chamado quântico). Apresentado dessa forma, o problema da natureza da luz ficava claramente estabelecido e o aprofundamento da discussão transferido para um outro momento do curso. Estes experimentos e discussões eram importantes, porque, mais adiante, mostrava-se que a mecânica clássica podia ser considerada também um caso especial da mecânica ondulatória de Schrödinger, isto é, que a mecânica clássica descreve situações em que o chamado comprimento de onda de L. de Broglie, é muito menor que as dimensões típicas envolvidas na propagação da onda de matéria.

Na sequência imediata, abordava-se o problema da natureza da luz de um outro ponto de vista, puramente teórico, e com base em ideias da Física Moderna. Apresentava-se assim o postulado de Planck, $E=hf$, no seu conteúdo mais simples, mostrando-se que este postulado, se tratado do ponto de vista clássico, contém internamente um “absurdo”, desde quando, do lado esquerdo desta equação, E refere-se à energia de uma partícula que, supostamente, é algo de pequena extensão, enquanto, do lado direito da equação, f refere-se à frequência de uma onda que, supostamente, ocupa uma larga extensão do espaço! O problema naturalmente era o de como superar este conflito. Mostrava-se então que o caminho seguido foi o de abandonar, a contragosto, a ideia do *determinismo* clássico, substituindo-o pela ideia de determinismo estatístico, de forma que o conceito de *probabilidade* passou a desempenhar um papel essencial na Física moderna, como elemento unificador das teorias ondulatória e corpuscular.

Estas considerações iniciais fixavam as ideias básicas do curso. Nas aulas seguintes, conforme já citado, eram abordados, em detalhes, dentro de um enfoque histórico-fenomenológico-matemático-conceitual, sempre do ponto de vista do modelo de partícula e de onda, os principais fenômenos da óptica clássica (reflexão, refração, difração, interferência e polarização), sem a compreensão dos quais, inclusive nos seus aspectos matemáticos mais simples, torna-se difícil apreciar as sutilezas do comportamento da luz e da matéria. O estudo desses fenômenos era precedido, entretanto, de uma revisão histórica da descoberta de Roemer de que a luz viaja com velocidade finita e, para dar suporte a esta discussão, foi produzido o Texto Complementar 1, apresentado no Apêndice 4. É oportuno ressaltar que, ao longo do curso, as discussões realizadas em sala de aula eram sempre precedidas da realização

de experimentos demonstrativos (para garantir o aspecto fenomenológico do curso), muitos dos quais acompanhados de medidas de grandezas físicas a serem usadas nas discussões teóricas que as seguiam.

4.5.1 Os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização

Na sequência, a reflexão da luz era o primeiro fenômeno a ser estudado. De um conjunto de cerca de dez itens experimentais de interesse, serão citados três para ilustração. Primeiro, o experimento em que duas velas iguais (uma acesa e outra não), eram fixadas dentro de dois copos de vidro vazios iguais (depois o copo com a vela sem chama era completamente preenchido com água, deixando a vela submersa), e estes eram colocados em lados opostos e distâncias iguais de um espelho semitransparente de forma que, se observado de uma posição adequada, o pavio da vela do copo cheio de água parecia ter uma chama submersa na água (Figura 27). Segundo, o experimento em que se comparava o fenômeno da reflexão da radiação visível com a de um feixe de micro-ondas incidindo em uma superfície semelhante a de uma caçarola de alumínio. Terceiro, o experimento em que se estudava as imagens formadas por combinações de espelhos e em que se observava, em um dos espelhos, a imagem da mão direita de um dos alunos. Essa última observação geralmente induzia à pergunta: se o espelho inverte a esquerda e a direita, por que também não inverteria em cima e embaixo? Tais experimentos e outros não relacionados aqui, eram acompanhados de discussões teóricas, baseadas na lei da reflexão da luz, deduzida a partir dos modelos corpuscular e ondulatório, e estas discussões eram precedidas de uma breve revisão histórica sobre o assunto. A lei da reflexão, como se sabe, já era conhecida por Euclides de Alexandria no século III a.C. e foi completada, no século XI, pelo físico e



Figura 27 – Experimento com duas velas em dois copos, com o da esquerda cheio de água.

matemático iraquiano Al-Hazen, ao enfatizar que o raio incidente, o raio refletido e a normal estão no mesmo plano.

É necessário salientar que a dedução teórica da lei da reflexão da luz, a partir do modelo de partícula, não era tão simples quanto poderia parecer, pois, se considerarmos a hipótese de que as partículas de luz são semelhantes a pequenas esferas de matéria, um feixe dessas partículas, incidindo numa superfície como a do vidro, não seria refletido unidirecionalmente e se dispersaria em todas as direções. Newton já considerava este tipo de dificuldade e acreditava que deveria existir algum "poder do corpo" ou alguma propriedade do corpo distribuída uniformemente pela superfície, a qual atuaria sobre o raio sem contato direto, para que houvesse a reflexão regular. Para Newton (1996, p. 201):

"A reflexão de um raio é efetuada não por um ponto único do corpo refletor, mas por algum poder do corpo que está espalhado uniformemente por toda sua superfície e pela qual ele age sobre o raio sem contato imediato. Pois que as partes dos corpos agem sobre a luz a distância será mostrado daqui por diante".

O modelo mais simples para representar este "poder do corpo" era o de uma força perpendicular à superfície. À medida que a partícula se aproximasse de um outro meio, poderia sofrer reflexão pela ação de uma força repulsiva. Para haver a refração, primeiro a partícula teria de vencer a força repulsiva e, se conseguisse, encontraria uma força atrativa, com a velocidade aumentando no meio mais denso (geralmente mais refringente). Feitos estes comentários, considerava-se então, por interesse pedagógico, a hipótese da luz como partícula, com cada partícula tendo uma quantidade de movimento, $\boldsymbol{p}_i$, e sobre a qual, em algum instante, atuava uma força exercida perpendicularmente pela superfície. Neste modelo simples, supunha-se que o raio incidente fazia um ângulo θ com a normal, e, com base na lei da conservação do momento (da componente paralela à superfície), encontrava-se a lei da reflexão da luz. Por outro lado, na dedução da lei da reflexão, a partir do modelo ondulatório, procedia-se de forma análoga ao que Huygens fez em seu livro "Tratado sobre a Luz". Para enriquecer as discussões histórico-conceituais sobre o fenômeno da reflexão, dois

textos foram produzidos. Um deles, intitulado “A propagação retilínea da luz segundo os modelos de partícula e de onda”, e o outro “A Reflexão da luz”, que se encontram no Apêndice 4, com as indicações Texto Complementar 2 e Texto Complementar 3, respectivamente.

No caso do fenômeno de refração o procedimento foi análogo. Dos oito itens experimentais de interesse, serão apresentados três para ilustração: primeiro, o experimento padrão em que se fazia incidir um feixe de luz laser sobre o lado reto de um bloco semicilíndrico de acrílico, ou vidro, colocado sobre uma escala angular para determinar os vários ângulos de incidência e de refração. Segundo, aquele em que se usava um feixe de luz laser para se determinar o índice de refração de uma placa de vidro, a partir da medida do deslocamento lateral desse feixe; e, terceiro, aquele em que se usava um feixe de luz laser para determinar o índice de refração de um prisma a partir da medida do ângulo de *desvio mínimo*. É interessante lembrar que, já no século XVII, Isaac Newton usava a medida do ângulo de *desvio mínimo* para determinar o índice de refração de diferentes materiais.

Após a realização dos citados experimentos e de uma breve revisão histórica sobre o tema, deduzia-se a lei da refração com base no modelo teórico corpuscular de Descartes, de 1637, que prevê velocidade maior para a luz em meios mais densos, resultado que foi motivo de muito debate nos anos que se seguiram, recebendo adesão de alguns cientistas importantes e sofrendo críticas de outros, a exemplo de Pierre de Fermat. Na sequência, deduzia-se a lei da refração com base no modelo ondulatório de Huygens, no qual este supunha que a luz viaja com velocidade menor nos meios mais densos. Esta lei era usada para calcular o índice de refração do vidro e do acrílico, a partir de algumas medidas feitas na parte experimental. Para orientar e apoiar as discussões em sala de aula, foi produzido o texto intitulado “A lei da refração”, que está no Apêndice 4, com a indicação de Texto Complementar 4.

A discussão dos modelos teóricos para explicar os fenômenos de reflexão e refração criava a oportunidade para se introduzir o princípio de percurso mínimo, de Heron, e o princípio de tempo mínimo, de Fermat. A relação entre o princípio de Fermat e o princípio de *ação mínima*, de Maupertuis, era abordada, em seguida, do ponto de vista histórico, precedida naturalmente de sua parte experimental específica, em que se

comparava o movimento de duas esferas metálicas, deslocando-se por trajetórias diferentes (ao longo de uma cicloide e ao longo de uma reta, feita em madeira pelo aluno Paulo César Santos de Souza - Figura 28), partindo ao mesmo tempo de pontos de alturas iguais e passando por pontos de alturas menores e também iguais. Esta experiência permitia apresentar o problema da *braquistócrona* (ou do menor tempo de descida) que está na raiz da descoberta do chamado *cálculo das variações*, que, por sua vez, teve um papel importante no desenvolvimento do formalismo matemático da Mecânica e da Física de modo geral. Verificava-se que Maupertuis foi levado a este princípio (1744), ao analisar as críticas que Fermat fazia a Descartes (desde 1637) sobre a dedução da lei da refração da luz, em que este considerava a velocidade da luz maior nos meios mais densos. Um resumo intitulado “A óptica e o princípio de mínima ação de Maupertuis” foi produzido e encontra-se no Apêndice 4, com a denominação Texto Complementar 5.

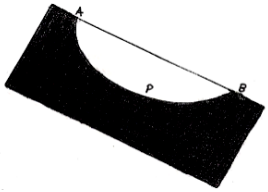


Figura 28 – Representação de uma peça em madeira, mostrando uma cicloide e uma reta, para a discussão do problema da braquistócrona.

Passava-se então ao estudo do fenômeno da visão e da visão em cores, primeiro do ponto de vista experimental e, depois, histórico-conceitual. Dos seis itens experimentais de interesse, serão descritos dois para ilustrar. Primeiro, o experimento em que se superpunha um feixe de luz monocromática vermelha e outro verde e se obtinha como resultado o amarelo; e, segundo, aquele em que se misturava pigmentos vermelhos e verdes e, ao contrário do caso anterior, não se observava o amarelo. Estes resultados eram discutidos à luz da ideia de combinação de cores primárias no processo aditivo e combinação de cores primárias no processo subtrativo. É claro que era indispensável realizar também o famoso experimento da dispersão de um feixe de luz branca (realizado por Newton com luz natural), em que um feixe de luz produzido por uma lâmpada incandescente sofre dispersão ao atravessar um prisma, sendo, em seguida, projetado numa parede. Este experimento era completado, fazendo-se o feixe passar por um segundo prisma posicionado adequadamente. Após a realização dos experimentos, passava-se à discussão histórico-conceitual dos fenômenos apresentados, comparando o ponto de vista da teoria newtoniana com o da teoria de

Young. Acrescentava-se também as explicações da visão em cores dadas pela teoria tricromática de Young-Helmholtz e pela teoria das cores oponentes de Karl Hering (1834-1918). Para mostrar como o tema da visão em cores poderia ser relacionado ao problema da natureza da luz, foi produzido um texto intitulado “A visão em cores e os modelos de onda e de partícula”, que pode ser encontrado no Apêndice 4, com a indicação de Texto Complementar 6.

Após o estudo introdutório da visão em cores, os fenômenos de difração, interferência e polarização eram explorados exaustivamente, pois conduziam diretamente aos problemas fundamentais da física quântica.

Ao se iniciar o estudo da interferência de luz, o fenômeno das cores em películas finas aparecia como o primeiro a ser discutido. Dos cinco experimentos demonstrativos previstos, podem-se destacar dois para ilustração. Primeiro, aquele em que dois feixes de luz laser eram projetados numa parede após incidir, respectivamente, em uma lâmina fina de mica e em uma placa de vidro, esta última com 3 mm de espessura. O outro, o famoso experimento para mostrar os chamados “anéis de Newton”, obtidos facilmente com luz de lâmpada de vapor de mercúrio, incidindo sobre duas placas de vidro colocadas superpostas sobre uma mesa em sala escura. A discussão de como Newton os descreveu, a partir da sua teoria dos “acessos de fácil reflexão e fácil transmissão”, era feita logo em seguida, enquanto a explicação desse mesmo fenômeno com base na teoria ondulatória de T. Young, introduzida no início do século XIX, era deixada para um momento posterior.

Em seguida, passava-se ao estudo do fenômeno de difração, para o qual existia um grande número de itens experimentais possíveis de serem realizados (cerca de quinze). Na maior parte deles, fazia-se um feixe de luz laser incidir em obstáculos e orifícios de tamanhos e formas diferentes, colocados a diversas distâncias da fonte e do anteparo, com destaque para aquele em que aparecia o “ponto de Poisson” ou “ponto de Arago”. Mas não só luz laser era usada. Experimentos eram realizados também com luz de lâmpada de tungstênio e com feixe de micro-ondas. Durante as discussões, aproveitava-se para apresentar o próprio relato de Francesco M. Grimaldi referente ao que denominava “Primeiro Experimento” e “Segundo Experimento” sobre o fenômeno de difração por ele mesmo descoberto (Figuras 29 e 30). Neste item era esclarecido

ainda que Newton, após publicar os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, voltou a fazer experimentos sobre o fenômeno de difração, mas foi obrigado a interromper tais trabalhos por razões alheias à sua vontade. Newton considerava a difração (ou *inflexão*, como ele a denominava) um tipo especial de refração. Em seguida a estes estudos preliminares, sobre o fenômeno de cores em películas finas e difração, passava-se ao estudo das contribuições de T. Young, datados do início do século XIX, época em que ele realizou seu famoso experimento da dupla fenda. Após revisar o contexto em que Young realizou seus trabalhos, mostrava-se que o *princípio da interferência* descoberto por T. Young, e redescoberto por A. Fresnel, era um poderoso instrumento para a explicação dos resultados experimentais apresentados anteriormente, produzidos por películas finas (inclusive os "anéis de Newton") e por difração. Neste momento, eram deduzidas as expressões matemáticas para a condição de máximos e de mínimos de interferência no experimento da fenda dupla, como também a condição de mínimo para a difração de fenda única. As expressões matemáticas obtidas eram usadas para a verificação de medidas efetuadas na parte experimental, tanto fazendo uso de luz visível quanto de radiação de micro-ondas. Era também uma oportunidade para se apresentar algumas aplicações modernas do fenômeno de interferência, como o caso da leitora de disco óptico ou de películas finas de substâncias transparentes, colocadas em superfícies de vidro, para reduzir a reflexão da luz. Aqui a discussão era restrita a feixes intensos de radiação, deixando-se a discussão de experiências com feixes fracos (regime quântico)

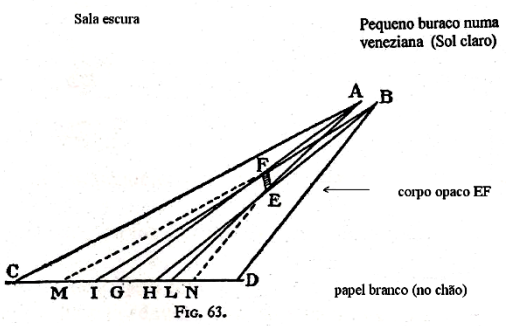


Figura 29 – "Primeiro Experimento" de Grimaldi. Ele escreve: "Mas o que deve ser especificamente notado é que a sombra IL aparece consideravelmente maior de fato do que deveria ser caso a luz viajasse em linha reta".

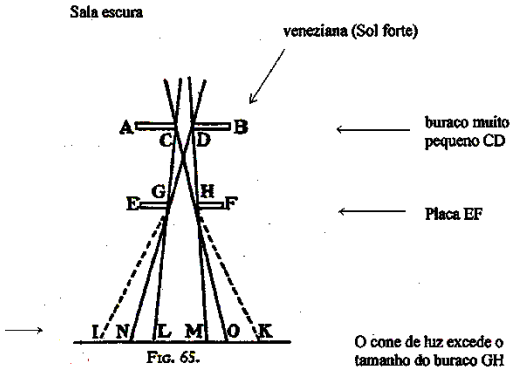


Figura 30 – "Segundo Experimento" de Grimaldi. Aparece sobre a superfície uma base iluminada IK notavelmente maior que aquela que os raios marcariam se fossem transmitidos em linha reta através do mesmo lado.

para outra oportunidade. Para uma melhor compreensão da teoria newtoniana da luz, foi produzido um texto intitulado “Aspectos de corpúsculo e de onda na teoria newtoniana da luz”, que está disponível no Apêndice 4, com a indicação de Texto Complementar 7.

Quanto ao fenômeno da polarização da luz, da mesma forma que nos casos anteriores, a parte experimental era a primeira a ser apresentada, seguida, naturalmente, das discussões teóricas, ou seja, histórico-conceituais. Dos cerca de 15 itens experimentais, alguns poderiam ser considerados indispensáveis, a exemplo da experiência demonstrativa na qual a imagem de uma agulha aparecia duplicada, quando colocada entre um cristal de calcita e o vidro de um retroprojetor, iluminando uma tela. Era importante também mostrar o que ocorria quando um feixe de luz laser incidia sobre o cristal de calcita e, em seguida, os feixes emergentes eram analisados com uma placa polarizadora. As diversas experiências com luz, onde eram observados os fenômenos de polarização por dupla refração, por absorção, por reflexão e por espalhamento, não teriam o mesmo impacto se não se dispusessem de pelo menos duas placas polarizadoras (de qualidade).

Em razão das características das ondas eletromagnéticas (ondas transversais), o fenômeno de polarização mostrava-se com grande potencial de discussão e, nos debates que se seguiam, os modelos de partícula e de onda eram usados para explicar as observações realizadas. Inicialmente era esclarecido que Étienne Malus, em 1809, estimulado pela Academia de Ciências de Paris - que ofereceu um prêmio a quem apresentasse um estudo matemático da dupla refração e o confirmasse experimentalmente - explicou este fenômeno como consequência de forças repulsivas, atuando em *moléculas luminosas* não esféricas, mas arredondadas, que comporiam o raio. Em seguida, eram apresentadas as contribuições de T. Young e de Augustin Fresnel, com base no modelo ondulatório da luz, para a explicação do famoso resultado experimental obtido por Arago e Fresnel, em 1816, em que eles, imaginando que só poderia haver interferência de ondas luminosas se estas fossem provenientes de uma única fonte, tentaram interferir os raios emergentes do cristal de calcita (raios ordinários e extraordinários) e notaram que estes não produziam franjas de interferência, formando, em lugar disto, apenas uma iluminação uniforme. Era esclarecido então que

a explicação desse fenômeno foi dada por Young e Fresnel, após Young levantar a hipótese de que a luz deveria ser uma onda do tipo transversal, e não longitudinal, e de Fresnel explicar que os raios ordinários e extraordinários emergentes da calcita não produziam franjas de interferência, porque vibravam transversalmente e em direções perpendiculares.

Após a apresentação da lei de Malus, que dá a intensidade de um feixe de luz que atravessa um analisador, depois de passar por um polarizador, discutia-se teoricamente a hipótese do feixe de radiação eletromagnética ser suficientemente fraco a ponto de um fóton de cada vez chegar ao analisador. Introduziu-se então a ideia de que tudo que se podia afirmar, neste caso, era a probabilidade de que o fóton passasse ou não pelo analisador. Fez-se então uma aplicação prática desta ideia, na qual se supunha uma corneta emissora de micro-ondas, emitindo um fóton de cada vez (com antenas emissora e receptora orientadas numa direção fixa vertical, designada por θ, com um amperímetro acoplado à corneta) e se tentava responder à questão: *Qual seria a probabilidade deste fóton ser detectado pela corneta receptora se esta fosse reorientada para a direção φ?* Ou melhor: *Qual a probabilidade de o fóton preparado no estado de polarização θ ser detectado no estado de polarização φ*? O resultado calculado para uma reorientação de 45º dava uma probabilidade de 50%, e este resultado era então relacionado com os valores de corrente indicados no aparelho, antes, I_o, e depois da reorientação, I, (no detector chegavam muitos fótons de cada vez, no mesmo estado, o que era equivalente). Verificava-se então que a relação entre os valores de corrente lidos antes (1 mA) e depois da reorientação da antena (aproximadamente 0,7 mA) confirmava a previsão teórica do cálculo probabilístico (nesse experimento, a corrente era proporcional à componente do campo elétrico na direção da antena).

Após o estudo do fenômeno da polarização, era realizada a primeira avaliação da aprendizagem, para apreciar o rendimento acadêmico dos alunos, quando eram convidados a responder, geralmente, seis questões tratando de aspectos históricos, fenomenológicos e conceituais do curso.

4.5.2 Planck, Einstein, L. de Broglie, Schrödinger …

Após as discussões dos fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização, passava-se então a uma outra fase do curso, reservada, explicitamente, à introdução de noções de relatividade restrita e física quântica. Com tal objetivo, iniciava-se o estudo das propriedades das redes de difração unidimensional, bidimensional e tridimensional, com atenção voltada para a rede tridimensional, que era utilizada posteriormente, ao se discutir a simulação de experiências de raios-x, usando micro-ondas**.** O uso de radiação de micro-ondas para simular experiências de raios-x revelava-se muito importante em discussões posteriores, quando eram apresentadas as *ondas de matéria*, propostas por Louis de Broglie, em 1923, e verificadas por C. Davisson e L. Germer, para elétrons, em 1927, já que a experiência de Davisson e Germer com um feixe de elétrons era análoga à experiência com o feixe de raios-x, simulado por micro-ondas. Dos cerca de dez itens experimentais referentes ao estudo das propriedades dos diversos tipos de rede de difração, serão destacados três para ilustrar. Primeiro, aquele em que, usando um espectrômetro, observava-se a luz de uma lâmpada de mercúrio através de uma fenda, de duas fendas, de três fendas, de dez fendas e de um número muito grande de fendas (600 linhas/mm). Segundo, aquele em que se observava a figura produzida por um feixe de luz laser após este incidir sobre uma rede bidimensional de difração, e, terceiro, o experimento em que se fazia incidir radiação de micro-ondas (comprimento de onda de aproximadamente 3cm) sobre um arranjo tridimensional de esferas metálicas posicionadas a iguais distâncias umas das outras, no interior de um cubo de isopor. A incidência de radiação de micro-ondas sobre este arranjo tridimensional permitia o estudo da difração por uma rede tridimensional, numa escala cerca de 10^8 vezes maior que a de raios-x, pois a radiação de micro-ondas tem comprimento de onda cerca de 10^8 vezes maior que a de raios-x e as distâncias entre as esferas metálicas (centro difratores) também tinham dimensões 10^8 vezes maiores que as de um cristal real.

Após se fazer uma revisão histórica do papel desempenhado pelas redes de difração no desenvolvimento da física moderna, passava-se à discussão dos aspectos matemáticos das redes. O primeiro passo era a dedução da "equação da rede" para o caso unidimensional, sob incidência normal. Mostrava-as então que a equação da rede unidimensional, com incidência normal, tem uma forma bastante simples, dada por: $\delta \text{sen}\theta = n\lambda$, onde θ é o ângulo de difração (com a normal à rede); δ, a distância entre as fendas; λ, o comprimento de onda da radiação e, n, um número inteiro. Os aspectos matemáticos das redes bidimensionais não eram muito relevantes para o curso e, por esta razão, optava-se por explorar os aspectos matemáticos das redes tridimensionais, que, como dissemos, permitiam uma rica discussão da experiência em que se simulava a difração de raios-x ("Difração de Bragg"), usando micro-ondas. Em seguida, passava-se à dedução da chamada *lei de Bragg*, uma expressão matemática deduzida pelo físico inglês, W. L. Bragg, em 1912, com base no modelo ondulatório da luz, ao estudar a interferência de raios-x espalhados pelos átomos distribuídos em várias famílias de planos paralelos, agora chamados planos de Bragg. A expressão matemática obtida era escrita na forma: $2d\text{sen}\theta = m\lambda$, onde d é a chamada distância interplanar; θ, o ângulo entre o feixe incidente (ou refletido) e o plano no qual o feixe incide; λ, o comprimento de onda da radiação; e m, um número inteiro (Figura 31).

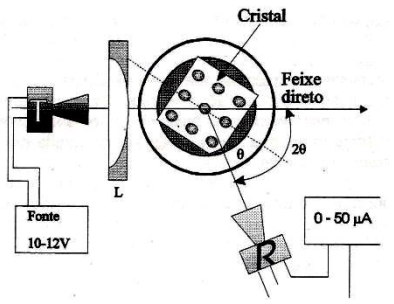


Figura 31 – Arranjo experimental para a obtenção dos picos de difração. Figura extraída da apostila "Textos de Laboratório", do Departamento de Física do Estado Sólido do IFUFBA.

Esta experiência permitia também a introdução de uma proveitosa discussão sobre a determinação experimental da constante de Avogadro por meio de técnicas de difração. Para tornar a explicação mais simples, supunha-se que cada átomo da amostra cristalina estava posicionado no centro de um cubo de aresta a, onde a é, equivalentemente, a distância entre os centros dos átomos. Mostrava-se então que a constante de Avogadro podia ser avaliada, a partir da medida da distância entre os planos (100), que, neste caso, é igual à distância entre os centros dos átomos da amostra. Após a medida da distância entre os planos (100), estimava-se a constante de Avogadro a partir da expressão $\rho = (M/V)$, em que ρ é a densidade da amostra (valor encontrado em

tabelas de densidade), *M* é a massa molar (valor extraído da tabela periódica) e *V* é o volume de um mol, dado por $V=N_A a^3$, onde *a*, como já foi dito, é a distância entre os centros dos átomos. Se a distância interplanar obtida fosse de 3,35 cm (na nossa amostra a distância interplanar era de 4,0 cm), diríamos que o citado arranjo tridimensional de esferas metálicas estaria simulando muito bem uma amostra de polônio (que tem uma estrutura cúbica simples (CULLITY, 1978)). Neste caso, a constante de Avogadro seria estimada em: $N_A=M/\rho a^3$=(209 g/mol)/[(9,3 g/cm^3)x(3,35x10^{-8} cm)^3]= 6,0x10^{23} átomos/mol, onde a massa molar do polônio, *M,* foi tomada como 209 g/mol, a densidade, ρ, foi assumida como 9,3 g/cm^3, a uma certa temperatura, e a distância entre os átomos foi assumida ser de 3,35x10^{-8} cm (à mesma temperatura), tendo sido incluído o fator de 10^{-8} pelo fato da simulação ser feita numa escala 10^8 vezes maior que as experiências realizadas com raios-x. A constante de Avogadro, sem a unidade mol^{-1}, é o número de Avogadro.

As discussões sobre *onda de matéria*, referidas anteriormente, eram antecedidas ainda pela apresentação de três temas importantes: a Experiência de Michelson-Morley, a Radiação do Corpo Negro e o Efeito Fotoelétrico. Como nos casos anteriores, os assuntos apresentados eram sempre apoiados por experimentos demonstrativos, sendo o caso da radiação do corpo negro o mais difícil de ser tratado em um curso dessa natureza. Começava-se com a discussão do experimento de Michelson-Morley que servia de veículo para a introdução de noções da relatividade especial. O primeiro passo era a apresentação do interferômetro de Michelson, a partir do qual se mostrava o efeito que seria observado no interferômetro, caso o suposto éter de fato influenciasse o resultado. Tal apresentação era acompanhada por uma revisão histórico-conceitual centrada no problema da relatividade do movimento, que, como se sabe, remonta à Grécia antiga, quando filósofos importantes como Aristarco de Samos ousaram considerar um sistema heliocêntrico, em contraposição a um sistema geocêntrico, para descrever o movimento dos corpos celestes. Para orientar as discussões sobre este tema, foi produzido um texto-resumo que pode ser encontrado no Apêndice 4, com a denominação de Texto Complementar 8.

Após a discussão do experimento de Michelon-Morley, passava-se ao estudo da chamada radiação do *corpo negro*, que, como se sabe, recolocou no centro das

discussões científicas o problema da natureza da luz em um momento que parecia não mais haver dúvida quanto à sua constituição, em razão do sucesso espetacular da teoria eletromagnética clássica, desenvolvida por Maxwell e outros. A parte experimental do estudo da radiação do corpo negro era baseada no artigo de M. A. Cavalcante e R. Haag, intitulado *Corpo negro e determinação experimental da constante de Planck*, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, número 3, de 2005**.** Com base nas ideias principais desse artigo, devidamente adaptadas para o curso de Física Básica IV, procedia-se à determinação experimental (de forma aproximada) da constante de Stephan-Boltzmann (e, consequentemente, da constante de Planck), a partir de medidas simples de tensão e de corrente, quando essa corrente passava através do filamento de tungstênio de uma lâmpada de farol de automóvel, ou de uma lâmpada equivalente. Para encontrar o valor da constante de Stefan-Boltzmann, o primeiro passo era determinar a temperatura do filamento, sendo necessário também avaliar a área de sua superfície. O tempo reservado para o estudo desse tema era relativamente curto, mas as discussões sobre a radiação do corpo negro, mesmo limitadas, mostravam-se importantes e serviam de ponto de apoio aos estudos que se seguiam. Para relacionar as medidas de tensão e de corrente com a constante de Stephan-Boltzmann e orientar as discussões em sala de aula, foi produzido um texto-resumo de cunho histórico-fenomenológico-conceitual, que pode ser encontrado no Apêndice 4, com a designação de Texto Complementar 9.

Em continuação, estudava-se o chamado efeito fotoelétrico. Este era um tema que se mostrava indispensável num curso como o de Física Básica IV, pela sua simplicidade e riqueza conceitual, e esta foi a razão pela qual foi dedicado um tempo maior a sua apresentação. Como de praxe, primeiro eram apresentados os itens experimentais de interesse, usando-se equipamentos do laboratório da disciplina Estrutura da Matéria, onde se mostrava (em um amperímetro) o aparecimento da corrente fotoelétrica, em razão da incidência de um feixe de luz sobre a célula fotoelétrica. Mostrava-se também que esta corrente podia ser reduzida se uma diferença de potencial (V) fosse aplicada entre as placas para desacelerar os fotoelétrons, podendo-se inclusive determinar o valor da diferença de potencial (V_o) para o qual a corrente tornava-se zero, indicando que somente os fotoelétrons que têm

energia cinética inicial maior que $|eV_o|$ podiam atingir a placa oposta. Em razão da falta dos filtros apropriados para selecionar radiação com uma frequência específica, não era possível mostrar a dependência do potencial de freiamento com a frequência da radiação, o que não anulava os ganhos com a exposição dos equipamentos aos alunos. Após a apresentação desta parte experimental, uma longa discussão histórico-matemático-conceitual era realizada, fazendo-se uso, inclusive, de dados publicados pelo próprio Milikan, em 1916. Para orientar tais discussões, foram produzidas algumas notas de aula, mostrando como o estudo deste tema evoluiu desde a descoberta deste efeito na década de 1880, até 1915, quando R. Millikan, finalmente, confirmou as explicações de Einstein para este fenômeno com base na concepção da luz como partícula. As notas de aula sobre o efeito fotoelétrico podem ser vistas no Apêndice 4, sob a designação de Texto Complementar 10.

O passo seguinte às discussões sobre o efeito fotoelétrico era a introdução da noção de *onda de matéria*, tomando-se como referência a experiência de difração de raios-x, que, como já foi observado, tinha a mesma base conceitual que a experiência de Davisson e Germer, mudando-se apenas o tipo de radiação que se fazia incidir na amostra cristalina. Este paralelo com a experiência de difração de raios-x, permitia que fossem comparadas as previsões teóricas baseadas nas ideias de L. de Broglie, publicadas em 1923, com os resultados experimentais obtidos por Davinson e Germer, em 1927. As discussões realizadas em sala foram orientadas por notas de aula que podem ser encontradas no Apêndice 4, com a indicação de Texto Complementar 11.

A introdução da noção de ondas de matéria criava a oportunidade também de se evidenciar a importância das contribuições de Louis de Broglie, A. Einstein e E. Schrödinger para o desenvolvimento da chamada Mecânica Ondulatória, simbolizada pela famosa equação de onda, que ficou conhecida como *equação de Schrödinger* e que geralmente é escrita na forma:

$$[- (h^2/4\pi^2)(1/2m)(\partial^2/\partial x^2 + ...) + U(\mathbf{r},t)]\ \Psi(\mathbf{r},t) = i(h/2\pi)\ \partial\Psi(\mathbf{r},t)/\partial t$$

onde m é a massa da partícula num campo potencial U, h é a constante de Planck e $\Psi(r,t)$ é a chamada *função de onda* associada à partícula.

Para entender qualitativamente a pista seguida por Schrödinger (após os trabalhos de L. de Broglie) para a obtenção de sua famosa equação, foi tomado como referência o diagrama da Figura 32. Ao comentar esse diagrama, primeiro deve-se dizer que antes de Schrödinger obter sua famosa equação já era de seu conhecimento que o cientista inglês W. Hamilton (1805-1865), na década de 1830, tinha descoberto uma analogia entre a óptica geométrica e a mecânica clássica (ver lado direito do retângulo da Figura 32). Sabia também que, com as descobertas de A. Fresnel e outros, no início do século XIX, a óptica geométrica tinha passado a ser considerada como um caso limite da óptica física, válida nas situações em que o comprimento de onda da luz (*λ*) era muito pequeno, comparado com as dimensões típicas (*d*) envolvidas na propagação das ondas (*λ/d* << 1), tal como tamanho de obstáculos ou de orifícios (ver lado superior da Figura 32). Por outro lado, em 1925, Louis de Broglie já tinha publicado suas descobertas e considerava que seria possível obter o fenômeno de difração em situações em que o comprimento de onda das ondas de matéria fosse suficientemente pequeno, comparável às distâncias interatômicas, como no caso de raios-x. Com tudo isso, Schrödinger compreendeu que poderia criar uma nova mecânica de ondas (ondas de matéria), inspirando-se na óptica física (ondulatória) e nas relações *p=h/λ, e E=hv,* propostas por L. de Broglie, de forma que houvesse uma analogia entre a óptica física e a nova mecânica de ondas (ver lado esquerdo da Figura 32). Se as leis dessa nova mecânica fossem descobertas, elas teriam a mecânica clássica como um caso limite (ver lado de baixo da Figura 32).

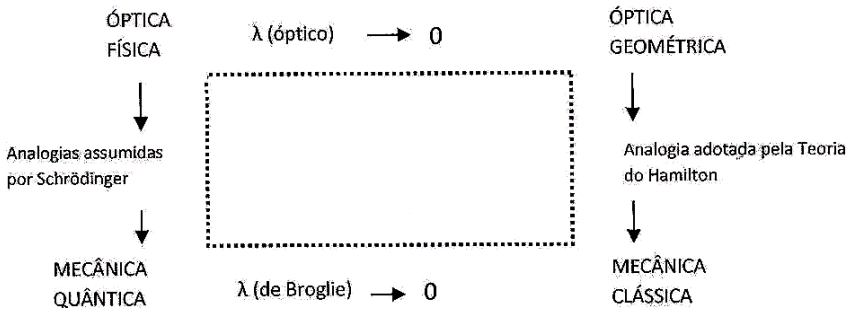


Figura 32 - O esquema mostra a analogia entre óptica geométrica e mecânica clássica adotada por Hamilton e também a analogia entre óptica física e mecânica quântica, adotada por Schrödinger.

Na *Parte II* de seu citado artigo de 27 de janeiro de 1926, recebida para publicação em 23 de fevereiro de 1926**,** Schrödinger assim se referiu à citada analogia entre mecânica e óptica (SCHRÖDINGER, 1926, p. 18):

"Nossa mecânica clássica é talvez completamente análoga à óptica geométrica e por isso falha e está em desacordo com a realidade [...] Portanto é preciso estabelecer uma mecânica ondulatória, e o método mais óbvio é a elaboração de uma teoria ondulatória a partir da analogia hamiltoniana".

Após a apresentação da equação de Schrödinger, discutia-se a interpretação da função de onda, $\Psi(\boldsymbol{r},t)$, dada por Max Born, em junho de 1926, inspirado em uma interpretação sugerida por Einstein para o caso de fótons, segundo a qual o quadrado da amplitude de uma *onda luminosa* poderia ser visto como uma densidade de probabilidade de ocorrência de fótons. Por analogia, Max Born propôs que o quadrado (do módulo) da função de onda poderia ser visto como a densidade de probabilidade de ocorrência da partícula material.

As quatro horas de aulas semanais, geralmente, permitiam que se avançasse até o tema ondas de matéria e, às vezes, um pouco mais. Em pelo menos um semestre, houve a oportunidade de se discutir o texto apresentado no Apêndice 4, com a denominação de Texto Complementar 12, que dá uma visão geral das experiências mais recentes, com feixes de radiação suficientemente fracos, explorando o problema da natureza da luz.

4.6 A receptividade dos alunos

A receptividade dos alunos ao curso de Física Básica IV, no segundo semestre de 2000 não foi verificada explicitamente. Uma coleta de opinião (escrita) foi feita apenas na segunda vez em que o curso foi oferecido, no mesmo formato, no ano seguinte (semestre 2001.2).

Após o término do semestre, instados pelo professor, 10 dos 14 alunos matriculados no semestre 2001.2 manifestaram suas opiniões sobre o curso ministrado. No último semestre em que esta disciplina foi oferecida (semestre 2011.2) uma nova

coleta de opinião dos alunos foi feita e, dos 9 alunos matriculados, apenas 4 responderam por escrito à solicitação do professor, entregando seus depoimentos após o término do semestre.

Adiante, ainda neste capítulo, transcrevemos os depoimentos de 10 dos 14 alunos matriculados no semestre 2001.2, e, em seguida, os depoimentos de 4 dos 9 alunos matriculados em 2011.2.

4.7 O processo de ensino e os resultados de Física Básica IV

Do mesmo modo que em Física Básica III, a programação das atividades desenvolvidas no curso de Física Básica IV, na forma descrita neste capítulo, passou por contínua revisão, desde a primeira vez em que foi oferecido, no ano 2000.

Apesar do caráter optativo também desta disciplina, o relato detalhado do desenvolvimento do curso mostra que a mesma oferece condições especiais para a apresentação da óptica e física moderna, utilizando uma abordagem contextual. Como já referido, a importância de um curso como este está no fato do mesmo se constituir em um espaço bem definido, onde são explorados, simultaneamente, aspectos, históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais de um mesmo conteúdo físico, diferentemente do que é feito nas disciplinas tradicionais, em que o estudo da História da Ciência (História da Física) ou a realização de experimentos, é feita, separadamente, ficando para os alunos a responsabilidades de fazer as interligações.

Por outro lado, se bem analisado, este curso de óptica e física moderna, centrado nos conceitos de onda e partícula de luz, revela-se uma maneira particularmente simples de se introduzir noções de física quântica para alunos universitários iniciantes. Este modo de introduzir tais noções parte do pressuposto de que a trajetória de desenvolvimento da física que levou ao surgimento da física quântica coincide com a trajetória seguida pelos cientistas na investigação da natureza da luz, desde os tempos mais remotos, o que, em termos práticos, foi traduzido pela estratégia de utilizar o confronto dos modelos de onda e partícula para estruturar todo o curso.

Depreende-se do relato, que muitos tópicos tratados neste curso de preparação de professores, a exemplo do princípio de Fermat, rede de difração e corpo negro, na forma como foi ministrado, não seriam acessíveis a alunos que não tivessem passado pela vivência da escola de nível médio, em razão da linguagem utilizada e do uso de noções de cálculo diferencial e integral, mesmo que de forma simplificada. Além disso, de forma análoga ao curso de Física Básica III, e em que pese os títulos dos tópicos de óptica e física moderna serem supostamente os mesmos que aqueles presentes nos livros de nível médio e nos cursos universitários de Física Geral e Experimental, o tempo utilizado para a apresentação desses tópicos é de apenas um semestre e não de aproximadamente um ano, como no caso do ensino médio.

Como foi observado no capítulo anterior, este tipo de enfoque, em que os aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais são tratados simultaneamente, é também acompanhado de dificuldades operacionais, que podem ser exemplificadas pela falta de um livro-texto adequado e pelo reduzido número de professores interessados em ministrar cursos dessa natureza, além, é claro, de salas de aula e equipamentos adequados para este tipo de curso. Tais dificuldades, entretanto, podem ser superadas com o empenho do colegiado e dos departamentos envolvidos na oferta da disciplina.

O acerto desta proposta de curso para formação de professores é confirmada por comentários escritos dos alunos do semestre 2001.2, em resposta a uma solicitação do professor e por comentários escritos de alguns outros alunos do semestre 2011.2, apresentadas ao final deste capítulo. Esta confirmação foi obtida também através da metodologia da História Oral, por meio de entrevistas gravadas, apresentadas no Capítulo 5.

O relato dessas experiências de ensino permite-nos afirmar que a abordagem utilizada, simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, apresentou algumas vantagens em relação a alguns cursos tradicionais. Primeiro, a humanização da Física enquanto ciência, ajudando o aluno a perceber que o conhecimento científico se modifica historicamente e que mesmo posições antagônicas cooperam entre si no fazer da cultura científica, evidenciando que a ciência Física resulta da relação do homem com o mundo e com outros homens, buscando superar

desafios. Segundo, reduziu significativamente o alegado problema da fragmentação de conteúdos que ocorre nos cursos tradicionais, concentrando-se nas ideias que melhor caracterizam a Física enquanto ciência. Terceiro, ofereceu ao aluno a oportunidade de discutir fenômenos diretamente relacionados ou que podem ser relacionados ao nosso cotidiano e que, naquele momento, estavam sendo apresentados em laboratório. E, quarto, tornou evidente que a Física tem uma tradição, ao mesmo tempo que dispõe de formas de se adaptar e mudar frente a novos problemas ou desafios.

Para concluir pode-se afirmar que esta foi uma experiência efetiva de como aplicar em sala de aula a ideia muito difundida nos meios acadêmicos de que História e Filosofia da Ciência podem e devem ser utilizadas para melhorar a aprendizagem dos conteúdos de Física apresentados (ver MATTHEWS, 1996).

Opinião discente sobre o curso de Física Básica IV – semestre 2001.2

(Respostas entregues após o encerramento do semestre por 10 dos 14 alunos matriculados)

Ao final do curso, a pedido dos professores, os alunos fizeram comentários avaliativos sobre o curso de Física Básica IV naquele semestre, além de comentários de seu próprio desempenho. Adiante são apresentadas as opiniões dos alunos sobre o desenvolvimento do curso.

Opiniões dos Alunos

> Aluno 1:
>
> A primeira parte da disciplina [...] atendeu plenamente as minhas expectativas (demonstrações, experimentos, discussões, abordagem histórica, filmes etc.) salvo a indefinição sobre a avaliação da aprendizagem desde o início do curso.
> Na segunda parte [...], o começo foi com textos interessantes, que geravam boas discussões e debates, contudo, à medida que o curso foi sendo adiantado, os textos foram perdendo o “significado físico”, as discussões já não aconteciam com a mesma frequência e intensidade, chegou o momento em que queríamos nos livrar dos textos. Eu acho que esta parte do curso deveria seguir a linha das primeiras aulas

(textos sobre ideias da Física Quântica, comparação destas ideias com as atuais, mais aulas expositivas, experimentos etc.). [...]

Aluno 2

No decorrer do curso, pude verificar o número suficiente de aulas práticas, nas quais foram expostos os fenômenos direcionados aos tópicos do curso. As discussões dos fenômenos foram feitas de forma clara e objetiva. Apenas sugeriria que fosse feita uma avaliação para cada aula de laboratório, o que iria nortear os alunos a aprofundar as discussões, elevando assim o aprendizado.
As aulas teóricas foram dadas com clareza e objetividade. Foram levantadas também algumas questões importantes a cerca de tópicos do curso e resolvidas, também, com clareza.
Tenho a plena convicção de que o nível do curso foi muito bom e com proporcional interesse dos alunos e por parte do professor, que interagiu conosco com segurança e disponibilidade. [...]

Aluno 3

Foi extremamente importante e proveitoso o fato de irmos ao laboratório de Óptica para realizar os experimentos. Entretanto, creio que o aproveitamento seria maior se pudéssemos, em equipes montar os dispositivos de observação, afinal estamos nos formando como condutores dos experimentos no futuro e não cabe apenas assistir no presente.
As listas de exercício são ferramentas de discussões e acho que deveriam ter uma quantidade menor de questões para possibilitar a discussão em sala de aula, como fizemos na 2ª parte do curso pelo grupo inteiro ou por equipe.
É necessário que a 2ª parte do curso tenha um dinamismo maior. O conhecimento do professor [...] é indiscutível mas por tratar-se de conceitos que não são aceitos de forma elementar (a mecânica quântica exige conhecimento e abstração), é preciso imaginar e tentar apresentar manifestações destes efeitos (como por exemplo o cartaz sobre o microscópio por tunelamento, que encontramos no 4º andar).

Aluno 4

Apesar de ter faltado algumas aulas devido a questões de trabalho, acho que o curso foi muito proveitoso, pois discutimos pontos importantes que "abriu minha mente" ao entendimento, atingindo assim o objetivo do curso que é preparar o aluno para a Física Geral e Experimental IV.
Como sugestão acho que as listas de exercício devem ser feitas no laboratório após os experimentos.

Aluno 5

Acho que todos aprendemos (nos aprimoramos) com a disciplina. Uma boa proposta para o curso seria a de se fazer três ou quatro listas, em

> “sala de aula”, com discussões em grupo, o aluno se deteria nas questões e tiraria as dúvidas durante a resolução da lista. [...]
>
> Aluno 6
>
> Em relação ao curso, me mostrou ter sido muito bem preparado, com grande empenho do professor no preparo das aulas. Acredito que o método de avaliação não foi muito bem sucedido, necessitando de certa reflexão, no âmbito de achar um modo mais eficiente. Gostaria de parabenizar o enfoque fenomenológico da matéria, única abordagem deste tipo no meu curso até agora.
>
> Aluno 7
>
> A introdução das Físicas Básicas (I, II, III e IV) para o curso noturno para mim está sendo muito bom. [...]
> Em relação à avaliação penso que a melhor forma seria observar o experimento e resolver as questões no laboratório como no curso de Física Básica III [semestre 2001.1]
>
> Aluno 8
>
> Creio que acima dos exercícios e provas propostas fui bastante tocado com os estímulos aos alunos do professor em sala de aula. [...].
>
> Aluno 9
>
> (Este aluno limitou-se a avaliar seu próprio desempenho no curso).
>
> Aluno 10
>
> (Este aluno também limitou-se a avaliar seu próprio desempenho no curso).

Comentários sobre as opiniões dos alunos

Nas respostas dos alunos ficou evidenciado que o curso foi constituído de duas partes, a de óptica e a de física moderna. No geral, as opiniões foram de aprovação, com algumas críticas localizadas. Houve destaque positivo para a abordagem histórica e para as discussões dos fenômenos observados no laboratório de óptica. Houve também sugestões de inclusão de experimentos na parte de física moderna e mais dinamismo em sala. Um dos alunos considerou que, na parte de física moderna, os primeiros textos utilizados em sala de aula, extraídos da tese de Ileana Greca (GRECA,

2000) foram interessantes, sendo capazes de gerar boas discussões e debates, mas, a medida que o curso foi avançando, os demais textos já não tinham a eficiência dos primeiros; “chegou um momento que queríamos nos livrar dos textos”. Outro aluno mostra acreditar que o objetivo do curso de Física Básica IV é preparar o estudante para a disciplina Física Geral e Experimental IV. Houve críticas à forma como foi feita a avaliação da aprendizagem dos alunos e houve também muitas sugestões de como fazer tal avaliação neste tipo de curso. Sugestões também foram feitas no sentido de discutir as listas de exercício em sala de aula. Alguns alunos limitaram-se a avaliar seu próprio desempenho no curso, sem manifestar opinião sobre o desenvolvimento do mesmo. Apesar das ressalvas, o curso foi considerado de nível “muito bom”.

A seguir será transcrito o resultado da coleta de opinião dos alunos matriculados no semestre 2011.2.

Opinião discente sobre o curso de Física Básica IV – semestre 2011.2

(Respostas entregues, após o encerramento do semestre, por 4 dos 9 alunos matriculados)

Ao final do curso, a pedido do professor, os alunos fizeram comentários sobre os seguintes itens: a) aspectos positivos do curso, b) aspectos negativos, c) autoavaliação e d) sugestões para melhorar o curso. Adiante são apresentadas as opiniões dos alunos sobre estes itens.

Opiniões dos alunos

Aluno 1

Aspectos positivos:

1. O desenvolvimento gradativo de temas permite um entendimento muito mais significativo dos mesmos, uma vez que há bastante espaço para debates, questionamentos, enfim, é possível não entender primeiro para depois entender verdadeiramente.

2. A técnica é a parte integrante da cultura humana, e por ser parte torna criminosa qualquer tentativa de reduzir o conhecimento ao aspecto

puramente técnico. O andamento das aulas, permeadas por aspectos históricos da evolução da ciência liberta os estudantes do velho esquema de aplicação de técnicas matemáticas o tempo inteiro. Penso que esse caminho serve a um duplo propósito: mostrar as relações entre o conhecimento científico e o contexto no qual está inserido e do qual é também resultado, e dar vida, sentido, cores ao estudo da Física, lembrando-nos de que isto deve ser também uma atividade bastante prazerosa.

3. Manter em foco os problemas é fundamental para compreender porque este, e não aquele, caminho foi tomado em determinado momento histórico. Esta talvez seja a maior virtude do curso.

4. Tomar experimentos como ponto de partida desperta muito mais a curiosidade do que qualquer forma “teórica” de começar. Participar da execução de um experimento sob a orientação de um bom professor é algo que me parece extremamente valioso, até mesmo quando as coisas não saíam como planejado. Na verdade dá para aprender mais ainda quando é necessário reajustar os equipamentos.

5. O material entregue a nós estudantes ao longo do curso é um convite a não acumular conteúdos. São ótimos roteiros de estudo e têm servido também a posteriori. O espaço em branco nas apostilas é um convite à escrita, ou melhor, à construção do próprio entendimento.

6. As referências bibliográficas são ótimas leituras. Além de que fogem um pouco da rotina entediante dos livros-texto comuns.

Aspectos negativos:

Honestamente, não tenho objeções. Mas para não deixar esta parte em branco, um aspecto negativo é o fato de o curso não ser obrigatório para o bacharelado. É uma pena ..

Autoavaliação – Considera que aprendeu o conteúdo do curso? Explique.

Sim, porque percebi que na realidade eu não compreendia aquilo que julgava saber por ter feito outras disciplinas. Tive tempo, espaço e incentivo para desconstruir e reconstruir ideias, impressões e até mesmo intuições a respeito do conteúdo estudado.

Sugestões para melhorar o curso:

1. Mais um pouco (só um pouco mesmo) de matemática nos exercícios e na exposição. Vou justificar: combinar o conhecimento formal com o dinamismo do curso pode jogar uma luz sobre o próprio aspecto formal, que é, sem dúvida, uma fonte de dores de cabeça da maioria dos meus colegas.
Para ser mais exato: seria como usar cores para escrever aquelas equações que sempre estiveram em preto-e-branco.

2. Dar um peso maior àqueles questionários que são entregues de tempos em tempos para “forçar” a estudar um pouco mais e “tomar posse” das discussões de uma forma mais concreta.

Aluno 2:

Aspectos positivos:

Enfoque histórico que proporciona a compreensão temporal dos acontecimentos descobertas e demonstrações;
A utilização da matemática dando suporte e efetividade aos fenômenos estudados em sala;
Aproveitamento e organização do horário da aula, torna-se perceptível que houve uma preparação antecipada;
A avaliação ao nível de abordagem dos assuntos vistos em sala;
A dedicação do docente às aulas, a fim de que os alunos construam uma visão crítica dos temas abordados;
O planejamento do curso.

Aspectos negativos:

O único aspecto negativo do curso foi a heterogeneidade da turma, alunos em diferentes fases do curso, que dificultou a compreensão de algumas abordagens matemáticas, necessárias para a compreensão mais sólida dos fenômenos físicos.

Autoavaliação – Considera que aprendeu o conteúdo do curso? Explique.

Considero a estrutura do curso, apostilas, equipamentos, suporte matemático, bibliografias configuram sem dúvidas um excelente aprendizado. Considero-me apto a qualquer debate que envolva assuntos do curso relacionados aos vistos na disciplina.

Sugestões para melhorar o curso:

Apenas uma sugestão: regular mais o tempo de discussões durante a aula, pois em algumas perdemos um pouco o foco do tema para ser abordado em determinada aula.

Aluno 3

Aspectos positivos:

- Aulas discursivas, dando oportunidade ao aluno de questionar sobre seus conhecimentos prévios e esclarecer dúvidas em vários níveis.
- Oportunidade única no curso de aprender o contexto histórico associado à visão experimental dos problemas de Óptica eletromagnética e da física moderna.

Aspectos negativos:

- Tempo curto;
- Acho que pode ter faltado alguns momentos de fechamento (conclusões) das discussões em torno dos experimentos realizados, talvez por falta de tempo;

Autoavaliação – Considera que aprendeu o conteúdo do curso? Explique.

- Creio ter aprendido boa parte do conteúdo estudado. O que não consegui aprender, saí com base e estímulo para estudar mais os assuntos;

Sugestões para melhorar o curso:

- Reservar mais tempo para discutir os experimentos.

Aluno 4

Aspectos positivos:

Sequência muito bem programada; experimentos associados para melhor visualização. Material disponível. Avaliação construtiva.

Aspectos negativos:

Não comentou.

Autoavaliação – Considera que aprendeu o conteúdo do curso? Explique.

Sim, da maneira que se propõe o curso sem me aprofundar nos cálculos.

Sugestões para melhorar o curso:

Não comentou.

Comentários sobre as opiniões dos alunos

As opiniões dos alunos foram de aprovação, com quase nenhuma restrição. Houve destaque positivo para a orientação geral do curso, mantendo em evidência os objetivos a serem alcançados ao final do mesmo. Foram relacionados também o enfoque histórico, a utilização dos experimentos como ponto de partida das discussões, a utilização parcimoniosa da matemática como suporte ao estudo dos fenômenos, o desenvolvimento gradativo dos temas, permitindo um melhor entendimento dos mesmos, o material entregue aos alunos ao longo do curso; a otimização do tempo de aula, a avaliação feita ao nível do apresentado em sala de aula, e outros pontos. Entre os aspectos negativos foram relacionados a heterogeneidade da turma e o pouco tempo para discutir os experimentos. Como sugestão foi citada a necessidade de acrescentar ao curso um pouco mais de matemática e ajustar melhor o tempo das discussões em sala de aula, para não perder o foco. O curso foi, portanto, muito bem avaliado por estes alunos.

TABELA 9 – Desempenho dos alunos matriculados em F. Básica IV nos últimos 12 anos

FÍSICA BÁSICA IV: Desempenho dos alunos matriculados nos últimos 12 anos								
Semestre	**Matriculados**	**Aprovados por média**	**Aprovados com prova final**	**Reprovados por conceito**	**Reprovados por média**	**Reprovados disc s/nota**	**Reprovados por freq.**	**Trancamento**
2000.2•••	8	3	5	–	–	–	–	–
2001.2 ••	14	13	–	–	–	–	1	–
2002.2 •	22	8	5	1	1	–	6	1
2003.2 •	23	13	3	2	2	–	2	2
2004.2 •	Registrado como 2005.1							
2005.1 •	16	3	5	1	2	2	3	–
2005.2 •	Registrado como 2006.1							
2006.1 •	20	13	3	1	–	–	3	–
2006.2 •	15	4	7	–	–	–	3	1
2007.2 •	11	3	5	2	1	–	–	–
2008.2 •	11	4		1	5	–	–	1
2009.2 •	13	2	5	–	–	–	5	1
2010.2 •	21	13	5	–	–	1	2	–
Subtotal	174	79	43	8	11	3	25	6

Em 2011 deixou de ser exigida a prova final					
Semestre	**Matriculados**	**Aprovados**	**Reprovados**	**Reprovados por freq.**	**Trancamento**
2011.2	**8**	**5**	**1**		**2**
Subtotal	**8**	**5**	**1**		**2**

TOTAL GERAL					
	Matriculados	**Aprovados**	**Reprovados**	**Reprovados por freq.**	**Trancamento**
Total geral	**182**	**127**	**23**	**25**	**8**

Disciplina ministrada pelo(s) Prof(s):

••• Olival Freire Jr. (Na verdade houve uma parceria entre o Prof. Olival Freire Jr e o Prof. J. F. M. Rocha, apesar de o Departamento informar que a disciplina foi ministrada apenas pelo Prof. Olival Freire Jr.)

•• Olival Freire Jr. e J. F. M. Rocha

• J. F. M. Rocha

Fonte: Instituto de Física da UFBA, Colegiado de Graduação em Física, Cadernetas de Física Básica IV, de 2000 a 2011. (IFUFBA, 2011)

CAPÍTULO 5

REPERCUSSÃO E ORALIDADE

5.1 História Oral

História oral é uma metodologia de pesquisa que consiste em gravar depoimentos ou entrevistas com pessoas que podem testemunhar sobre aspectos da história contemporânea, tais como acontecimentos, instituições, modo de vida, entre outros. Seu propósito é principalmente produzir fontes que serão objeto de análise e interpretação.

Para compreender o papel que a história oral passou a ter nas últimas décadas é importante lembrar o desenvolvimento da historiografia nos últimos dois séculos. Nesse período, a historiografia pode ser dividida em três momentos principais: o do paradigma "rankeano", estabelecido por Leopoldo Von Ranke (1785-1886), no século XIX; o da "Escola dos Annales" (criada na década de 1920, tendo a frente os historiadores franceses Marc Léopold Benjamin Bloch (1886-1944) e Lucien Febvre (1878-1956)); e o momento atual, chamado, às vezes, de "nova história".

O paradigma "rankeano" é considerado o modelo tradicional historiográfico e se pauta pela valorização dos grandes eventos políticos, dos grandes personagens e dos grandes feitos históricos. Este paradigma prevaleceu até o início do século XX, quando o movimento que resultou na criação da Escola dos Annales, no final da década de 1920, colocou em cheque seus fundamentos. A historiografia dessa época tinha como um dos seus fundamentos a *visão retrospectiva* como a condição indispensável para se fazer uma história científica, significando que o trabalho do historiador só começaria, quando não mais existissem testemunhos vivos dos mundos estudados.

A criação da Escola dos Annales representou uma ruptura com a historiografia tradicional, abrindo um vasto campo para o trabalho do historiador. Seus fundadores

passaram a ver os documentos históricos “como vestígios do passado e não como um testemunho da verdade, positivo, sobre este passado”. (ARAÚJO; FERNANDES, 2006, p. 14) Para esses historiadores, os documentos históricos deviam ser interpretados e incorporados ao diálogo que o historiador passava a construir entre sua pergunta e as fontes ou documentos. Em nome de uma história *total*, esta nova geração de historiadores passou a questionar a hegemonia da historiografia tradicional, considerando-a uma história elitista, individualista, factual, subjetiva e outras adjetivações. Para eles, o econômico e o social deveriam ocupar um lugar de destaque na pesquisa historiográfica. Os pressupostos da Escola dos Annales eram de que fenômenos de longa duração são mais importantes do que os movimentos episódicos e que o comportamento coletivo é mais relevante do que as iniciativas individuais. Isto implicava que o foco dos historiadores deveria ser não mais os regimes políticos e os eventos, mas sim o mundo do trabalho e da produção. Esta desvalorização do papel do indivíduo, dos aspectos culturais e políticos, da conjuntura, entre outros, teve suas consequências, pois desqualificou também o uso de relatos pessoais, das histórias de vida e autobiografias. A Escola dos Annales excluía, portanto, a possibilidade de valorização dos testemunhos diretos e das fontes orais.

Nas décadas de 1960 e 1970, com as mudanças políticas que as marcaram, houve um esgotamento das concepções traçadas pela Escola dos Annales, levando outros estudiosos a propor novas perspectivas e conceitos, possibilitando o surgimento de novas metodologias de pesquisa. A história oral surge como um produto das mudanças que marcaram essas décadas, especialmente os acontecimentos de 1968. ([51]) Tais mudanças geraram novas posturas políticas, novos padrões de comportamento e valorizaram novos sujeitos políticos até então fora da arena política, pondo em questão não apenas a forma de pensar, mas também seus representantes tradicionais. Como consequência, novos atores políticos ocuparam espaço, tais como as mulheres, os negros, os trabalhadores imigrantes, os índios, os homossexuais, fato que, inevitavelmente, se refletiria na historiografia, produzindo novas formas de se fazer história. Os historiadores da Escola Inglesa Marxista foram os primeiros a questionar

[51] A coleta de depoimentos pessoais mediante a utilização de um gravador iniciou-se na década de 1940 com o jornalista Allan Novins que desenvolveu um programa de entrevistas voltado para a recuperação de informações acerca da atuação dos grupos dominantes norte-americanos. (FERREIRA, 2012)

aquilo que chamavam a “história das elites” e se propuseram a construir a “história vista de baixo”, o que os levou, naturalmente, ao recurso da história oral, já que suas fontes eram personagens anônimos, subalternos, sem registros oficiais. ([52]) É esta vertente da história oral, ligada aos trabalhadores e comunidades rurais e urbanas que, no Brasil e no mundo, geralmente, atrai um grande público nos Encontros de História Oral.

A história oral dialoga com outras vertentes historiográficas, a exemplo da história do tempo presente - que é o campo predileto da história oral - e da história política. O cruzamento da história oral com a *história de vida* produziu um campo nobre na historiografia contemporânea: a história da imigração. Há também um vínculo estreito entre a história oral e a história das mulheres. Esta última vertente abriu caminho para outros estudos historiográficos (não propriamente outras vertentes), tais como a história dos homossexuais e de índios. Como se observa, a metodologia da história oral não é, propriamente, um “compartimento” da história; é uma metodologia que, presumivelmente, pode ser utilizada em qualquer ramo desta disciplina.

A aceitação da história oral como uma metodologia de pesquisa tem crescido nas últimas décadas, mas isto não se deu sem resistência. Um dos pontos polêmicos era a aceitação do depoimento como um fato histórico o que só foi possível após as mudanças conceituais recentes ocorridas no interior da própria história. Tais mudanças geraram discussões sobre o papel das fontes históricas, permitindo que a história oral ocupasse um novo espaço nos debates historiográficos atuais. Conforme afirma Alzira de Abreu, “o conceito de fonte se ampliou e a ideia de que elas foram produzidas ao longo do tempo se completa com a aceitação de que o historiador constrói também suas fontes”. (apud ARAÚJO; FERNANDES, 2006, p. 16) Percebido enquanto fonte histórica, o depoimento oral acrescenta às fontes tradicionais e aos fatos, minimamente

[52] A Escola Inglesa Marxista reuniu, na segunda metade do século XX, historiadores como Edward Palmer Thompson (1924-1993), Eric John Earnest Hobsbawm (1917-2012) e John Edward Christopher Hill (1912-2003), que, sem abrir mão dos elementos essenciais do paradigma do materialismo histórico, repensaram seus conceitos e sua utilização na historiografia. Embora a Escola Inglesa Marxista e a Escola dos Annales fossem diferentes em suas principais concepções teórico-metodológicas acerca da disciplina história, elas se pareciam em alguns aspectos, já que ambas eram formadas por historiadores com pontos de vista e métodos muito diferentes daqueles vigentes em seus respectivos países. Apesar da importância da Escola Inglesa Marxista, a principal escola historiográfica do século XX foi, certamente, a Escola dos Annales.

comprovados, versões diferenciadas acerca de uma determinada prática social ou de um acontecimento.

Pode-se sintetizar dizendo que as transformações no campo da história abriram espaço para o reconhecimento do uso de formas orais e, ao ocupar gradativamente este espaço, a história oral tem contribuído para que o cientista deixe de depender unicamente dos textos escritos para estudar o passado e também para que indivíduos geralmente excluídos da história oficial passem a ser ouvidos, deixando registros para análise futura. Além disso, tem fornecido novos elementos para confrontar com as fontes escritas, tornando o estudo do tempo presente mais dinâmico. A crítica sofrida pela história oral de que a memória não é digna de crédito e de que a memória pode ser influenciada por versões coletivas não a impediu de ganhar cada vez mais espaço na historiografia contemporânea.

No Brasil, a metodologia da história oral foi introduzida na década de 1970, tendo o interesse em torno desta metodologia crescido muito a partir de 1990. A socióloga e pesquisadora Aspásia Brasileiro Alcântara de Camargo foi uma das pioneiras na introdução dessa metodologia no Brasil (a partir de 1974), após defender sua tese de doutorado, na França, sobre "As Ligas Camponesas e o Movimento Camponês no Nordeste". Em uma entrevista concedida em 1998, ela se refere à introdução pioneira da história oral como recurso de pesquisa histórica no Brasil, da seguinte forma (CAMARGO, 1998):

> Eu fiz um trabalho de consolidação de uma metodologia pioneira, não só no Brasil, como no mundo. Eu mostrava que a entrevista não é uma fonte menor de informação. Porque era essa, e ainda é [1998], a visão da história tradicional. [...] o que nos interessa não é a entrevista como documento absoluto. A entrevista como documento é limitada como qualquer outro documento e não deve ser interpretada como uma afirmação absoluta; é um documento parcial e limitado. A nossa metodologia não se baseia num documento, baseia-se num conjunto de documentos: a definição estratégica foi essa.

Conforme foi observado na Introdução, neste trabalho, usamos a metodologia da história oral para narrar a repercussão das inovações trazidas pela matriz curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno, segundo a visão de alguns de seus atores - professores e alunos. Esta metodologia de pesquisa se justificou pelo fato da história

oral representar a possibilidade de se ouvir “outras versões” sobre a repercussão das inovações incluídas na estrutura curricular do Curso de Física, Licenciatura, noturno, que não aquelas apoiadas apenas nas concepções tradicionais de ensino universitário de Física, e também por não haver muitos registros documentando a repercussão das inovações nas atividades de formação dos profissionais graduados pelo Instituto de Física da UFBA, mesmo tendo a Licenciatura, noturno, se constituído em uma experiência inovadora, que produziu efeitos, por vezes inesperados.

Conforme já referido, história oral não deve ser confundida com gravação de entrevistas. História oral é uma metodologia, é um conjunto de procedimentos baseados em um projeto com objetivos bem definidos, com base no qual são planejadas entrevistas capazes de produzir efeitos.

Da mesma forma que história oral não deve ser confundida com entrevistas simples, isoladas, únicas e não gravadas, também não se deve chamar entrevistas comuns de história oral, porque geralmente estas se guiam por processos e práticas diferentes. Uma entrevista em história oral é caracterizada pela sistematização dos processos decorrentes da lógica proposta no projeto original.

No projeto desenvolvido nesta tese, as entrevistas foram concebidas com o objetivo de produzir fontes documentais para o que estavam previstos: a) a passagem das entrevistas do código oral para o escrito, com o intuito de elaborar um texto final, b) a conferência das gravações transcritas e sua validação pelo entrevistado, c) a obtenção de autorização para uso das mesmas, e d) o exame analítico das entrevistas para compor parte desta tese. O cronograma inicial previa um tempo de quatro meses para a produção e transcrição das entrevistas, o que de fato foi alcançado, sendo que as transcrições foram incluídas no Anexo 1, acompanhadas das autorizações para uso. Neste projeto, foi feita a opção pela chamada história oral plena, também chamada história oral pura, que pode ser diferenciada da história oral instrumental, segundo Meihy e Ribeiro (2011), nos seguintes termos:

> Mais do que história oral instrumental que apenas procede aos registros, a história oral plena exercita a análise fazendo as entrevistas dialogarem. Fala-se, pois, de autonomia documental das entrevistas que se relacionam favorecendo debates internos. As análises, nesses casos, devem sempre ser comparativas, mesclando opiniões, pontos de vista

> ou fatos revelados em gravações que contenham *redes* de entrevistados com características próprias.

Não foram feitos cruzamentos de fontes documentais escritas, preexistentes, com os documentos obtidos através da metodologia da história oral, o que caracterizaria a história oral híbrida, mas, nos Capítulos III e IV, como pôde ser observado, mesmo sem o propósito de fazer cruzamentos com documentos obtidos por procedimentos da história oral, foram apresentados alguns registros escritos de comentários avaliativos dos alunos sobre as disciplinas Física Básica III e IV, obtidos ao final de dois dos semestres em que estas disciplinas foram oferecidas (tópicos 3.7 e 4.7).

Para o desenvolvimento desta investigação foram programadas entrevistas com professores e alunos do Instituto de Física. No primeiro caso, 4 professores que participaram do processo de criação e desenvolvimento do curso noturno ou que se envolveram direta ou indiretamente com as Físicas Básicas III e IV: Olival Freire Júnior, Raimundo Muniz Teixeira Filho, Arthur Matos Neto e Maria Cristina Martins Penido. No segundo caso, 9 alunos que cursaram as disciplinas Física Básica III e Física Básica IV, ou pelo menos uma delas, distribuídos pelos mais diversos anos (12 anos) em que estas disciplinas foram oferecidas. Vale registrar as razões da escolha dos professores entrevistados.

O professor Olival Freire Júnior integrou-se a este projeto de história oral em razão de ter sido o primeiro a ministrar, junto com outro professor, a disciplina Física Básica IV (segundo semestre de 2000 e de 2001) e, sozinho, a disciplina Física Básica I (primeiro semestre de 1999), e ainda de ter acompanhado o processo de criação e implantação do curso de Física, Licenciatura, noturno. O professor Raimundo Muniz Teixeira Filho, por sua vez, colaborou com esta investigação por ter sido professor da disciplina Física Básica III (primeiro semestre de 2006) e por ter ministrado a disciplina Física Básica II, por vários semestres, ao longo dos últimos 12 anos, além de ter também acompanhado o processo de criação e implantação do Curso de Física, Licenciatura, noturno. O professor Arthur Matos Neto integrou-se a este projeto de história oral por ter sido o primeiro professor da disciplina Física Básica II (segundo semestre de 1999) e por ter participado do processo de criação e implantação do Curso

de Física, Licenciatura, noturno. E finalmente, a professora Maria Cristina Martins Penido colaborou neste trabalho em razão de ter ministrado a disciplina Metodologia e Prática do Ensino de Física, uma disciplina obrigatória para todos os alunos licenciados pelo Curso de Física Licenciatura, noturno, e por ter também acompanhado o processo de sua criação.

Em conclusão, deve-se registrar que o armazenamento das entrevistas gravadas foi feito por meio de um banco digital de dados, contendo o arquivo da gravação em mídia DVD, identificado com o nome do entrevistado e as datas, e que também encontra-se anexo.

5.2. A criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, na visão de alguns docentes do IFUFBA

O objetivo deste tópico é apresentar a opinião e avaliação de alguns docentes do Instituto de Física da UFBA sobre a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Como já observado, dentro de um universo numeroso, foram escolhidos quatro docentes que participaram da criação e/ou implementação deste curso, os já citados professores: Olival Freire Júnior, Raimundo Muniz Teixeira Filho, Arthur Matos Neto e Maria Cristina Martins Penido**.** A decisão de criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, tornou-se uma questão relevante, porque se deu em um momento aparentemente desfavorável, tendo em conta o esvaziamento por que passava o Curso de Física, diurno, por volta do ano de 1996, conforme relatado no Capítulo 2. ([53]) Ao falar sobre a oportunidade da criação do curso noturno, em entrevista gravada em 27 de dezembro de 2012 ([54]), o professor Olival Freire Júnior diz que esta foi uma experiência, no Instituto de Física, completamente a frente de seu tempo, recordando-se inclusive que houve uma época em que Física era o único curso noturno da UFBA. Em suas próprias palavras:

[53] A *ideia* de criação da Licenciatura, noturno, foi aprovada pelo Colegiado de Física (diurno) em maio de 1997, na sua 196.ª Reunião.
[54] FREIRE JR., Olival, Entrevista concedida em 27 de dezembro de 2012 e transcrita no Anexo 1.A.

> [...] eu acho que hoje a gente está em uma posição melhor para falar nisso, porque acho que é uma experiência que foi aqui no Instituto de Física completamente a frente de seu tempo. A própria ideia de curso noturno de qualidade depois virou regra no REUNI [...] se você olhar que hoje isso virou regra pro Brasil inteiro e aquilo ali foi feito numa época em que a universidade estava contingenciada, o auge do governo FHC, [época em que] não tinha contratação de professor novo, não tinha contratação de funcionário, não tinha dinheiro, não tinha nada, acho que foi uma experiência, eu não vou dizer utópica, no mau sentido, porque ela deixou frutos ... mas foi completamente a frente do seu tempo, quer dizer, se fez aqui com dez anos de antecedência, aquilo que depois virou política pública no Brasil.

O professor Olival Freire fala também sobre as características do alunado do curso noturno. Para ele o curso desmentiu ou esvaziou preconceitos, que havia não só no Instituto de Física da UFBA, quanto ao tipo de aluno dos cursos noturnos, afirmando que sua experiência de ministrar aulas para os alunos da noite, mostrou que a turma do noturno era diferente da do diurno, mas, na média, para melhor. Para ele, tratava-se de uma turma madura, interessada, motivada; “quase todos trabalhavam, então era gente que tinha um senso de responsabilidade maior ...”. Ele afirma também que o espectro dos alunos que compunham as turmas do noturno, com as quais teve experiência, era diversificado. Havia alunos muito bons, em geral vocacionados para a licenciatura; alunos de médio para cima, que comporiam “um meio de campo”, que tinham experiência profissional, de banco, de polo petroquímico, de ensino; e alunos fracos, que estavam aqui por acaso. O professor Freire Júnior fala ainda sobre o que considera ser algo mais subjetivo, porque não tinha como apresentar evidências, mas afirma considerar uma vantagem do curso noturno em relação ao diurno a não existência do problema da hierarquização do bacharel em relação ao licenciado. Para ele, este problema é caracterizado pelo desestímulo aos alunos que querem fazer licenciatura, na medida em que são dissuadidos pelos professores sob o argumento de que, se é um bom aluno, deve fazer bacharelado. Segundo o professor Olival Freire, este problema não existia no curso noturno, porque não havia bacharelando na sala de aula, já que o curso era para formar licenciado**.**

Em entrevista gravada em 5 de dezembro de 2012 ([55]), o professor Raimundo Muniz Teixeira Filho, revela também uma visão positiva sobre a criação da Licenciatura, noturno, mesmo numa época aparentemente desfavorável. Considera que este foi um dos momentos mais importantes para o Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia. Lembra que, desde o tempo de estudante, defendeu a ideia de que a UFBA, com sua imensa capacidade instalada, tinha de ter curso noturno, especialmente por ser uma instituição pública. Para ele, isto viria a possibilitar que pessoas que trabalhavam durante um turno e desejavam uma formação de nível superior pudessem realizar seus estudos. Nesse grupo, ele situou, inclusive, os professores de ensino médio que, por alguma razão, ainda não tinham se graduado. Finalmente, o professor Raimundo Muniz considera que, apesar do Curso de Física, diurno, encontrar-se esvaziado naquele período de criação do curso noturno, existia uma demanda natural por este novo curso, exatamente por estar sendo oferecido no período da noite.

Por sua vez, o professor Arthur Matos Neto, em entrevista gravada em 12 de dezembro de 2012 ([56]), ao falar sobre a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, em 1998, uma decisão que ampliou o numero de vagas em um período em que o Curso de Física diurno passava por um certo esvaziamento, afirma discordar de que o curso de Física estivesse passando por tal esvaziamento naquele período. Para ele, não havia esvaziamento de curso, “formávamos o que sempre formamos”, um número muito reduzido de estudantes, tanto no bacharelado quanto na licenciatura. Para ele, a questão devia ser posta de outro modo. Na sua visão, à época da criação do curso noturno, em vista do número muito reduzido de alunos que se formavam em Física, nas duas habilitações usuais, pessoas ligadas ao ensino, preocupadas com a formação de professores para o ensino médio, onde há uma carência histórica de professores de Física, refletiram sobre o que deveria ser feito, para que se pudesse aumentar o número de graduados em Física, em particular na habilitação licenciatura. Interessado por este problema e sabendo que a taxa de evasão no Curso de Física da UFBA era muito alta, ele e o professor Felipe Serpa compararam a taxa de evasão no curso de Física da UFBA com a do Curso de Física da Universidade de São Paulo e

[55] TEIXEIRA FILHO, Raimundo M., Entrevista realizada em 27 de dezembro de 2012 e transcrita no Anexo 1.B.
[56] MATOS NETO, Arthur, Entrevista concedida em 12 de dezembro de 2012 e transcrita no Anexo 1.C.

observaram serem, essencialmente, a mesma, com a diferença de que em São Paulo, formavam-se muito mais alunos, porque ingressavam também em maior número. E acrescenta:

> Então, uma primeira questão que nós discutimos com o Felipe aqui - ele produziu isso como reitor da Universidade, de uma forma geral - é que a gente devia ampliar a entrada, em primeiro lugar, o acesso aos cursos de licenciatura em geral, não só o de Física; e procurar resolver as dificuldades que existiam, e existem ainda, no curso especificamente, que acaba fazendo com que uma quantidade de aluno que poderia ter sucesso nesse curso, não tem, por problemas da relação do curso com os alunos.

O professor Arthur esclarece ainda que, pensando no fato da Universidade de São Paulo já ter um curso noturno há muito tempo e que a licenciatura forma pessoas para um mercado de trabalho que pouco valoriza o professor, chegou-se à conclusão que, estruturando o curso em um turno, o da noite, talvez se conseguisse atrair outras pessoas além daquelas da demanda normal, inclusive as que já estavam trabalhando, sem formação, na rede de ensino. Por outro lado, estava claro, segundo ele, que não daria para criar um curso de Licenciatura em Física, noturno, nos mesmos moldes da Licenciatura, diurno, porque já se compreendia que o projeto pedagógico da Licenciatura, diurno, tinha problemas que afastavam os alunos e também porque o curso seria num único turno, o da noite. Isto era diferente da licenciatura e do bacharelado existentes, que ocupavam os turnos da manhã e tarde, o que também dificultava as pessoas permanecerem na Universidade, em razão, das condições sociais do público que entrava no Instituto de Física. Para o professor Arthur Matos, essa discussão de fazer os cursos em um turno estava posta, na época, como uma tentativa de superar algumas dessas dificuldades para alunos diretamente vinculados ao mundo do trabalho. Foi a junção desses aspectos, na sua visão, que levou à criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Relembra ainda que, na época, era o vice-diretor do Instituto de Física e na direção encontrava-se o professor Manuel Blanco Martinez, sendo o reitor da Universidade o professor Luís Felippe P. Serpa. Em conclusão, afirma:

> Então a saída que nós demos aqui no Instituto foi abrir esse curso à noite, um curso noturno, o que acabou se concretizando e acabou se transformando no primeiro e, durante muito tempo, no único curso noturno da Universidade Federal da Bahia. Outras escolas procuraram discutir e tentar fazer seus cursos em um único turno, mas durante o dia. Não tiveram sucesso, a não ser muito poucas. [...] Eu acho que a solução que o Instituto de Física deu, na época, foi a melhor solução de todas.

Na visão da professora Maria Cristina Martins Penido, manifesta em entrevista gravada em 21 de novembro de 2012 ([57]), entretanto, o Instituto de Física já estava convicto da necessidade de ampliação dos horizontes do Curso de Física, de Licenciatura, principalmente. Ela acredita que a chegada do curso noturno foi oportuna e muito bem sucedida, ainda que aqueles que vivenciaram o processo de criação do curso se lembrem das dificuldades para a aprovação de um currículo minimamente apropriado. Para a professora Cristina Penido, "temos um curso noturno que é um melhoramento fantástico para aquela visão [anterior] de currículo". Tal convicção, entretanto, não a impede de afirmar que mesmo esta estrutura curricular mais arejada necessita de uma avaliação, porque já se passaram mais de dez anos desde sua implementação.

5.3 O projeto das Físicas Básicas na opinião de alguns docentes do IFUFBA

A seguir será apresentada a leitura e análise destes mesmos docentes especificamente sobre o projeto das Físicas Básicas e sua implementação. A primeira opinião avaliativa a ser considerada foi a do professor Olival Freire Júnior, que ministrou a disciplina Física Básica IV, em parceria com outro professor, nos semestres 2000.2 e 2001.2, ministrando também a disciplina Física Básica I, em 10 semestres dos últimos 13 anos, inclusive no primeiro semestre em que esta disciplina foi oferecida, 1999.1. Na leitura e análise do professor Olival Freire Júnior, a introdução no currículo da Licenciatura, noturno, de quatro novas disciplinas, oferecidas paralelamente às

[57] PENIDO, Maria, C. M., Entrevista realizada em 21 de novembro de 2012 e transcrita no Anexo 1.D.

tradicionais Físicas Gerais e Experimentais foi fator fundamental para a opinião revelada anteriormente sobre a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Ele considera tal opinião como fruto de suas experiências em ensinar duas dessas disciplinas, principalmente, a disciplina Física Básica I e, por duas vezes, Física Básica IV. Ele afirma não ter dúvida de que as Físicas Básicas "foi uma experiência essencialmente positiva" e acrescenta que sua percepção sobre as mesmas tem uma marca de ambiguidade. Se, por um lado, considera ter sido uma experiência positiva, por outro, em razão do curso noturno ter sido precursor em vários aspectos, este pagou o preço do pioneirismo, enfrentando dificuldades para fazer a adequação curricular com o curso diurno. Por outro lado, vê a experiência como inovadora não só por ter uma grade curricular com certas particularidades (como é o caso da criação das Físicas Básicas) como também por ser o único curso do Brasil onde o *Harvard Project Physics* tornou-se material curricular obrigatório, esclarecendo que, na época, apenas Suzana de Souza Barros, da UFRJ, falava deste projeto aqui no Brasil.

Na opinião do professor Raimundo Muniz Teixeira Filho, o projeto das Físicas Básicas também foi positivo. Para ele, as Físicas Básicas fogem ao tradicional modelo das Físicas Gerais e Experimentais, diminuindo a parte matemática, sem deixar de utilizá-la "em prol de uma ênfase maior na questão conceitual e histórica". Para o professor Raimundo Muniz, as Físicas Gerais e Experimentais, na forma como são normalmente apresentadas, devido a ter conteúdo muito extenso, terminam tornando muito compactas certas discussões que envolvem as questões conceituais e históricas, de forma que "o estudante termina tendo que fazer isso extra aula". De acordo ainda com o citado professor, as Físicas Básicas, explorando conteúdos equivalentes aos das Físicas Gerais e Experimentais, contribuem para minimizar a deficiência de muitos estudantes que ingressam na universidade – deficiência que, segundo ele, ocorre no Brasil inteiro – caracterizada por uma formação que enfatiza a memorização e o treinamento na solução de problemas. Ele afirma ainda não concordar com aqueles que alegam ser excessivo falar em História da Ciência em sala de aula, pelo fato de compreender que "A parte histórica é para o estudante entender como é o desenvolvimento das ideias, dos conceitos na física", deixando claro que é necessário "enxugar um pouco, porque não é um curso de História da Ciência".

Ao falar sobre a criação e implantação das Físicas Básicas, o professor Arthur Matos Neto classifica essa inovação curricular como interessante e diz que, para surpresa de uns, mas não de todos, essas quatro disciplinas tiveram uma aceitação muito grande por parte do alunado, embora duas delas não constassem nos seus currículos como obrigatórias. Lembra, entretanto, que esta não foi a primeira tentativa de resolver dificuldades acadêmicas ou pedagógicas, dos cursos de graduação em Física e que as chamadas Físicas Básicas resultaram de um processo cuja referência mais recente se localiza na criação das chamadas Físicas Gerais e Experimentais - *F*, em 1988, as quais, por sua vez, resultaram da ampliação da carga horária das três Físicas Gerais e Experimentais, existentes anteriormente. Ele acrescenta que na época da criação da Licenciatura, noturno, por diversas razões - pragmáticas, pedagógicas ou acadêmicas - chegou-se à conclusão que não seria conveniente levar essas disciplinas de dez horas para a grade do curso noturno, “por uma questão de estrutura curricular” e porque, “durante esse processo, tomou corpo no Brasil uma discussão que já vinha ocorrendo fora do Brasil, em países da Europa, nos Estados Unidos, na qual uma certa dificuldade no ensino das ciências, em particular da Física, teria a ver com a falta de contextualização da produção do conhecimento científico”. Segundo o professor Arthur Matos, a forma como a física era ensinada dava a sensação aos alunos de que era uma forma morta e que aquele produto humano teria sido elaborado como se fosse por inspiração divina, sem o processo histórico, social, vivido pela sociedade humana em cada período e, portanto, ficava dissociado da vida das pessoas, dos alunos envolvidos no processo.

Após salientar que a forma de ensinar ciências não é a mesma nos diversos países e que o problema de formação de cientistas existe em qualquer lugar do mundo, o professor Arthur Matos diz que, aqui em Salvador, por razões que envolvem fundamentalmente a trajetória dos personagens envolvidos mais diretamente na criação do curso, uma série de fatores levou a que o discurso majoritário, nesse coletivo de pessoas, fosse aquele que ele chamou de francês, da produção do conhecimento como um processo humano e, portanto, dependente da estrutura social, inclusive da estrutura de classe da sociedade, onde foi produzido, tendo a ver também, na sua opinião, com a formação sociológica, política dos personagens que foram guias no processo. Ainda de

acordo com o professor Arthur, com apoio nesse discurso, optou-se por desdobrar as Físicas Gerais e Experimentais - F, de carga horária de 10 horas semanais, em dois conjuntos de quatro disciplinas, um com disciplinas com carga horária de 6 horas e outro com disciplinas com carga horária de 4 horas semanais, com estas últimas tendo esse conteúdo, essa abordagem, esse viés histórico. Na sua visão, como isso não era ainda completamente aceito dentro da Instituição, porque as pessoas inclusive tinham formações políticas, sociais, distintas, não se conseguiu, à época, colocar as quatro disciplinas, criadas dentro desse espírito inovador, novo inclusive no Brasil, como obrigatórias, por ter havido resistência, tendo-se colocado apenas parte delas: a primeira e a segunda como obrigatória, a terceira e a quarta ficando no currículo original, como optativas. Em que pese isto, estas disciplinas, na sua visão, tiveram uma aceitação muito grande por parte do alunado. Ele completa dizendo que o Instituto de Física acabou se convencendo da validade destas Físicas Básicas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais e Experimentais, de forma que,

> nessa ultima reformulação curricular feita no Instituto, tanto no diurno quanto no noturno, naturalmente, essa ideia desses elencos dessas quatro disciplinas, com essa abordagem e as quatro com a abordagem centrada na escola americana, conseguimos que [fosse] ... aprovada pela Instituição como um todo, o que demonstra que o Instituto compreendeu, por avaliar o resultado dos alunos do noturno, que essa introdução alcançou algum sucesso. Então precisamos avançar nisso.

O professor Arthur, entretanto, faz algumas considerações adicionais a respeito das Físicas Básicas, dizendo que apenas preencheram um vazio nos cursos das Físicas Gerais e Experimentais I, II, III e IV, mas só nesses, e que esta não é a melhor forma de resolver este problema. Acrescenta, entretanto, que este é um processo social e que as Físicas Básicas tiveram um papel relevante nesse momento, explorando certos aspectos que não eram tratados nas Físicas Gerais e Experimentais, a exemplo da relação da ciência com a humanidade, desmistificando, portanto, o conhecimento científico. Para ele, isto não é para ser feito apenas nesses dois ou quatro cursos. Ele acredita que deve ser retirado esse discurso de quatro cursos e ir adiante, levando tal ideia para todas as disciplinas, pois, argumenta, cursos específicos já se tem, a exemplo de Evolução da Física e Filosofia da Ciência. Para o professor Arthur Matos,

essa dualidade das quatro Físicas Básicas com as quatro Físicas Gerais e Experimentais é ruim, mas considera que foi um avanço o Instituto de Física reconhecer que esta forma de ensinar ciência, como produção humana, é importante não só para o licenciado e bacharel como também para toda a área de ciências exatas, a chamada Área I. De acordo com o citado professor, o próximo passo é compreender que não só essas, mas todas as disciplinas têm que ser ensinadas e discutidas, reforçando e realçando o aspecto cultural da ciência, o que ainda não se conseguiu fazer na segunda parte do curso de graduação, porque, para ele, isso envolve a participação e compreensão dos próprios docentes, os parceiros desse processo. De qualquer forma, considera não ser tão difícil fazer este processo chegar à segunda parte do curso de licenciatura, das disciplinas profissionalizantes, em razão dos Institutos de Física, da UFBA e de outras universidades, não se envolverem muito diretamente com os cursos de licenciatura, mas que, no caso do bacharelado, a situação é um pouco diferente**,** ficando a depender muito do docente na sala de aula. O professor Arthur Matos considera que as Físicas Básicas I, II, III e IV influenciaram muito na definição das novas matrizes curriculares dos cursos de física diurno e noturno (recentemente aprovadas), em decorrência desse discurso, dessa forma de compreensão da ciência, da produção da física em particular, ter se tornado hegemônico, na primeira parte do curso de graduação, tanto para o licenciado quanto para o bacharel em Física, mas considera que este discurso tem que avançar, conforme já frisou anteriormente. Para ele, as quatro Físicas Básicas têm que se integrar com as quatro Físicas Gerais e Experimentais numa disciplina única, mesmo que isto demore para ser feito, e insiste que devemos perseguir esta meta e não ficarmos satisfeitos com estas quatro disciplinas obrigatórias, que, para ele, não são o final do processo. O professor Arthur Matos ressalta que não se deve fazer distinção entre alunos de licenciatura e bacharelado, principalmente, no primeiro ciclo da universidade, e acha que a discussão não é de como ensinar física para licenciados ou de como ensinar física para bacharéis e sim de como ensinar física seja para licenciados ou bacharéis, pois considera que é ao longo do processo que os alunos dos cursos de Física farão suas opções. De acordo com o professor mencionado, caso se consiga acordar que esta é a melhor forma, que esta é uma das formas mais convenientes para se ensinar e discutir física, esta será

uma conclusão que não valerá apenas para as Físicas Básicas, valerá para todas as disciplinas, seja da licenciatura, bacharelado, mestrado ou doutorado. E acrescenta:

> Essas quatro [Físicas Básicas] são apenas uma primeira tentativa de introduzir uma discussão na área de ensino da Física, ou, em geral, de ciências. Como as ciências devem ser ensinadas, em primeiro grau, em segundo, no terceiro, na vida, com o aspecto central de que deve ser, me parece, ... ela deve ser ensinada como parte da produção humana, portanto, datada, contextualizada num dado período histórico que a sociedade humana está vivendo. E isso vale pra qualquer curso, qualquer disciplina, qualquer coisa. Como tem certas dificuldades, porque têm outras compreensões, nós estamos fazendo um experimento acadêmico, didático, já há doze anos nesse experimento, que foi produzir essas disciplinas específicas, com esses conteúdos, no sentido de ver como esses alunos realmente reagem, se isso melhora a compreensão do processo social, da física; ir conversando com os colegas todos, conversar com a comunidade, vê outras interpretações para que a gente fique permanentemente discutindo com objetivo último de ampliar, facilitar a compreensão do discurso científico, moderno, sobre o mundo.

A professora Maria Cristina Penido, por sua vez, acha que a criação das Físicas Básicas “teve um papel fundamental para que se percebesse que as nossas disciplinas, elas não contemplam, nem nunca contemplaram a parte experimental, nem a parte histórica e filosófica da ciência”. Ela considera que, no Instituto de Física, muitos ainda não estão convencidos da ideia dessas disciplinas, mas acha que o papel das mesmas foi fundamental, porque mostrou “[...] outras visões que não aquela de responder exercício do livro, que tem outras questões que não seja aquela formulação matemática”, não porque despreze a formulação matemática, já que considera esta também importante, mas por se ficar restrito somente a ela. Na sua visão, o experimento deve ser feito na medida em que esteja sendo feita a discussão teórica e acha que, a longo prazo, “nós deveríamos caminhar para fazer com que a Física Básica fosse parte integrante da disciplina que discute aquele fenômeno”. Ao ser lembrada que anteriormente às Físicas Básicas era proposto que aquilo feito hoje nestas disciplinas fosse feito, na época, nas Físicas Gerais e Experimentais *F*, ela esclarece:

> Era proposto que fosse, mas nunca foi feito. Por que? Porque o nosso professorado não está preparado pra isso. Eu estou falando nosso professorado, os nossos pesquisadores, que foram preparados para

> serem pesquisadores e só sabem resolver exercício, é, só sabem resolver exercício, só sabem pegar o livro, destrinchar para os alunos, porque nem sempre fazem. Às vezes, eles só sabem dizer ´olha, isso aqui é uma conta que vocês abram em casa`, ou seja, será que ele mesmo sabe abrir aquela conta e, se ele sabe, o que significa abrir aquela conta? Muito dos nossos professores, dentro do Instituto de Física, não sabem fazer aquilo, por isso não fazem. E isso acaba levando a necessidade dessa disciplina nova que tem poucos professores que oferecem, e daqui a pouco vai ter menos ainda. Porque nós não somos infinitos, felizmente. Uma hora a gente vai fazer outra coisa, nem que seja fazer outra coisa, a exemplo do professor Olival, que tem dado uma ajuda fundamental, mas que ele tem outras coisas pra fazer na vida, não pode ficar só dando a mesma disciplina 100 anos. Cada um de nós tem tempo limitado para trabalhar, ou seja, precisaríamos objetivamente preparar os nossos colegas pra poder fazer isso, e aí, se vai ser o disciplinar ou não, não faz diferença.

Para ela não faz diferença se vai haver as Físicas Básicas I, II, III e IV ou não

> Desde que o professor estivesse imbuído da importância e da necessidade de se trabalhar essas duas partes. E talvez até voltarmos ao ensino médio, porque esses fundamentos que são dados na Física Básica, eles poderiam ser trabalhados no ensino médio. Por que não? E deixar a formalização pra aqui, entendeu?

Ao esclarecer como imagina que os futuros licenciados vão aprender História e Filosofia da Ciência, hoje, nos cursos graduação, para que depois possam levar ao ensino médio, a Profa. Cristina Penido afirma que hoje só existe a opção das Físicas Básicas, mas que esta não é a situação ideal.

5.3.1 Física Básica III e IV: relatos e opiniões avaliativas dos docentes

No que segue, serão apresentadas as experiências de ensino dos professores Raimundo Muniz Teixeira Filho e Olival Freire Júnior com, respectivamente, Física Básica III (semestre 2006.2) e Física Básica IV (semestre 2000.2 e 2001.2) e, em seguida, a percepção da professora Maria Cristina Martins Penido, professora da

disciplina Metodologia e Prática do Ensino de Física I e II, a respeito da repercussão das Físicas Básicas na formação dos alunos do Curso de Física, Licenciatura, noturno.

5.3.1.1 A disciplina Física Básica III e o professor Raimundo Muniz Teixeira Filho

Ao falar da sua experiência em ministrar Física Básica III, o professor Raimundo Muniz Teixeira Filho observa inicialmente que ensinou Física Básica III por apenas um semestre e por isso tem uma percepção ainda limitada dos desafios desta disciplina. Declara que lhe foi sempre muito agradável ensinar eletricidade e magnetismo, um conteúdo que é desenvolvido a partir de uma base empírica e de uma formulação teórica representada pela grande síntese de Maxwell, mas considera que, para o estudante, este conteúdo é desafiador. Ele esclarece que, diferentemente da Mecânica, que trata dos movimentos dos corpos, temas com os quais as pessoas convivem diariamente, a eletricidade é algo mais distante, mais desconhecido. Ele afirma que foi um grande desafio “enxugar” a linguagem matemática normalmente utilizada nos cursos de eletricidade e magnetismo, porque a linguagem do eletromagnetismo, isto é, as equações que vão surgindo, no desenvolvimento do eletromagnetismo, são mais sofisticadas que as da Mecânica, sendo o conteúdo do cálculo maior, mais “pesado”, o que leva os alunos a terem mais dificuldade. Apesar disso, afirma que não eliminou a parte de cálculo, dando apenas mais ênfase à parte conceitual. O professor Raimundo Muniz considera que as Físicas Básicas eram uma novidade pedagógica e, por isso, geravam certas dúvidas, de forma que, às vezes, saía de uma aula de Física Básica III pensando se aquele projeto ia realmente dar certo, outras vezes “saía muito feliz, porque conseguia perceber que, na média, as pessoas tinham dado um salto qualitativo sobre a questão de como é a Física, como ela se constrói, ...”. E ele completa:

> Quando o aluno entende como os conceitos surgem, você percebe na própria expressão facial que, pra ele, existe algo fantástico, pra ele, naquele momento, é uma grande descoberta! A Física, muitas vezes, como ela é ensinada, é destituída do ser humano. É apenas fórmulas, tipos de problemas e soluções. Eu sempre achei essa coisa horrorosa.

> Então, quando você discute os conceitos, o conteúdo da disciplina torna-se mais envolvente. Eu acredito que a ciência é atraente por isso, pelos desafios de entendimento, de compreensão da realidade, não essa coisa distante da realidade, estando apenas no livro e resolvendo problemas.

Ele esclarece também que sua ênfase no curso que ministrou não era tanto nas implicações sociais e culturais da ciência, da transformação da sociedade frente à nova ciência, ou do desenvolvimento da indústria e sim no desenvolvimento das ideias, dos conceitos do eletromagnetismo e que, não em todos os momentos, mas em vários momentos percebeu uma boa resposta dos alunos. Finalmente, relembra que ministrou a disciplina Física Básica III por apenas um semestre e desde então está querendo ministrá-la novamente pelo fato de a mesma exigir do professor uma abordagem não convencional.

5.3.1.2 A disciplina Física Básica IV e o professor Olival Freire Júnior

Ao falar sobre sua experiência em ministrar a disciplina Física Básica IV, em parceria com outro professor, nos semestres 2000.2 e 2001.2, o professor Olival Freire Júnior declara que a impressão que tem é a de que foi uma experiência positiva, apesar de não ter feito uma avaliação sistemática da mesma. Recorda-se que, em um desses semestres citados, foi feita uma experiência didática com um material que a professora Ileana Greca tinha usado no Rio Grande do Sul e, na sua visão, a percepção dos alunos foi muito positiva, especialmente porque incluía mecânica quântica como parte de seu conteúdo. Reafirma, entretanto, que foi uma experiência que não pôde avaliar melhor, e admite que, na continuidade, certamente precisaria de inovações e ajustes, considerando-a, por isso, uma experiência limitada. De qualquer forma, lembra que foi uma experiência positiva. Para o professor Olival Freire, o aluno precisa desde muito cedo ter contato com a física moderna e esta sua opinião decorre de sua própria experiência como estudante. Ele esclarece que só muito depois do início do oferecimento das Físicas Básicas é que foi iniciada uma avaliação sistemática da

disciplina Física Básica I, por Elder Sales Teixeira, como parte da sua tese, e lembra que fez uma avaliação na primeira ou na segunda turma de Física Básica I, mas que, infelizmente, nunca teve fôlego para dar continuidade a este trabalho. Garante, entretanto, que as referências que tinha do que os alunos falavam, do que os alunos comentavam, foram sempre de uma experiência muito positiva. Admite que teve uma experiência negativa (talvez em Física Básica I), num semestre em que houve uma greve e que, em razão de uma viagem, deixou o curso não terminado.

Ao falar das vantagens de uma abordagem contextual ou histórico-conceitual utilizada nas Físicas Básicas, pelo menos nas Físicas Básicas I, III e IV, o professor Olival Freire Júnior esclarece que não é a forma do currículo da Licenciatura, noturno, contemplando um projeto de quatro Físicas Básicas, nas quais está garantido um espaço para adoção de uma abordagem contextual, que é o essencial. Para ele, o essencial é que seja garantida a presença de uma abordagem contextual na formação do Licenciado em Física. Ele relaciona como vantagens da abordagem contextual o fato de que esta motiva mais os alunos, situa os alunos num horizonte cultural mais vasto e ajuda a compreender melhor certos conceitos que o ensino tradicional torna mais opacos. Além de defender enfaticamente a abordagem contextual, o professor Olival afirma que é também necessário acelerar o contato dos alunos, os futuros licenciados, com a Física do século XX, algo que só temos a ganhar, porque isto atrai o aluno, prende o aluno. Finalmente, ao comentar a recente reformulação curricular aprovada pelo Instituto de Física, na qual as Físicas Básicas (agora denominadas Conceitos de Física *A*, *B*, *C* e *D,* tendo apenas a *D* como optativa) foram incorporadas ao currículo do curso diurno, além de permanecerem no curso noturno, o professor Olival Freire diz que, em princípio, considera tal reformulação positiva, aparentemente positiva, e esclarece:

> Mas por que eu estou dizendo em princípio e aparentemente? É que da minha experiência e da minha vivência na universidade, muitas vezes são poucas as disciplinas que a ementa e a bibliografia dizem o que é. Boa parte [...] são disciplinas que vão depender sempre do que é que vai ser ensinado. Então, eu acho que pode ser positiva, dependendo do que vai ser ensinado, quem vai ensinar e de maneira muito clara, se for ... se debaixo de Conceitos de Física tiver abordagem contextual, eu acho ótimo e excelente. Se for outra coisa, não sei, vamos ver. É uma nova

> experiência, porque pode ser outra coisa, pode ser alguém que vá, por exemplo, trabalhar só com computadores, com simulações, hipoteticamente é outra, não quer dizer que seja negativa, eu quero dizer que é outra experiência.

5.3.1.3 A repercussão das Físicas Básicas na disciplina Metodologia e Prática do Ensino de Física I e II

Ao falar sobre o papel que as Físicas Básicas têm desempenhado na formação dos licenciados, à luz de sua experiência como professora de Metodologia e Prática de Ensino de Física, a professora Maria Cristina Penido diz que os estagiários que vêm do curso noturno têm uma "sensibilidade mais aguçada" para os aspectos históricos da ciência, mas sente neles certa fragilidade decorrente, às vezes, do pouco tempo que tiveram para aprender. De acordo com a professora Cristina, é possível perceber que o aluno do curso noturno tem o discurso de que "precisa estudar muito para entender tudo aquilo", que está sensibilizado, que "está com interesse em desenvolver principalmente um pouco mais do que é a história, ler, estudar", mas acha que tem um problema que eles enfrentam que é o de como fazer isso. Ela acredita que este problema decorre do fato de apenas duas Físicas Básicas serem obrigatórias e reafirma sua posição de que todas elas deveriam ser obrigatórias e ter, inclusive, carga horária maior, de 102 horas semestrais cada uma, pois, assim, os alunos poderiam ter mais subsídios para se desenvolver. Ao comentar a abordagem utilizada em Física Básica III e IV, na qual se procura articular experiências demonstrativas (não só qualitativas) com História da Ciência (História da Física) e recursos de matemática nas discussões dos conceitos físicos, a professora Maria Cristina Penido esclarece que os estudantes que passam por Física Básica III e IV "vêm com uma bagagem melhor", porque, quando fazem estas disciplinas, que são optativas, eles passam mais tempo refletindo sobre seus conteúdos e começam desde cedo "a buscar melhor a sua qualificação". A professora Cristina Penido afirma que essa bagagem melhor é facilmente percebida na sala de aula da disciplina Metodologia, o que não é a mesma coisa do caso do estágio. Na aula de estágio, segundo ela, não se pode refletir tudo o que vem da graduação,

mas sim, tudo que sobra dessa graduação, e aí a complexidade dessa discussão é muito maior, porque ela se localiza em pessoas, na vivência de cada um, como cada um assimilou. Ela esclarece que não pode afirmar que eventuais deficiências sejam uma falha de determinada disciplina, mas sim uma falha global: um aluno apresenta falhas de um tipo e outro apresenta falhas de outro tipo.

A professora Cristina considera que, indiscutivelmente, a História e Filosofia da Ciência têm um papel a desempenhar na formação dos futuros licenciados, não só de Física como também de Química, Biologia e qualquer área científica, e que a História e Filosofia da Ciência são importantes também no ensino de nível médio. Ao finalizar suas considerações sobre o impacto que as Físicas Básicas, de modo geral, e as Física Básicas III e IV, em particular, produzem na formação dos alunos de Licenciatura, a professora Cristina Penido diz que poderia citar exemplos a favor e contra:

> Um exemplo a favor é que um estudante que vai para o estagio, no planejamento das aulas, ele procura colocar essas discussões que nós damos na aula antes. A gente percebe que isso ele não está tirando da cachola, ele tá refletindo o que ele viu. Além disso, ele diz explicitamente que ele viu dessa forma no curso dele e ele quer reproduzir, ou seja, ele, tipo assim, eu quero aprender com aquilo que eu fiz. Por que? Porque eu acho, aí é uma posição pessoal, eu acho que na hora que a gente reproduz, não é imitar igual a papagaio não, mas reproduz, refaz aquela experiência, constrói aquela experiência que ele vivenciou, ele constrói com os seus aparatos, mas ele vai além, o que o Vygotski chamaria de ... ele explora a zona de desenvolvimento proximal e aí ele cresce. Então eu vejo isso como uma coisa extremamente salutar.

Em seguida, dá o exemplo que considera negativo:

> Eu daria um exemplo de uma situação em que eu vejo que ela não é tão boa assim, ao contrário. Como ele tem pouco tempo, ele não sabe como fazer, ele não sabe como refletir aquilo, mas ele quer fazer aquilo de qualquer jeito, aí ele termina usando uma história linearizada, dizendo quem foi Galileu, dizendo quem foi Newton, quem foi Einstein, é, dando datas, coisas que estão nos livros didáticos, ou seja, ele acaba reproduzindo o que está no livro didático. E isso eu diria que é um problema, porque os estudantes lá do ensino médio quando veem aquela coisa formatada desse jeito, eles se ressentem e aí eles não querem. Pra que ele quer saber quando foi que nasceu Newton, ou se Newton trabalhou sozinho, ou o que ele viu quando olhou pelo telescópio? Pra ele, é preciso que aquilo tenha interesse na prática.

A professora Cristina Penido fala também ser possível identificar diferenças de formação nos alunos das Licenciaturas, noturno e diurno em razão de os últimos não terem visto os aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais discutidos nas Físicas Básicas. Ela afirma que os alunos da Licenciatura, diurno sentem a diferença e reclamam:

> Os alunos de Licenciatura, principalmente os mais interessados na Licenciatura, eles reclamam que não viram, que no curso deles não tem nada que use, alerte sobre isso, não sabem onde estudar, não sabem onde ler isso pra se informar, eles se ressentem muito, muito mesmo.

5.3.2 Física Básica III e IV: relatos e opiniões avaliativas dos discentes

Neste tópico, serão descritas, em síntese, as opiniões de alguns ex-alunos de Física Básica III e Física Básica IV sobre o impacto dessas disciplinas nos seus estudos acadêmicos. Foram entrevistados nove ex-alunos da Licenciatura, noturno, escolhidos de forma a estarem distribuídos nos mais variados anos (12 anos) em que estas disciplinas foram oferecidas (no mínimo uma delas), o que resultou em alunos que cursaram pelo menos uma destas disciplinas em pelo menos um dos anos seguintes: 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011. ([58]) Das nove entrevistas realizadas, serão destacadas inicialmente duas delas, uma com avaliação favorável e outra com ponderações críticas importantes a respeito do oferecimento dessas disciplinas. Em seguida, serão apresentadas as opiniões dos demais ex-alunos, na ordem cronológica em que os mesmos cursaram pelo menos uma delas.

[58] Desses nove ex-alunos, dois são licenciandos e sete são licenciados (quatro deles são estudantes de pós-graduação). Dos nove entrevistados, quatro ensinam atualmente na rede particular, três na rede pública e dois não atuam em nenhuma dessas redes. Além disso, dos nove entrevistados, sete ensinavam enquanto cursavam pelo menos uma dessas disciplinas e dois não tinham experiência com ensino. Finalmente, quatro fizeram o curso médio em escolas particulares e cinco em escolas públicas.

Daniel de Sento Sé

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2004, licenciou-se no primeiro semestre de 2011, tendo cursado as disciplinas Física Básica III e IV nos semestres 2009.1 e 2008.2, respectivamente. Fez o curso de nível médio em escolas particulares, onde pelo menos dois dos professores de Física eram licenciados e havia laboratórios didáticos de Física, de Química e de Biologia. Ministrava aulas em escola particular de nível médio no mesmo período em que cursou as disciplinas Física Básica III e Física Básica IV, e hoje é professor da rede particular de ensino, em Salvador. Estudou dois anos de jornalismo, no Rio de Janeiro, antes de ingressar no Curso de Física, Licenciatura, noturno, da UFBA. Quando indagado sobre a avaliação que fazia da inclusão das Físicas Básicas no Curso de Licenciatura em Física, noturno, que tinham o objetivo de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando condições para um estudo contextualizado dos assuntos, ele afirma, em entrevista gravada em 29 de novembro de 2012 ([59]), que estas disciplinas foram fundamentais para a sua formação: “Sem medo de errar, fundamentais. Não seria o mesmo professor que eu sou hoje, se eu não tivesse passado por essas disciplinas”. Ele completa esta afirmação esclarecendo o que considerou importante nas mesmas:

> A curiosidade, ser instigado no aluno os pontos de discussão a serem levantados, a contextualização histórica, sair do tradicionalismo físico e matemático, que em geral as Físicas Gerais e Experimentais abordam. Então tem a matemática, tem, mas aborda de uma forma como o senhor mesmo falou, professor, de forma mais fenomenológica, histórica e contextualizada, e isso, com certeza absoluta, dá um respaldo grande a qualquer estudante e futuro profissional, porque a gente cria um vínculo, se situa no momento histórico da construção social, da cultura, entende a Física enquanto cultura. E todo esse processo que a gente passa a discutir e entender durante essas disciplinas, forma um profissional com uma bagagem maior, eu acredito. Então a gente não vai pra aula para simplesmente discutir fórmula, a gente vai pra discutir história, pra discutir fenômeno, pra discutir o lado humano da ciência, porque é o que de fato também interessa. A parte matemática é importante, mas não é

[59] SÉ, Daniel de S., Entrevista concedida em 29 de novembro de 2012 e transcrita no Anexo 1.E.

> só aquilo, se fosse pra discutir só fórmulas, a gente fazia um curso de matemática.

Falando especificamente sobre a disciplina Física Básica III, isto é, sobre como avaliava a abordagem utilizada pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina, Sento Sé declara que tal abordagem foi “excelente”, afirmando que o professor trabalhou de forma “extremamente interessante” os seus conceitos e conteúdos, dentro do contexto filosófico, fenomenológico e histórico. Ressalta que a contextualização histórica e os experimentos trabalhados em sala de aula foram os aspectos que lhe chamaram mais atenção no curso de Física Básica III e esclarece que desde que fez Física Básica IV (que cursou antes de Física Básica III), a parte histórica muito lhe despertou a curiosidade. Convidado, em seguida, a avaliar a abordagem utilizada pelo professor no curso de Física Básica IV, ele afirma:

> Se me permitir, excelente. Acho que foi a melhor das Físicas Básicas que fiz. Todas foram importantes, fundamentais, mas a Física Básica IV, por se tratar de problemas de natureza curiosa, que discutem questões da natureza da luz, as discussões dos fenômenos ópticos e ondulatórios, eu acho que foi excelente, não poderia ser melhor.

Ele diz que também em Física Básica IV os aspectos históricos e fenomenológicos foram os que lhe chamaram mais atenção:

> [...] a questão da discussão histórica, da discussão filosófica, fenomenológica, experimental, porque é fundamental você colocar a mão na massa e o laboratório, mesmo com todas as dificuldades que a gente entende que a Universidade Federal tem, conseguiu ser essencial na formação desse conteúdo para os estudantes que fizeram Física Básica IV, porque visualizar fenômenos ópticos às vezes é mais complicado do que visualizar outros tipos de fenômenos. Então eu acho que, nesse aspecto, é o que eu disse na Física Básica III, com reforço,.

Com relação ao assunto ou assuntos de Física Básica IV que lhe despertou ou despertaram mais interesse, ele é direto: “A natureza da luz, discutir a natureza da luz”. Sento Sé fala ainda sobre o motivo que o levou a se matricular em Física Básica III e Física Básica IV, disciplinas que são optativas para o Curso de Física, Licenciatura, noturno:

> Bom, a primeira disciplina que eu fiz foi mesmo em cumprir a carga horária, em caráter de cumprir carga horária optativa e pela fala dos colegas que já tinham feito, uma disciplina que eu tinha certeza que iria me acrescentar conteúdo e solucionar dúvidas, ou seja, me dar uma bagagem teórica que com certeza ia me ser útil como acabou sendo de fato.

Ele considera que as disciplinas Física Básica III e IV devem ser obrigatórias para alunos de licenciatura e acha que fazer uma graduação em Licenciatura de Física sem passar por disciplinas como Física Básica III e Física Básica IV "é um erro talvez irreparável". Não porque o conteúdo não possa ser visto depois, "mas porque aquela vivência, aquelas discussões com certeza não vão aparecer em outro lugar, em outro momento".

À luz de sua experiência como aluno, acredita que essas disciplinas não necessitam sofrer qualquer modificação significativa do ponto de vista estrutural, pois acha que "elas estão bem aparadas, bem estruturadas", sendo necessário, entretanto, que haja recursos e condições "para que o professor da disciplina tenha a possibilidade de ter bons laboratórios ...". Sobre o impacto que os cursos de Física Básica III e IV tiveram nos seus estudos posteriores completa:

> Foram fundamentais, novamente, porque me estimularam, como falei aqui, a entender a Física como construção humana, a entender a Física como construção cultural, a entender que são pessoas de carne e osso que fazem a ciência, e levar isso para os alunos. [...] foi um estímulo, foi o estopim, o primeiro momento para a partir de então eu me interessar nessa área de estudo e continuar me debruçando sobre. E aí, depois disso, dificilmente a gente para de ler sobre historia da ciência, dificilmente a gente para de tentar buscar uma forma experimental para passar em sala de aula para os alunos, alguma coisa de fenômenos que você está discutindo, pro cara vê e, no final das contas, acabou criando sustentação para o profissional que eu sou hoje.

O entrevistado atribui a grande carência de professores de Física para ensinar nas escolas de nível médio não a um fator, mas a vários fatores, tais como a desvalorização da profissão, a dificuldade que a categoria enfrenta com todos os problemas diários e de ordem estrutural, e também a um outro fator que surge quando

o estudante entra na Universidade que é a falta de estímulo: “até um olhar meio desviado de um colega que fala: ´pô você quer tá aqui pra ser professor?`

Maroívo Pereira Caldeira

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2004, e licenciou-se no segundo semestre de 2009, tendo cursado Física Básica III e IV nos semestres 2006.1 e 2006.2. Realizou seus estudos de nível médio em escola pública estadual, onde um dos professores de Física era licenciado e não havia laboratório didático de Física. Ensinava em escola particular de nível médio no período em que cursou a graduação. Após completar o curso de Licenciatura, obteve o grau de Bacharel em Física, sendo hoje professor da rede estadual de ensino e estudante de mestrado. Ao expressar sua opinião sobre a inclusão das Físicas Básicas no Curso de Física, Licenciatura, noturno, que tinham o objetivo de ser um espaço para o estudo contextualizado da Física, afirma, em entrevista gravada, concedida em 18 de outubro de 2012 ([60]), que a proposta é bastante válida, mas ressaltou que os cursos ministrados através dessas disciplinas poderão ser totalmente inúteis se a ideia das mesmas não for bem compreendida pelos professores que as ministram:

> Eu acho isso extremamente proveitoso, desde que a disciplina seja bem dada pelo professor. No meu caso mesmo, eu me considero um cara bastante sortudo, porque eu peguei professores que entenderam bem essa situação, eles souberam trabalhar bastante com isso. Mas, eu fiquei sabendo de colegas por aí, que não tiveram a mesma sorte que eu não, claro que não vou citar nomes, mas eu fiquei sabendo que, às vezes, o cara passa batido nessas disciplinas. Pra ele é totalmente inútil, não foi o meu caso.

Para ele, essas disciplinas foram importantes na sua formação, porque “foi a partir delas que eu entendi o conceito mesmo da Física, não só a matematização”. No

[60] CALDEIRA, Maroívo P., Entrevista realizada em 18 de outubro de 2012 e transcrita no Anexo 1.F.

que diz respeito especificamente à disciplina Física Básica III, ou melhor, à abordagem utilizada pelo professor (semestre 2006.1), ele afirma:

> Eu acho que ela foi uma das melhores básicas que eu tive, também peguei com um grande professor, que como eu havia falado antes, ele entendeu o espírito dessa disciplina básica, e ele fez um trabalho legal, então acho que foi muito boa, muito boa mesmo. Tanto que logo no semestre seguinte vem a Física Geral III. [...] E na Geral III o professor não discutia essa parte teórica, essa parte conceitual, ele fazia mais conta mesmo. E o pessoal que não tinha essa disciplina, o pessoal penava mais.

Declara que os aspectos conceitual e histórico foram os que lhe chamaram mais atenção na disciplina Física Básica III: “Isso aí eu acho que foi vital.”

No caso da disciplina Física Básica IV, Maroívo avalia que a abordagem utilizada pelo professor (semestre 2006.2) na apresentação dos assuntos de Óptica e Física Moderna, também foi boa: “A mesma história, eu fui um cara sortudo, inclusive a IV foi até com o senhor, então, o senhor sabe muito bem. Então, eu fui um cara sortudo, coisa que não acontece com todo mundo”. Ele declara que gostava dos experimentos realizados em laboratório, mas não sabe se isto é próprio da disciplina ou se é devido ao professor que a está ministrando. Ao falar sobre os assuntos de Física Básica IV que lhe despertaram mais interesse, declara:

> A parte de Física Moderna, que é uma parte também que a gente não discute muito na Física Geral IV, a gente vai discutir lá no finalzinho de Estrutura da Matéria I. Pra quem faz Licenciatura, esse é o único contato, na verdade, que a gente tem, e essa Física Básica IV, ela não deixa ficar aquele espaço muito grande entre a Física Geral IV e a Estrutura da Matéria. E ela é mais outro contato que o pessoal da Licenciatura tem com essa Física Moderna, Introdução à Quântica, Relatividade, que é uma coisa que eu também acho que o pessoal da Licenciatura deveria ter, uma Física Moderna, uma disciplina voltada para a Física Moderna mesmo. Estudar Teoria Cinética, estudar Mecânica Estatística, notação covariante, coisas mais modernas mesmo ... a Física que a gente estuda até a III é de duzentos anos atrás. Então o professor sai daqui com essa falha aí de duzentos anos. E tem no máximo noções de Quântica, que é a Quântica de cento e cinquenta anos atrás, de cem anos atrás e noções de Relatividade. De lá pra cá, o cara aprende a ler no *Scientific American*, Superinteressante...

Ao ser indagado se considera que Física Básica III e IV estão cumprindo as funções para as quais foram criadas, ele reafirma sua posição de que “depende muito do professor que está oferecendo a disciplina”. Declara ainda que o motivo que o levou a se matricular em disciplinas optativas como Física Básica III e IV foi a boa experiência que teve em Física Básica I e II. Foi “a experiência da I e da II, ... (risos)... aí não tem outra mesmo”. Considera que estas disciplinas deveriam ser obrigatórias, esclarecendo que sua crítica, quando a faz, não é quanto à disciplina e sim quanto ao professor da disciplina, dizendo não saber se é por falta de preparação ou má vontade, “mas alguns conseguem dar essa disciplina muito bem, as quatro, outros não conseguem fazer tal coisa”.

Ao comentar sobre as causas da grande carência de professores no ensino de nível médio, ele diz não ter dúvida que o fator financeiro é o maior responsável pela grande carência de professores de Física nas escolas de nível médio e que “pode se formar um milhão de licenciados por semana e que se o cara não tiver uma boa renda, ele não vai ficar” e isto só vai acontecer se houver uma valorização da educação. “Os colegas que formaram comigo, uma boa parte está lá em Geofísica. Uma boa parte vai para Engenharia, porque lá oferece mais perspectivas financeiras mesmo, então isso aí eu não tenho dúvida nenhuma”.

Ao ser perguntado se gostaria de falar de algum assunto que não tivesse sido perguntado, ele declara:

> [...] Já que o senhor está propondo uma avaliação do nosso curso de Licenciatura em Física, uma coisa que eu acho que nós licenciandos ou licenciados em Física devemos saber muito bem é a parte computacional, que é isso que eu acho uma deficiência muito grande. Eu acho, na verdade, que não só na Licenciatura, mas em nosso Curso de Física a maior deficiência que nós temos é essa.

Ele esclarece que as disciplinas Processamento de Dados e Cálculo Numérico não são voltadas para alunos de Física e sim para alunos de Engenharia e defende a criação de uma disciplina “que trate exatamente de Física, de modelos físicos, como o pessoal lá em Geofísica tem”. [...] Então, quanto à Licenciatura, eu acho que o grande problema é esse”.

Fábio Luís Alves Pena

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 1999, e licenciou-se no segundo semestre de 2003. Cursou as disciplinas Física Básica III e IV nos semestres 2001.1 e 2001.2 respectivamente, não tendo ministrado aulas no período em que cursou a Licenciatura, noturno. Realizou seus estudos de nível médio em escola pública federal, onde os professores de Física eram licenciados e havia laboratório didático de Física. Hoje é professor da rede federal de ensino (ensino médio, técnico) e estudante de doutorado, tendo completado o mestrado em 2008. Em entrevista concedida em 23 de novembro de 2012 ([61]), ele não externa uma opinião sobre a proposta das Físicas Básicas em si, mas descreve como viu o desempenho de cada uma dessas disciplinas, quando as cursou nos anos 1999 (as duas primeiras) e 2001 (as duas últimas). Em suas palavras:

> Olha, dentro desses aspectos que você falou, a Física Básica I e a IV, quando eu fiz a I ... foi com o professor Olival e a IV foi com o Olival e com você. José Fernando entrava realmente nessas questões fenomenológicas, aspectos históricos, e foi bem interessante. Dá até pra se discutir em sala de aula algumas coisas, embasamento muito bom, serve pra o professor até aprofundar mais essas discussões. A Física Básica II, na época, foi Artur o professor, ele não chegou a entrar nos aspectos históricos ou discussões filosóficas em si, ou sei lá, visão sobre a natureza em si, era mais conceitual. Ele trabalhava os conceitos e não necessariamente seguia uma abordagem histórica, não seguiu essa abordagem histórica o professor Artur. Na Física III, foi boa, por um aspecto, Yukimi, que era a professora da época, não tinha essa característica, ela era mais uma física conceitual, fenomenológica, ou seja, como se fosse o ensino médio, um pouco mais aprofundado. E o lado bom da Física III foram os experimentos históricos. Tinha um professor, não lembro o nome dele agora, não sei se ele era professor, ou ele tinha ... acesso ao Museu [de Ciência e Tecnologia da UNEB] na época, eu acho que ele era Professor Substituto. Então ela fazia parte, ela discutia conceito, [era] mais conceitual na sala de aula e ele trazia a gente para o laboratório para discutir, mais ou menos como foi aquele experimento histórico. Trazia algumas coisas e trazia até como demonstração pra gente, de lá do Museu, algumas réplicas ou algo

[61] PENA, Fábio L. A., Entrevista concedida em 23 de novembro de 2012 e transcrita no Anexo 1.G.

> parecido com o que foi feito na época. Então esse lado aí foi muito bom, da parte experimental.

Falando especificamente sobre Física Básica III, Fábio Pena afirma que, dentre os assuntos estudados na disciplina, o que lhe despertou mais interesse foi o conceito de campo. Ele considera que, na época em que fez Física Básica III, esta disciplina não cumpriu a função para a qual foi criada, que era de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula:

> Não sei agora. Na minha época, dentro dessa parte que tem que ter abordagem histórica e filosófica, até pra me sentir motivado a estudar mais, a tentar até trabalhar isso em sala de aula, ou contribuir dessa forma, não. Eu tenho livros, eu leio o livro, o projeto Harvard, ou seja, eu tinha o meu conhecimento desse livro, discussões, mas o processo da construção, do fazer científico, nessa época que se começou o magnetismo, aquela parte de eletrostática, acho que ela não cumpriu o objetivo não.

No caso específico de Física Básica IV, ao falar sobre a abordagem utilizada pelo professor responsável por ministrar a parte de física moderna, ele afirma:

> [...] na época foi Olival. Ele usou uma tese, e na tese tinha algumas coisas ... não sei se era analogia, mas trazia algumas coisas da clássica e de como era na quântica. Então você tinha um experimento que acontecia ... classicamente e na mecânica quântica. A discussão dela na tese trazia todas essas coisas que davam a possibilidade de dizer algumas coisas de como ... inserir a física moderna, a física quântica no ensino médio. E Olival complementava isso com discussões mais históricas e filosóficas [...]. Mas o material não foi, por exemplo, textos históricos ou qualquer livro que pretendia fazer uma abordagem histórica. Foi uma tese e se discutia alguma coisa dessa tese em sala de aula com os alunos e ele chamava atenção de algumas coisas, mas não foi propriamente de pegar um livro ou levar textos com abordagem histórico-filosófica.

Ele completa dizendo que a parte da Física Básica IV que lhe despertou mais interesse foi a que tratou da física quântica em razão de seu curso de Física Geral e Experimental IV ter sido muito deficiente nesta matéria. Ele esclarece que, devido à inexperiência do professor, não teve a oportunidade de estudar física quântica e relatividade no curso de Física Geral e Experimental IV e isto deixou uma lacuna na sua

formação, uma lacuna que Física Básica IV ajudou muito a preencher. Ele acrescenta que, mesmo em Física Básica IV, não teve contato com a relatividade restrita, de modo que já estava no terceiro ano do Curso de Física e quase nada tinha visto de física moderna. “O que eu vi em Relatividade, o pouco que eu vi, de [relatividade] restrita, foi com a professora Jacira, em Complementos de Mecânica, mas era uma discussão mais conceitual e livros pra contas e fazer problemas ...”. Ele afirma ainda que foi a Física Básica I que o levou a se matricular em Física Básica III e IV:

> O que me levou a me matricular nessas disciplinas foi a Física Básica I. Nem tanto a II, porque a II não teve essa ideia, mas a gente teve acesso ao livro, que é o projeto Harvard, *O Triunfo da Mecânica*. Então, como a Física Básica I foi uma disciplina muito boa, a gente discutia outras coisas além daquela coisa mais tradicional, mais mecânica, de problemas, de equações, de cálculos e outras coisas mais, que aprofundavam um pouquinho mais a discussão e eu me interessei em também fazer as outras duas ... ”.

Fábio Pena é de opinião de que as Físicas Básicas III e IV devem ser obrigatórias, principalmente para os estudantes de Licenciatura, e devem ser obrigatórias também para os bacharéis, “que mais na frente vai ser, não tem jeito, vai sair da Universidade e vai ser professor também, vai dar aula ... acho que é fundamental para o professor”. Para Fábio Pena, o docente de cada uma dessas disciplinas deveria ser alguém que, “dentro da sua vida acadêmica estudou, pesquisou ou tem interesse em História e Filosofia da Ciência”, para que pudesse entrar nesses aspectos históricos e filosóficos. Ele considera que a carência de professores para ensinar nas escolas de nível médio se deve “a salário, condições de trabalho, número de alunos, desvalorização do professor, do trabalho do professor”, o que termina levando as pessoas, aquelas que se formam em Física, buscar outras áreas.

Alexnaldo Menezes de Castro Neves

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2000 e licenciou-se em 2006, sendo hoje professor da rede particular de ensino, em Salvador. Cursou as disciplinas Física Básica III e IV nos semestres 2003.1 e 2002.2, respectivamente. Realizou seus estudos de nível médio em escola pública, onde os professores eram licenciados e havia laboratórios didáticos de Física. Ministrava aulas em escola pública de nível médio no mesmo período em que cursou as disciplinas Física Básica III e IV. Quando indagado sobre a avaliação que fazia da inclusão das Físicas Básicas no Curso de Licenciatura em Física, noturno, que tinham objetivos de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais, respondeu afirmando, em entrevista gravada em 25 de fevereiro de 2013, ([62]), que "foi uma excelente ideia" e relembrou que, quando fez o ensino médio, a "Física era quase Matemática, nós desenvolvíamos o conceito, mas era muita conta pra fazer". Segundo ele, a única vez que o professor falou alguma coisa de História da Física em sala de aula foi quando contou "aquela historinha de Arquimedes saindo correndo nu". Ele esclarece porque considera a ideia excelente:

> [...] quando eu ingressei lá na Faculdade, essas matérias me deram uma visão histórica e filosófica principalmente da evolução das ideias de Física, de como as coisas nasceram e como elas foram evoluindo. Isso, para um professor, é fundamental, porque ajuda a tornar a matéria sedutora para os alunos. O aluno vê a Física como uma construção humana, que teve erros, que teve acertos, que teve brigas, que teve, inclusive, influência política, tudo isso, porque a Física é uma construção humana e sofreu tudo isso, e isso é interessante. Quando a gente leva para a sala de aula, existem até aqueles alunos que têm um certo pavor de Matemática, mas, quando a gente aborda esses conteúdos da Física, eles prestam atenção, eles perguntam, porque isso torna a Física mais interessante. As Físicas Gerais e Experimentais, elas fazem a parte mais dura do conteúdo, vamos dizer assim, a parte do laboratório e a parte das contas; do domínio conceitual e das contas. Isso é fundamental também, mas a parte da Física Básica, ela também é fundamental, porque ela alimenta o professor de todo o conteúdo filosófico, e eu trouxe isso para a escola.

[62]NEVES, Alexnaldo M. de C., Entrevista realizada em 25 de fevereiro de 2013 e transcrita no Anexo 1.H.

Alexnaldo Neves afirma ainda que, na escola de nível médio em que leciona, as aulas de Física têm uma forte carga de História e Filosofia e isto tem dado um bom resultado. Muita atenção tem sido dada aos conceitos fundamentais da mecânica, a exemplo do conceito de inércia, que os livros didáticos expõem em uma única página, mas que, na escola que ensina, “os alunos estudam inércia por uma nota de aula que tem quinze páginas”. Ele considera que esta estratégia de enfatizar o entendimento do conceito, “inclusive o desenvolvimento filosófico do conceito”, tem dado bons resultados e agradece a essas disciplinas “que abriram esse lado da minha mente ....”. Ele afirma que as Físicas Básicas foram importante para a sua formação, pois “a abordagem filosófica e histórica ... é fundamental no ensino”.

No que diz respeito especificamente a Física Básica III, ele avalia que a abordagem utilizada pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina foi interessante.

> “Foi interessante, porque, inclusive, se a gente for procurar estudar por fontes diversas, a história da eletricidade, o desenvolvimento histórico das ideias da eletricidade não é uma coisa muito comum. A gente acha mais fácil de mecânica, mas estudar o desenvolvimento filosófico das ideias da eletricidade, a gente não encontra isso em livrarias tão facilmente. Então foi muito material usado nessa época e eu tenho o material até hoje, tudo guardado, porque é material difícil de encontrar. Eu lembro que a gente estudou por coleções antigas, *Projeto Harvard* etc. Então isso aí não é uma coisa fácil de encontrar em livraria hoje em dia. Foi um suporte interessante.

Ao falar sobre o que mais lhe despertou a atenção no curso de Física Básica III, ele declara:

> “foi a parte do desenvolvimento filosófico de ideias básicas como, por exemplo, campo elétrico, que é uma coisa complexa de se entender, de passar para os alunos. Esse conceito de carga elétrica, como foram desenvolvidos os primeiros conceitos, as dificuldades a nível de laboratório, os empecilhos tecnológicos da época, então isso tudo foi muito interessante”.

Alexnaldo Neves considera que Física Básica III está cumprindo a função para a qual foi criada e, quanto a Física Básica IV, ele lembra que “óptica foi estudada em profundidade”, mas não recorda de ter visto física moderna em Física Básica IV. Afirma

que foi levado a se matricular em Física Básica III e IV, em razão de ter cursado Física Básica I, “porque eu vi que as outras deveriam seguir o mesmo modelo”. Ele considera que ter Física Básica III e IV como optativas é um erro, “elas têm que ser obrigatórias”. De acordo com Alexnaldo Neves, “é fundamental para o professor pegar essas matérias antes de pegar as Gerais e Experimentais, ou então em paralelo, mas tem que pegar”. Alexnaldo Neves atribui a grande carência de professores de Física para ensinar em escolas de nível médio ao fato de que a profissão está em baixa: “quando os alunos são fãs dessas matérias, eles querem ser engenheiros ou médicos, mas professor, ninguém deseja. A profissão está extremamente em baixa, no Brasil, e vamos ver aonde isso vai terminar”.

Alessandro Silva de Barros

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2004, licenciou-se no primeiro semestre de 2009, tendo cursado Física Básica III e IV nos semestres 2005.2 e 2006.1, respectivamente. Realizou os estudos de nível médio em escolas particulares, onde os professores de Física eram Licenciados e não havia laboratórios didáticos de Física (“Existia um laboratório muito ruinzinho, de ciências, mais biologia, corpo humano, ...”). Ministrava aula em escola de nível médio no mesmo período em que cursou a Licenciatura noturna. Após concluir a Licenciatura, obteve o grau de Bacharel em Física, sendo hoje aluno de mestrado, vinculado à área de bioestatística. Quando perguntado sobre a avaliação que fazia da inclusão das Físicas Básicas no Curso de Licenciatura em Física, noturno, ele afirma, em entrevista concedida em 16 de outubro de 2012 ([63]), que estas disciplinas se constituem num diferencial do curso noturno em relação ao diurno:

> Na minha opinião, o grande diferencial do curso noturno pro diurno são essas quatro disciplinas básicas. Primeiro que a Física é apresentada de uma maneira diferente, só o fato de você conseguir voltar ao tempo,

[63] BARROS, Alessandro S. de, Entrevista concedida em 16 de outubro de 2012 e transcrita no Anexo 1.I.

> entender como os pensadores da época pensavam, entender o momento histórico que eles viviam, o contexto no qual eles viviam, em que eles acreditavam, entender como aquelas ideias foram evoluindo, isso eu acho muito bacana, foi uma das partes que eu mais gostei.

Ao se referir à importância das Físicas Básicas na sua formação acadêmica, ele afirma:

> [...] eu acho que graça a ela, eu costumo dizer hoje em dia que Física, antigamente eu falava que Física era só Matemática, só fórmula. Hoje eu costumo dizer que Física, além da Matemática, tem uma parte histórica que precisa ser abordada, tem uma parte conceitual que é importante também, então, a evolução das ideias também é importante além da Física-Matemática. Então, antes de ter o conhecimento das Físicas Básicas eu acreditava que Física era só Matemática, além da experimental.

Alessandro de Barros avalia que a abordagem adotada em sala de aula simultaneamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual na apresentação dos assuntos estudados, inicialmente causa estranheza, porque geralmente estamos acostumados a outra metodologia, "mas depois que a gente acostuma e entende como é o espírito da disciplina, a gente gosta e dificilmente quem faz elas eu acredito ... que não consiga fazer diferente, acaba utilizando da mesma metodologia". Um aspecto que lhe chamou atenção nas Físicas Básicas foi que

> As aulas não tinham respostas prontas, as respostas partiam mais dos alunos, geralmente o professor faz a pergunta e ele mesmo responde. O que eu achava interessante da disciplina é que as perguntas surgiam e a gente olhava, observava os experimentos, discutia como os colegas até mesmo com o professor, a gente mesmo formava a resposta, o professor orientava, guiava, mas as respostas partiam mais dos alunos do que do professor.

Ele considera que essas disciplinas estão cumprindo a função para a qual foram criadas, que é a de contextualizar os assuntos, mas declara que "A Física Básica II foi a física que mais distorceu a ideia inicial do programa ... acabou sendo um pouquinho mais matemática, mais fórmula do que contextualizado, histórico". Ao se manifestar especificamente sobre a disciplina Física Básica III, isto é, sobre a abordagem utilizada em sala de aula na apresentação dos assuntos do eletromagnetismo, ele declara que gostou muito, principalmente quando foi apresentado ao livro do Grupo de

Reelaboração do Ensino de Física – GREF. Afirma que gostou de ter contato com motores elétricos, fenômenos elétricos, de presenciar, de fazer, e completa dizendo que o livro do GREF mostrou-lhe uma maneira nova de apresentar o assunto de eletricidade. De acordo com Alessandro de Barros, o bom de Física Básica III é que o aluno consegue relacionar esta disciplina com a Física Geral e Experimental III, até mesmo com o laboratório. Quanto a Física Básica IV, ele diz se lembrar de alguns assuntos estudados em sala de aula:

> Eu lembro de uma aula de espelho, eu quase fiquei maluco ... lado direito, lado esquerdo...(risos)... diversão. Como, por exemplo, em Física IV, outro mito que eu quebrei, na época, era a mistura de cores, principalmente de luz, era estudado no livro quando fui fazer na parte experimental eu vi que não acontecia bem aquilo, aquilo marcou bastante, quebrou bem um dogma que eu tinha ...

Alessandro de Barros considera que Física Básica IV tem “bastante coisa”, mais que Física Básica III, e se lembra de ter estudado reflexão, refração, cores, polarização etc., mas não conseguiu se lembrar de ter estudado tópicos de física moderna nessa disciplina. Ele afirma que se matriculou em Física Básica III e IV “inicialmente porque queria eliminar duas disciplinas do Bacharelado”, do diurno, mas durante o curso viu nisso uma vantagem, porque lhe deu uma outra maneira de olhar a Física, de ver outros conteúdos, principalmente em Física Básica III e IV. Alessandro de Barros considera que essas disciplinas devem passar a ser obrigatórias e que as Físicas Básicas I, II, III e IV devem ser oferecidas também para os alunos do Bacharelado. Considera interessante o fato da Física Básica I vir primeiro do que a Física Geral e Experimental I, pois, dessa forma, o aluno já não chega tão “verde” nesta última”. Acha que isto é importante, que deve ser mantido e vai mais adiante ao afirmar que é necessário igualar os currículos dos cursos diurno e noturno: “na verdade tem que igualar isso, e se igualar, tem que ser igual a do noturno, ... eu acho que o cronograma do noturno é muito melhor do que o do diurno”. De acordo com Alexandro de Barros, os alunos formados pelo Instituto de Física não estão indo para a sala de aula, principalmente para rede estadual, em razão da remuneração que é muito baixa.

Ioná Almeida de Brito

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2006, e licenciou-se no ano de 2010, tendo feito as disciplinas Física Básica III e IV nos semestres 2007.1 e 2011.2, respectivamente. Cursou o nível médio em escola pública (curso técnico de Geologia, na Escola Técnica Federal da Bahia), onde havia laboratório didático de Física ("era bem simples, mas existia"). É também formada em Psicologia, mas não trabalha nesta área nem na de educação. Trabalhava em uma empresa estatal no mesmo período em que cursou a Licenciatura, noturno. Em entrevista gravada em 25 de outubro de 2012 ([64]), quando indagada sobre a avaliação que fazia da inclusão das Físicas Básicas no Curso de Licenciatura em Física, noturno, que tinham objetivos de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado dos assuntos, considera que tais disciplinas são fundamentais, que são importantes, mas tende a acreditar que a necessidade dessas disciplinas existe muito por conta "de uma deficiência da Física Geral e Experimental":

> Essa é uma pergunta chave! Eu acho que elas são fundamentais, acho que são muito importantes. Agora, como eu falei antes, a necessidade dessas disciplinas ..., não sei se estou falando corretamente, mas a impressão que eu tenho é que a necessidade dessas disciplinas veio de uma deficiência da própria Física Geral Experimental, da maneira como ela é colocada. Eu acho que são disciplinas muito deficientes que existe uma falta de entrosamento da parte prática e da parte teórica. Os laboratórios são mal desenvolvidos por culpa dos alunos e dos professores, eu acho também, ou da própria maneira como a disciplina é estruturada! Então não tem espaço para você discutir muita teoria, não tem espaço para você discutir a teoria do experimento, o que está por trás daquele experimento, no fundo daquilo, e a história da ciência que também está envolvida no experimento, na teoria, isso tudo eu acho que as Físicas Básicas vêm suprir! Vêm suprir esse aprofundamento nas discussões, na história da ciência, na teoria que está por trás daquele experimento, daquela descoberta, daquele cientista. Então as Físicas Básicas, se o papel é esse, elas cumprem bem. Não sei, as Físicas Gerais Experimentais poderiam, se fossem reformuladas, suprir isso. Entendeu? Não sei, esta é uma questão, mas que elas precisam ser reformuladas, precisam. Eu acho.

[64] BRITO, Ioná A. de, Entrevista realizada em 25 de outubro de 2012 e transcrita no Anexo 1.J.

Ao falar da importância dessas quatro Físicas Básicas na sua formação acadêmica, declara:

> A Física Básica I me fez, de cara, despertar para a História da Ciência! E eu tinha uma certa curiosidade, mas eu nunca tinha mergulhado como eu passei a mergulhar depois dessa disciplina, então a primeira grande importância é essa, eu acho. E as outras assim ... é uma questão de aprofundamento mesmo, da discussão, do detalhe, de você tirar dúvida, coisas que ficaram mal esclarecidas nas Físicas Gerais Experimentais, entendeu, de você realmente se aprofundar nos temas.

Considerando especificamente a Física Básica III, que é uma disciplina proposta para ser cursada antes de Física Geral e Experimental III e que, no seu caso, foi cursada antes, ela avalia que a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina é muito interessante, porque instiga o aluno a pensar e a questionar sobre os dogmas que estão acostumados a ouvir, o que é importante também para a formação do professor:

> Já tem uns dois ou três anos que fiz essa disciplina! Mas eu acho um método muito interessante, porque instiga o aluno a pensar mesmo e a se questionar sobre alguns dogmas que a gente ouve como ... que chegam pra gente muito prontos, as verdades, verdades entre aspas, da Física, da ciência de uma maneira geral, que chegam pra gente como prontos e nessa disciplina, a maneira como o professor coloca, usa os temas, faz o aluno pensar muito sobre essas coisas que ele ouviu, será que é isso mesmo, será que não é, ou seja, desperta no aluno uma curiosidade científica, com questionamento! Vamos fazer experimentos pra vê se é isso mesmo, vamos vê se é isso mesmo, será que é isso mesmo. Então isso é importante, até para o professor, pra formação do professor também.

Ioná de Brito declara que não lembra, não consegue destacar um assunto específico estudado nesta disciplina, mas considera que a mesma está cumprindo a função para a qual foi criada que é a de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula.

Falando, em seguida, sobre Física Básica IV, ela afirmou que sua opinião sobre a abordagem utilizada pelo professor, nesta disciplina, é semelhante àquela que apresentou para Física Básica III:

> Eu penso basicamente a mesma coisa que eu penso em Física Básica III, o mesmo professor e o método bem parecido, assim ... de estar o tempo todo questionando mesmo, fazendo o aluno pensar aquilo que ele já havia ouvido antes, mas que nunca tinha se aprofundado e tinha pensado antes sobre isso. Eu só tenho uma questão sobre essas duas disciplinas, que vou voltar de novo àquela história da Física Geral Experimental. Talvez se a Física Geral Experimental tivesse um laboratório mais eficiente, que o aluno realmente aprendesse com o laboratório da física, talvez a parte prática dessas duas físicas pudesse ser, não substituída, porque eu acho ela fundamental, mas ela pudesse ser menos detalhada, que tivesse um tempo menor dentro do conteúdo da disciplina do que a teoria, ou seja, a teoria ... do questionamento, da investigação, do debate em torno de algumas questões ...talvez devesse ter um espaço maior do que na parte pratica hoje. Entendeu? Eu não sei se deveria, mas é uma questão também.

No que diz respeito aos assuntos de Física Básica IV lhe despertaram mais interesse, ela diz se lembrar da parte relativa à Física Moderna:

> [...] aquelas discussões sobre o iniciozinho sobre Mecânica Quântica, Planck, Einstein, sempre gostei dessa parte, tem discussões muito interessantes, sobre aqueles experimentos também dessa época que a gente discutiu muito sobre isso, é muito, muito interessante.

Ela considera que as disciplinas Física Básica III e Física Básica IV estão cumprindo a função para a qual foram criadas que é a de contextualizar os assuntos estudados, articulando experimentos com história da Física, matemática e conceitos, dizendo que se matriculou em Física Básica III, uma disciplina optativa, porque queria aprender mais sobre eletromagnetismo, porque achou deficiente o curso de Física Geral Experimental, um curso que tinha feito antes de se matricular em Física Básica III:

> Já tinha feito Física Geral Experimental III, tinha muitas dúvidas, sempre tive problema com eletromagnetismo, então eu queria mesmo poder aprender mais. Já tinha ouvido falar bem da disciplina, do professor, então, fiz com essa intenção mesmo. Física Básica IV ... eu não me matriculei, eu comecei a assistir como ouvinte, porque eu sabia que não iria precisar para me formar em Licenciatura, estava com o quadro de

> optativas já feito, cumprido, sabia que não iria precisar para me formar, então assisti como ouvinte, a principio, e acabou que eu não consegui concluir, fui só até a metade. Depois eu me matriculei novamente. Aí já foi com a intenção de cumprir a carga horária pra poder aproveitar para o Bacharelado que eu sabia que eu precisava para ser dispensada da Física Geral Experimental IV, do Bacharelado. Eu precisaria complementar com Física Básica IV, da Licenciatura, então eu me matriculei, por isso e acabei concluindo.

Ioná de Brito considera que as Físicas Básicas III e IV devem se tornar obrigatórias pela importância que têm na formação dos alunos, “por tudo que eu já falei e também pelas deficiências das Físicas Gerais Experimentais III e IV”. Ela declara que nunca ensinou, mas acredita ser muito difícil lidar com a realidade das escolas, tendo que lidar com alunos que não têm base, que têm muito pouco conhecimento, tendo o professor de ficar dando coisas básicas que “eles já deveriam saber desde o primário e muitos não sabem”. Sem falar nos baixos salários e no pouco respeito à figura do professor, muito diferente do que era no passado. Acredita que “por isso muita gente desiste e vai fazer outra coisa”, mas considera a profissão importantíssima.

Ao finalizar, Ioná de Brito afirma considerar as Físicas Básicas importantes não só para a Licenciatura como também para o Bacharelado: “[...] não é só o Licenciado em Física que precisa ter essa base, essa contextualização, esse conhecimento da Historia da Ciência, o questionamento em cima dessas coisas, dessas ideias”. Para ela, ou se melhora as Físicas Gerais e Experimentais, do Bacharelado, para que estas supram esse conteúdo das Físicas Básicas, ou então se incorpora estas disciplinas ao curso de Bacharelado.

Cleber de Souza Silva

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2007, licenciou-se no segundo semestre de 2010, tendo cursado Física Básica III e IV nos semestres 2008.1 e 2010.2, respectivamente. Realizou seus estudos de nível médio em escola particular, onde o professor de Física não era licenciado e não havia laboratório didático

de Física. Ministrava aulas em escola de nível médio no mesmo período em que cursou a graduação em Física. Hoje é professor da rede estadual de ensino e estudante de mestrado. Ao expressar sua visão sobre a inclusão das Físicas Básicas no Curso de Física, Licenciatura, noturno, que tinham o objetivo de promover o estudo contextualizado da física introdutória, assim se expressou, em entrevista concedida em 30 de outubro de 2012 ([65]):

> [...] primeiramente, eu acho que essas quatro disciplinas, as disciplinas quando eu fiz, as Físicas Básica I, II, III e IV, elas alcançaram o objetivo de aprofundar na discussão conceitual das teorias Físicas, articulando também a questão histórica, cumpriu seu objetivo. E também ela cumpre um objetivo, que eu diria que é um objetivo implícito, que aí eu trago, enquanto professor, que seria a forma de se falar sobre Física, de se refletir sobre a Física, certo?

Para esclarecer o que quer dizer com “a forma de se falar sobre Física”, ele compara as Físicas Básicas com as Físicas Gerais e Experimentais:

> Por exemplo, na minha leitura, os cursos de Física Geral, você não consegue tá pensando a respeito dos próprios fenômenos e pensando a respeito das teorias. Coisa que a gente consegue fazer nas Físicas Básicas. [...] eu não estou colocando, por exemplo, que as Físicas Básicas são mais importantes que as Gerais. Nas Gerais, a gente faz as contas, faz as demonstrações, as contas matemáticas mesmo, que são necessárias serem feitas. Olhando para a minha formação, enquanto professor, eu acho que o movimento de fazer todas as contas, teoria por teoria, com pressa, na Física Geral, é importante, mas o momento de você olhar para essas teorias e pensar e repensá-las, eu acho que também é necessário, certo? E aí articulando com a questão histórica também, que, ao meu ver, elas cumpriram. Mas, por exemplo, conversando com alguns colegas, eu já percebi que nem sempre essas disciplinas seguem esse direcionamento, apesar de formalmente existir uma ementa, uma direção para a disciplina, nem sempre essas seguem [...] por exemplo, a Física Básica I e a Física Básica II - relatos de corredor, de estudante.- é que, muitas vezes, elas não têm o direcionamento tal qual é proposto, principalmente quando ela é ministrada por professores que não receberam esse tipo de formação, que não produziram conhecimento nesse sentido.

Ao falar sobre a importância dessas Físicas Básicas na sua formação, Cleber Silva declara:

[65] SILVA, Cleber de S., Entrevista concedida em 30 de outubro de 2012 e transcrita no Anexo 1.K.

> [...] na minha formação, a primeira coisa é a compreensão das leis físicas, a primeira coisa é essa, entendeu? Pra entender a própria teoria, equações de Maxwell; pra entender a própria teoria da Mecânica de Newton, a relação com a cinemática, o que é a cinemática no contexto da teoria de Newton, enfim, os problemas que dão origem a essa teoria, é importante; esse é o primeiro ponto. O segundo ponto, é da atitude do professor em sala de aula não ser simplesmente, enfim, a disposição que segue o ensino tradicional. Então, isso não está bem definido nas disciplinas, mas eu percebi, enquanto estudante, que ela abre mais o diálogo, ou seja, a gente aprende mais a falar sobre Física, a comunicar falando da Física, coisa que não existe tanto nas Físicas Gerais. Então, falar sobre Física acontece bem mais explicito, fica bem mais exercitado durante as Físicas Básicas.

Ao falar especificamente sobre a abordagem utilizada pelo professor ao ministrar a disciplina Física Básica III a qualifica como boa, expressando-se nos seguintes termos:

> Bom, ... pelo menos a Física Básica III e a Física Básica IV, eu vejo que elas seguem uma linha metodológica que está bem ligada ao exercício do pensamento, ou seja, o professor traz os questionamentos para os estudantes pensarem e tentarem conversar sobre aquela teoria física, que está ali em volta daquele fenômeno que se pretende estudar. Então eu acho essa metodologia interessante, essa metodologia boa, que os estudantes conseguem falar sobre, conseguem trazer as ideias que eles já têm e aí confrontar, confrontar não, dialogar essas falas do estudante com o que o professor tem a dizer e com o material que está sendo utilizado ali também. Sempre tem um material de apoio, então eu qualificaria como uma abordagem boa.

Ele completa suas considerações falando sobre os assuntos de Física Básica III que lhe despertaram mais interesse:

> Bom, [...] o que eu gostava mais de estudar em casa, acompanhar a disciplina, o que me despertava mais interesse era a questão da evolução do conhecimento, do ponto de vista histórico, certo? Então, eram textos que, enfim, eram muito bons de serem lidos e, durante as aulas, a questão de estar conversando a respeito dessa leitura e também o confrontar o discurso com as experiências que eram feitas, então, o discurso não só dessa evolução histórica, mas, por exemplo, uma lei Física que está dada, confrontar essa lei Física que está dada com os experimentos, as discussões em volta desses dois pontos eram positivas, ao meu ver.

Cleber Silva avalia também como boa a abordagem utilizada pelo professor da disciplina Física Básica IV. Esclarece que já tinha feito Física Geral e Experimental IV, quando cursou Física Básica IV e que este foi o momento de consolidar aqueles conteúdos voltados à questão das ondas eletromagnéticas, que tinham lhe despertado bastante interesse na época que fez Física Geral e Experimental IV. Ele diz que alguns cálculos envolvendo o conceito de probabilidade, desenvolvidos em Física Básica IV, chamaram muita sua atenção e afirma considerar insuficiente o estudo de física moderna realizado no curso de Licenciatura em Física, inclusive aquele realizado na disciplina Estrutura da Matéria. Afirma que tanto Física Básica III quanto Física Básica IV estão cumprindo suas funções e diz que foi o caráter contextualizador e histórico que o levou a se matricular em Física Básica III e IV:

> Justamente esse caráter contextualizador e histórico da disciplina. Eu fiz a Física Básica I e particularmente gostei e entendi que aprendi muito com a disciplina, então eu resolvi fazer a Física Básica III e aí, por consequência, a Física Básica IV, ou seja, aquela coisa que eu já falei, de você estar falando sobre Física e está pensando a respeito daquelas coisas que a gente vai estudar.

Considera que essas disciplinas de certo modo já são obrigatórias, pois os estudantes do curso de Licenciatura, noturno, têm pouca oferta de disciplinas optativas, no turno da noite, mas que, mesmo assim, devem se tornar formalmente obrigatórias. Ressalva, porém, que estas disciplinas devem ser ministradas por “professores que estejam dispostos a cumprir a proposta das disciplinas, porque senão fica realmente um espaço vazio. Uma carga horária que só vai ser cumprida do ponto de vista formal, porque, efetivamente, para a formação acho que não contribui não”. Acha também que nas Físicas Básica III e IV deveria ter um espaço para uma preocupação epistemológica, isto é, “uma preocupação com a visão de ciência que é reproduzida naquela conversa, no limiar da disciplina”. Ele não considera adequado o discurso do “tá provado e bater o martelo”, e afirma que na disciplina há abertura para a crítica dos estudantes, mas que essa crítica, no momento do experimento, não aparece, as pessoas reforçam.

Finalmente, ao falar sobre a carência de professores de Física no ensino médio, Cleber Silva considera que a mesma está relacionada ao incentivo, ou melhor, ao

pouco incentivo que o país dá a essa profissão e “ao respaldo social que essa profissão traz”, e que, de certo modo, o salário influencia por uma questão mesmo de sobrevivência.

Marcelo da Hora Rosado

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2009, tendo cursado, até 2012, oito dos dez semestres previstos. Cursou as disciplinas Física Básica III e IV nos semestres 2010.1 e 2010.2 respectivamente. Fez seu curso de nível médio em escola pública, onde o professor de Física era licenciado, “com bastante experiência na área” e não havia laboratório didático de Física. Ministrava aulas em escola particular de nível médio, no mesmo período em que cursou as disciplinas Física Básica III e Física Básica IV. Em entrevista gravada em 22 de outubro de 2012 ([66]), ao ser indagado sobre a avaliação que fazia da inclusão das Físicas Básicas no Curso de Licenciatura em Física, responde fazendo uma comparação entre as Físicas Gerais e Experimentais e as Físicas Básicas:

> [A Física] Geral e Experimental, ela é muito voltada para a questão do cálculo diferencial e integral, pra o uso das expressões necessárias que são importantes para o desenvolvimento do aluno. Mas um pouco da parte histórica deixa a desejar; de onde surgiram, como foram desenvolvidas aquelas expressões, a ciência toda por trás dos experimentos. As Físicas Gerais e Experimentais, elas não me deram tanto esse *knowhow.* Mesmo no laboratório, a gente não tem aqui um professor que fale (no laboratório) quem fez aqueles experimentos. A gente só vê o experimento, e faz, mas não como o cara pensou em fazer, como ele foi montado, porque não há essa discussão, não tem, digamos assim, a parte histórica, que coloca aquele experimento na parte histórica, na situação histórica, do momento em que ele foi realizado.

Ao falar especificamente sobre a abordagem utilizada pelo professor no curso de Física Básica III, ele afirma:

[66] ROSADO, Marcelo da H., Entrevista concedida em 22 de outubro de 2012 e transcrita no Anexo 1.L.

> Eu considerei um método assim bastante organizado, até porque o professor começa com um experimento, discute esse experimento, como ele foi feito, por quem foi feito, mais ele não dá todas as respostas naquele dia, em outra aula surgem as expressões e as respostas para explicar e isso muitas vezes incentiva a gente a correr atrás. Eu via que sempre que terminava a aula, eu saia discutindo com alguns colegas meus sobre o que aconteceu na aula ali. Coisa que não acontecia em Física Experimental Geral, a de laboratório; geralmente a gente saia discutindo o relatório, como fazer o relatório.

Enfatiza que o aspecto que lhe chamou mais atenção foi que “teve uma abordagem histórica da coisa”:

> Eu conheci os cientistas que realizaram aquilo e tive a curiosidade de pegar o livro que muitos deles escreveram, que eu nem sabia que muitos deles tinham escrito ... Eu tinha ouvido falar nos autores, mas eu não sabia que eles tinham livros falando daquela coisa toda, e descrevendo, e isso me ajudou a aprofundar. Eu achava que os livros de Física Geral e Experimental para cientistas e engenheiros era o suficiente para eu aprender Física e acabei vendo que não é. Eles eram incompletos, não dá pra eu aprofundar com eles, ficava uma coisa meio matematizada.

No que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III, ele declara que os assuntos que lhe despertaram mais interesse foram aqueles relacionados com o magnetismo:

> [...] porque eu vejo uma carência grande, principalmente no meu 2º grau, com relação a magnetismo. Dá-se muita ênfase às questões da eletricidade, da eletrodinâmica, da eletrostática, mas não se fala muito da magnetostática [...]. No meu 2º grau, isso não existiu. O magnetismo que a gente viu é bem simplório e a ausência completa de experimentos relacionados ao magnetismo, e eu acabei vendo que o magnetismo tem uma importância gigantesca na maioria da sociedade atual, a maioria das coisas de eletricidade tem a ver com magnetismo. Eu aprendi magnetismo aqui, do zero, aqui. E foi essa a abordagem que eu mais gostei no curso.

Ao falar especificamente sobre Física Básica IV, avalia a abordagem utilizada, usando uma argumentação análoga a que desenvolveu no caso de Física Básica III:

> [...] eu também gostei da abordagem em que a gente fazia o experimento [...]. Como é isso? Como é que funciona isso? Aquela coisa de deixar a pergunta no ar pra você pensar, eu gostei bastante dessa metodologia e, depois, nenhuma pergunta ficou sem resposta, porque

> era trazido um material pra complementar, ou até mesmo na aula já era dado o material, o professor discutia, mas sempre tinha aquela abertura de o aluno pensar primeiro na resposta, construir a resposta dele, até debater com os colegas também, antes de chegar a qualquer conclusão.

Marcelo Rosado afirma ainda que um dos aspectos que lhe chamou mais atenção em Física Básica IV foi a sequência do curso:

> Não foi uma coisa assim ... eu percebi que não foi aleatório, a gente ia fazer o experimento de uma coisa, daqui a uma semana já era experimento de outra, eu percebia que ia tendo bastante complementação. Assim, um conceito que a gente aprendia, já ajudava a compreender o próximo, e ia complementando, complementando e formando uma cadeia, mostrando que os eventos ali, eles estavam interligados, não estavam dissociados.

No que diz respeito ao conteúdo de Física Básica IV, afirma que gostou da parte que discutia os modelos corpuscular e ondulatório da luz. Ele afirma:

> Como a luz era uma onda, e como o debate ficou bastante acirrado, porque a gente já tinha visto experimentos mostrando que a luz se comportava como partícula, aí isso clareou bastante a minha mente. Essa parte explicando como é o comportamento ondulatório, porque um fenômeno típico como o da dupla fenda funcionava, as experiências de Young, isso foi bastante esclarecedor pra mim.

Marcelo Rosado afirma que foi levado a se matricular nas disciplinas Física Básica III e IV, sendo estas optativas, em razão de Física Básica I e II ter lhe criado uma boa impressão:

> Eu já tinha feito as Físicas Básicas I e II, que são obrigatórias. Fiz a Física Básica I com o professor Olival e a Física Básica II com o professor Newton, onde já tinha criado uma expectativa muito boa dessa disciplina, porque eu peguei dois professores muito bons. E como eu percebi que eles me deram respostas que eu não tive em Física Geral Experimental I e II, eu pensei: ´Bom, Física Básica III deve me dar as respostas que eu não tive em Física Geral III.` E aí eu me matriculei nessa disciplina e a minha expectativa foi boa.

Marcelo considera que Físicas Básicas III e IV devem passar a ser obrigatórias para os alunos de Licenciatura e ter, inclusive, aumentada a suas cargas horárias:

> [...] inclusive eu gostaria que tivesse uma física tipo essas relacionada a Estrutura da Matéria, a Física Moderna, porque você tem pra Básica I, II, III, e IV, mas aqui os alunos consideram Estrutura da Matéria como se fosse Física V, e é uma matéria que a gente tem laboratório e teoria e não tem uma Básica relacionada a Estrutura da Matéria, e eu senti carência nessa disciplina por não ter feito Básica.

Acredita que a falta de professores de Física para ensinar nas escolas de nível médio se deve à dificuldade do curso:

> Eu percebo, pelo menos na minha turma que ... passam 50 alunos no vestibular, eu não encontro esses 50 colegas no corredor. Eu conheço sete, que são meus amigos até hoje, que cursam até hoje comigo. Eu sei que tem muitos alunos que migram da manhã pra noite, começam a trabalhar e fazem vestibular, mas deveriam ter pelo menos uns 30 a 25 acompanhando e muitos deles mudaram pra Geofísica. Eu tenho colegas que foram pra Geofísica, pra Engenharia, pra Ciência da Computação ... uns três ou quatro que migraram, porque eles acharam que o curso estava difícil e também por causa da questão salarial. Eles viram que tinham a oportunidade de ter um salário maior como Engenheiro, talvez, do que como professor.

Finalizando, Marcelo Rosado diz como o estudo da Ótica e de noções de Física Moderna, realizado no curso de Física Básica IV, ajudou nos seus estudos posteriores:

> Bom, ele complementou o que eu tinha visto em Física Geral e Experimental, complementou significativamente, eu comecei a ver significados nas equações e nos problemas que eu resolvia, além do que me fez buscar os autores dos experimentos. Eu não tinha tanta preocupação em conhecer a história deles, a maneira como eles procederam e, depois de fazer essa matéria, eu me interessei bastante por pesquisar isso, inclusive o professor sugeria que a gente fizesse experimentos relacionados a isso, construção do Rádio de Galena, por exemplo, e outros, e eu comecei a fazer isso. Tomei isso como um *hobby* na minha vida. Eu sempre pego algumas coisas de experimentos e eu mesmo tento construir, refazer da minha maneira, utilizando alguns materiais básicos, porque eu sei que eu posso levar isso pra minha sala de aula, apesar de que a sala de aula hoje em dia não dá muito espaço para fazer experimento, porque há uma grande preocupação com coisas de vestibular, mas se sobrar um tempinho de 10, 15 minutos é bom, é interessante levar isso. Recentemente, eu fiz até um daqueles motorzinhos básicos, que isso ajuda para o aluno entender em sala de aula como a eletricidade esta ligada ao magnetismo. questão da variação do campo magnético produzir correntes elétricas, o aluno

> sempre acha interessante, e é mais significativo pra ele mostrar que aquilo tem aplicação. E a Física Básica me fez explorar esse lado da experiência que não pode deixar de ter, a gente vai encontrar principalmente nos colégios públicos dificuldade em conseguir fazer isso, mas a gente não deve fugir dessa realidade e não tentar ... largar de lado e ficar só no "cuspir e giz", como os meus colegas falam; ficar no quadro escrevendo, abrindo conta e fazendo cálculo e deixar o experimento de lado. Por mais dificuldade que você tenha, você ainda deve buscar mostrar experimentos em sala de aula, foi isso que trouxe a teoria pra gente, a teoria não surgiu do nada.

Luís Henrique Santana Silva

Ingressou no Curso de Física, Licenciatura, noturno, no ano de 2008, e hoje licenciando, tendo cursado a disciplina Física Básica III no primeiro semestre de 2011. Cursou o nível médio em escola particular, onde o professor de Física era Engenheiro Civil e não havia laboratório didático de Física. Ministra aulas na rede particular de ensino desde antes de se matricular em Física Básica III. Ao falar da sua expectativa como estudante e professor do ensino médio, quando ingressou no Curso de Licenciatura, afirma que desejava "conhecer a história da disciplina [...] aprofundar o conhecimento que a gente precisa da matéria" e acreditava que iria aprender a ser professor no curso, o que, segundo ele, na verdade, não acontece. "Isso é importante, a gente vem realmente pra estudar cálculo, pra estudar Física e, como dizem os professores, pra abrir as contas. E aprender a ser professor, realmente, é na sala de aula". Ao explicar porque não se aprende a ser professor no Curso de Licenciatura em Física, em entrevista concedida em 25 de outubro de 2012 ([67]), ele afirma:

> Olha só, a gente tem duas matérias que realmente são voltadas pra isso, que é a Metodologia I e a Metodologia II, mesmo assim, pra quem estuda quatro anos e meio o Curso de Física, às vezes cinco, seis, aí a gente sabe, é um ano de discussão que não é o suficiente pra alguém aprender a lidar com a sala de aula. Os meninos passam vinte horas apenas dentro da sala de aula, uma com observação e uma com estágio e toda outra parte da faculdade é fazendo conta, estudando teoria, fora no caso das Físicas Básicas, que mudam um pouco o foco.

[67] SILVA, Luís H. S., Entrevista concedida em 25 de outubro de 2012 e transcrita no Anexo 1.M.

Ao expressar sua visão sobre a inclusão das Físicas Básicas no Curso de Física, Licenciatura, noturno, que tinham o objetivo de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado da física introdutória, considera que a proposta é “da maior importância”:

> A maior importância do curso de Física Básica é a discussão do fenômeno. Nas Físicas [Gerais e] Experimentais os alunos não passam de meros reprodutores de experimento com roteiro pronto, dizendo tudo o que você deve fazer, passo-a-passo, inclusive dizendo o resultado onde você deve chegar. Se o aluno lê o roteiro antes, ele sabe muito bem o resultado que ele vai alcançar no experimento antes de ele responder o roteiro, ou o final do roteiro. E Física Básica, quando a gente faz o experimento na sala de aula, a gente passa grande parte da aula discutindo o fenômeno, até chegar na conclusão e, às vezes, até a gente chegar em conclusões que não eram conclusões esperadas, e a gente tem que refazer, e isso é muito importante, entender o fenômeno.

Ele completa seu raciocínio dizendo que, infelizmente, existe uma das Físicas Básicas que precisa ser repensada e reformulada, que é a Física Básica II, sugerindo que vai ser necessário

> que alguém se predisponha a fazer uma pesquisa do contexto histórico, do conteúdo da disciplina, que está faltando, que não tem, aliás, não tem. Que se predisponha a montar e a fazer os experimentos do curso, os experimentos que levaram às descobertas da teoria tanto da Mecânica Estatística como da Termodinâmica pra que isso seja discutido na Básica II. Hoje fica parecendo uma aula de ensino médio.

Ao se referir especificamente a disciplina Física Básica III, ou melhor, ao avaliar abordagem utilizada pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina, Silva afirma:

> No início, nas primeiras aulas, você toma um susto, porque é muita informação, você recebe aquela quantidade de informação tanto histórica quanto fenomenológica e experimental e você começa a ver que vai demorar um tempinho para você começar associar aquelas

> ideias. A gente não está acostumado, a gente não está acostumado a discutir o fenômeno e suas bases históricas, ao mesmo tempo. É o que eu estava falando das outras matérias, ou a gente está fazendo conta, ou a gente está discutindo fenômeno, ou a gente está reproduzindo experimento pra depois chegar em casa fazer, abrir as contas. E na Básica III a gente fez as três coisas ao mesmo tempo: a gente fez fenômeno, experimento, a gente discutiu o contexto histórico e provou matematicamente, diversas vezes. Isso a gente demora um tempo pra se acostumar. Quando você chega duas semanas, três semanas depois do curso, você vê que aquilo ali é a melhor forma de se trabalhar aquele assunto, conhecer a evolução da Física, conhecer quais foram os pontos, os fatores que levaram a descoberta de determinado conceito, ou como se chegou a determinada situação. Aquilo ali foi puramente matemático? Foi experimental? Isso é muito importante na formação de um professor, aliás, de um físico.

No que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III, afirma que o aspecto histórico, como se apresentava como algo novo para ele, era o que mais lhe despertava interesse:

> Com certeza, toda vez que falava de História, como era algo muito novo pra mim, me conquistava mais. Porque é assim, a gente acha que sabe, que conhece a Física, a gente acha que conhece, quando se chega em Básica III a gente já pegou alguma matérias e aí você começa a desconstruir pra construir. Às vezes um conceito que está escrito num livro todo bonitinho e de uma maneira simplificada pra que alguém possa entender, quando você vai discutir aquilo não é bem daquele jeito, então, o desconstruir durante a aula para construir em uma só aula, desconstruir o conceito algo que você já tinha dentro de sua cabeça e construir uma nova fórmula de visualizar a coisa era algo que me fascinava.

Luís Henrique Silva considera que esta disciplina está cumprindo a função para a qual foi criada, e que, de conversas com os colegas, de algumas curiosidades sobre os assuntos, não vê a hora de pegar a disciplina Física Básica IV. Falando a respeito do que o levou a matricular-se em Física Básica III, uma disciplina optativa, afirma:

> Depois que eu conheci a Básica I, que é obrigatória, do meu ponto de vista Básica I, II, III e IV deviam ser obrigatórias pra um professor. Eu não vejo hoje, eu não me vejo hoje como professor sem completar o ciclo com Básica IV. Hoje eu sou um professor melhor, porque eu consigo conversar com meus alunos e a gente avança muito mais por causa da Básica III ... coisa que não me vinha na cabeça ... quando eu pegava as Físicas [Gerais e] Experimentais, o que eu via era conta;

> chegar no ensino médio, pegar um livro, um Ramalhão, e achar que resolver todas aquelas contas, era ser bom em Física e eu vejo hoje que isso não é.

Luís Henrique afirma que Física Básica III mudou a forma como ele ensina eletricidade hoje e considera que as Físicas III e IV devem ser obrigatórias. “Muito mais pra quem é licenciatura do que pra quem é bacharelado”.

Atribui a grande carência de professores de Física para ensinar em escolas de nível médio aos baixos salários:

> Salário. Salário. A gente - não que físico seja melhor que ninguém - a gente tem que estudar muito pra sair aqui de dentro da faculdade como professor e, quando a gente chega aí no mercado, os professores de Física não querem se sujeitar a ganhar R$10,00 por hora/aula, como o Estado quer pagar. Então eles arranjam colégios particulares que vão pagar R$ 25,00, R$ 30,00 por hora/aula, e depois vão fechar acordos, e os professores de Física não querem ir pro Estado, não querem fazer concursos, não são atraídos por isso. É o que acaba com a escola pública. Hoje tem professor de geografia dando aula de Física, eu até conheço professor de português que dá aula de Física.

5.3.3 Síntese das reflexões e opiniões dos docentes

Neste espaço, busca-se realizar a síntese das opiniões dos atores do processo, professores entrevistados. Para os professores Olival Freire, Raimundo Teixeira, Arthur Matos e Cristina Penido a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, foi uma iniciativa bastante positiva do Instituto de Física da UFBA, com o acréscimo do professor Olival Freire de que esta foi uma experiência completamente à frente de seu tempo. O professor Arthur Matos discordou de que houvesse algo atípico no período em que foi criado o Curso de Física, Licenciatura, noturno, isto é, de que, na época, estivesse havendo algum esvaziamento do curso. Esta avaliação do professor Arthur talvez possa ser explicada pelo fato do mesmo, na ocasião da entrevista, ainda não ter tomado conhecimento dos dados referentes ao número de alunos matriculados e concluintes do período da criação do curso noturno.

No que diz respeito ao projeto das quatro Físicas Básicas como um todo, um projeto que, de nosso conhecimento, não existia igual em nenhum lugar do Brasil, os citados professores consideraram ter sido essa, essencialmente, uma experiência positiva. Para o professor Olival Freire, além de positiva, foi uma experiência também inovadora por ter sido, inclusive, o único curso do Brasil onde a *Harvard Project Physics* virou material curricular obrigatório. Na visão do professor Raimundo Muniz, as Físicas Básicas, entre outros benefícios, contribuíram para minimizar as deficiências de muitos estudantes que ingressaram na Universidade com formação que infelizmente enfatiza a memorização e o treinamento na solução de problemas. A professora Cristina Penido, por sua vez, afirmou que as Físicas Básicas tiveram um papel fundamental no Instituto de Física, pois evidenciaram que nossas disciplinas tradicionais não contemplam nem nunca contemplaram a parte experimental nem a parte histórica e filosófica da ciência. E que foi importante também por ter mostrado que há outras visões que não a de responder exercício do livro ou aquela restrita à formulação matemática. Ela afirma que a necessidade das Físicas Básicas surgiu do fato dos professores de Física terem sido preparados para serem pesquisadores e, infelizmente, não terem sido preparados para ensinar estes outros conteúdos. Para o professor Arthur Matos, as Físicas Básicas trouxeram inovações interessantes, chegando a surpreender alguns, e afirma que esta não foi a primeira tentativa de resolver dificuldades acadêmicas, pedagógicas, do Curso de Física, citando a tentativa já feita, com a criação das Físicas Gerais e Experimentais *F*, em 1888, com carga horária de 10 horas semanais.

Apesar de considerarem a experiência das Físicas Básicas como positiva, os professores Olival Freire, Cristina Penido e Arthur Matos, sem se referirem às condições concretas que motivaram a criação destas disciplinas, fazem observações importantes sobre as mesmas. Para o professor Olival Freire, não é a forma do currículo da Licenciatura, noturno, contemplando um projeto de quatro Físicas Básicas, nas quais está garantido um espaço para adoção de uma abordagem contextual, que é o essencial. Para ele, o essencial é que seja garantida a presença de uma abordagem contextual na formação do Licenciado em Física. Concordando com o professor Olival Freire, a professora Cristina Penido diz não fazer diferença se vai haver as quatro Físicas Básicas ou não, o que importa é que os professores das disciplinas de Física do

ciclo básico universitário estejam imbuídos da importância e da necessidade de se trabalhar estas duas partes, isto é, os conteúdos hoje ministrados pelas Físicas Básicas e pelas Físicas Gerais e Experimentais. Ela vai adiante e levanta a possibilidade de que os fundamentos ministrados hoje através das Físicas Básicas possam ser trabalhados no ensino médio, deixando a formalização dos conteúdos para o período universitário. O professor Arthur Matos Neto vai mais adiante dizendo que as Físicas Básicas apenas preencheram um vazio nos cursos das Físicas Gerais e Experimentais I, II, III e IV, mas só nesse, e que esta não é a melhor forma de resolver este problema, apesar de reconhecer que as Físicas Básicas tiveram um papel relevante, neste momento, explorando certos aspectos não tratados nas Físicas Gerais e Experimentais, a exemplo da relação da ciência com a humanidade, mas que isto não é para ser feito apenas nessas disciplinas e sim em todas. Para o professor Arthur Matos, essa dualidade das Físicas Básicas com as Físicas Gerais e Experimentais não é boa, mas considera que foi um progresso o Instituto de Física reconhecer que esta forma de ensinar ciência, como produção humana, é importante não só para o licenciado e bacharel como também para toda a área de ciências exatas. Para ele, o passo seguinte é compreender que não só essas, mas todas as disciplinas têm que ser ensinadas e discutidas realçando o aspecto cultural da ciência, o que ainda não se conseguiu fazer na segunda parte do curso de graduação, a parte profissionalizante. Ele considera que as Físicas Básicas I, II, III e IV influenciaram muito na definição das novas matrizes curriculares dos cursos de Física diurno e noturno (recentemente aprovadas), em decorrência da hegemonia que essa forma de compreensão da ciência ganhou na primeira parte do curso de graduação. Para ele, ao longo do tempo, as quatro Físicas Básicas têm que se integrar com as quatro Físicas Gerais e Experimentais numa disciplina única e insiste que devemos perseguir esta meta. Passando ao lado das considerações ou expectativas dos professores Olival Freire, Cristina Penido e Arthur Matos, o projeto das Físicas Básicas ganhou mais espaço, recentemente, ao ser estendido e incorporado ao Curso de Física, diurno, nas modalidades Licenciatura e Bacharelado, onde tais disciplinas passaram a ser denominadas Conceitos de Física *A*, Conceitos de Física *B*, Conceitos de Física *C* e Conceitos de Física *D*, sendo as três primeiras de caráter obrigatório e a última optativa.

Ao falar especificamente da sua experiência em ministrar Física Básica III, o professor Raimundo Muniz afirma que, por tê-la ministrado apenas uma vez, tem impressão ainda limitada de seus desafios. Considera que a linguagem matemática utilizada pelo eletromagnetismo é mais sofisticada que a da Mecânica, com um maior conteúdo de cálculo, o que implica em uma dificuldade maior para os alunos. Afirma que no curso por ele ministrado deu mais ênfase à parte conceitual, sem eliminar a parte de cálculo, apenas reduzindo a parte matemática e esta ênfase não era tanto nas implicações sociais e culturais da ciência e sim no desenvolvimento dos conceitos do eletromagnetismo. Afirma ainda que notou uma boa resposta dos alunos e considera que esta disciplina exige uma abordagem não convencional.

No caso da experiência do professor Olival Freire ao ministrar a disciplina Física Básica IV, por dois semestres, em parceria com outro professor, afirma que sua impressão é a de uma experiência positiva, apesar de não ter feito uma avaliação sistemática da mesma, admitindo que, na continuidade, certamente precisaria de inovações e ajustes, e conclui dizendo que foi uma experiência limitada, mas positiva. Ele afirma que sua experiência como professor de Física Básica IV, e de outras disciplinas, e também sua própria experiência pessoal, recomendam a aceleração do contato dos alunos, os futuros licenciados, com a Física do século XX. Relaciona como vantagens de uma abordagem contextual o fato de que esta motiva mais os alunos, situa os alunos num horizonte cultural mais amplo e ajuda a compreender melhor certos conceitos que o ensino tradicional torna mais opaco.

Sobre a percepção da professora Cristina Penido a respeito do papel que as Físicas Básicas têm desempenhado na formação do licenciado, percebido através da disciplina Metodologia e Prática de Ensino de Física, esta afirma que os estagiários que vêm do curso noturno têm a sensibilidade mais aguçada para os aspectos históricos da ciência, apesar de perceber neles certa fragilidade decorrente, às vezes, do pouco tempo que tiveram para apreender este assunto, um problema que ela acredita decorrer do fato de apenas duas Físicas Básicas serem obrigatórias. No caso específico do papel das Físicas Básicas III e IV, ela afirma que os estudantes que passam por estas disciplinas vêm com uma bagagem maior, porque têm mais tempo para refletir sobre seus conteúdos. Para ela, esta melhor formação é facilmente percebida na sala de aula

da disciplina Metodologia e Prática de Ensino de Física. No caso do estágio, entretanto, considera que a discussão é mais complexa, porque ela se localiza em pessoas, e eventuais deficiências não podem ser atribuídas a falhas de determinada disciplina, mas sim uma falha global. Considera que, indiscutivelmente, História e Filosofia da Ciência têm um papel a desempenhar na formação dos futuros licenciados, não só de Física e cita exemplos do impacto que as Físicas Básicas de modo geral e as Físicas Básicas III e IV, em particular, produzem na formação dos alunos da Licenciatura noturna. Como exemplo favorável, cita aquele em que o aluno, em debates que são feitos durante o planejamento das aulas, procura trazer essas discussões, refletindo o que ele viu nos cursos. Considera isto positivo e salienta que o aluno constrói isto com seus aparatos próprios, indo além do que viu, explorando o que Vygotski chamou de zona de desenvolvimento proximal. Como um exemplo não favorável, cita o caso do aluno que, em razão do pouco tempo disponível, não sabendo como refletir aquilo que viu, mas querendo fazê-lo de qualquer jeito, termina usando uma história linearizada, acabando por reproduzir aquilo que está nos livros didáticos, e isto, para ela, é um problema. A professora Cristina Penido diz ainda que é possível identificar diferenças de formação nos alunos de licenciatura, noturno e diurno, em razão de os primeiros terem cursado as Físicas Básicas e os últimos não. Afirma que os alunos de Licenciatura, principalmente os mais interessados na Licenciatura, reclamam do fato de que, no curso diurno, não há nada que use ou alerte sobre aspectos históricos e fenomenológicos da ciência.

5.3.4 Síntese das reflexões e opiniões dos discentes

Sintetizando os depoimentos dos nove ex-alunos entrevistados sobre a avaliação que faziam a respeito da inclusão das Físicas Básicas no Curso de Licenciatura em Física, noturno, pode-se dizer que estes foram unânimes em afirmar a validade da proposta. Daniel Sento Sé afirma que estas disciplinas foram fundamentais para a sua formação e não seria o professor que é se não tivesse passado por essas disciplinas.

Ressalta que o importante em tais disciplinas é que estas fazem a contextualização histórica, instigam a curiosidade do aluno com os experimentos e, sem deixar de usar a matemática, saem do tradicionalismo físico e matemático, geralmente tratado nas Físicas Gerais e Experimentais. Destaca que, em lugar de simplesmente discutir fórmulas, essas disciplinas também discutem história, fenômenos e o lado humano da ciência, provocando a curiosidade e interesse dos alunos. Maroívo Caldeira, por sua vez, afirma que a proposta das Físicas Básicas é bastante válida e que essas disciplinas foram importantes para a sua formação, mas ressalta que os cursos ministrados poderão ser totalmente inúteis se a concepção e abordagem dessas disciplinas não forem bem compreendidas pelos professores. Diz que, no seu caso, as Físicas Básicas foram muito proveitosas, mas nem todos os colegas tiveram a mesma sorte e, às vezes, essas disciplinas podem ser totalmente inúteis. Fabio Luís Alves Pena não externou uma opinião sobre a proposta das Físicas Básicas em si, mas considerou fundamental o conteúdo das mesmas para a formação do professor. O relato de Fábio Pena mostra que, nos primeiros quatro semestres de funcionamento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, os aspectos fenomenológicos, históricos e filosóficos das Físicas Básicas não foram contemplados em todas elas, uma falha que, apesar de não se repetir em todos os semestres, se tornou objeto de queixas ao longo dos anos, especialmente no que se refere à Física Básica II, como se pode notar nos depoimentos de outros entrevistados. Alexnaldo de Castro Neves considerou a propostas das Físicas Básicas como uma excelente ideia. Afirma que essas matérias lhe proporcionaram uma visão histórica e filosófica, principalmente, da evolução das ideias da Física, de como nasceram e como foram evoluindo. Avalia ser este conhecimento fundamental para o professor, porque ajuda a tornar a matéria sedutora para os alunos, que assim passam a ver a Física como uma construção humana, com erros, acertos, conflitos, sofrendo, inclusive, influência política, como toda construção humana. Sem negar a importância das Físicas Gerais e Experimentais, considera que as Físicas Básicas são fundamentais, porque alimentam o professor de todo o conteúdo filosófico, dizendo que isto ele levou para a escola onde ensina. Concluindo, afirma que as Físicas Básicas foram importantes para a sua formação, pois “a abordagem filosófica e histórica ... é fundamental no ensino”. Alexandro de Barros reforça as ideias

anteriores e diz que as Físicas Básicas se constituem num diferencial do curso noturno em relação ao diurno. Primeiro, porque a Física é apresentada de uma maneira diferente, conseguindo-se voltar ao tempo de estudiosos antigos e entender como pensavam, entender o momento histórico em que viveram, em que acreditavam, como as ideias foram evoluindo, e isto ele acha muito interessante. Salienta que, por influência das Físicas Básicas, costuma dizer hoje que Física, além da Matemática, tem uma parte histórica que precisa ser abordada, tem uma parte conceitual que é importante também e afirma que antes de ter o conhecimento das Físicas Básicas, acreditava que Física era só Matemática, além da parte experimental. Considera que a Física Básica II fugiu da ideia inicial do programa e acabou enfatizando mais os aspectos matemáticos dos assuntos do que contextualização histórica. Para Ioná de Brito, as Físicas Básicas são fundamentais, mas tende a acreditar que a necessidade dessas disciplinas existe muito por conta de uma deficiência das Físicas Gerais e Experimentais, da maneira como são ministradas. Acha que as Físicas Gerais e Experimentais são disciplinas muito deficientes e que existe uma falta de entrosamento da parte prática com a parte teórica. Para ela, os laboratórios são mal desenvolvidos por culpa dos alunos e também dos professores, ou da própria maneira como a disciplina é estruturada, não havendo espaço para discussão da teoria do experimento, o que está por trás daquele experimento, e a história da ciência que também está envolvida no experimento e na teoria. Acha que as Físicas Básicas suprem tudo isso e se o papel das Físicas Básicas é este, elas o cumprem bem. Entretanto, considera que se as Físicas Gerais e Experimentais, fossem reformuladas, talvez pudessem cumprir este papel. Ioná, entretanto, não se refere ao fato de que antes da criação das Físicas Básicas houve pelo menos uma tentativa de se ministrar os conteúdos atualmente ministrados nestas disciplinas, através das Físicas Gerais e Experimentais - *F*, com carga horária de 10 horas semanais, não se obtendo êxito, por razões as mais diversas, razões estas que, mesmo hoje, continuam refletindo negativamente no desempenho e consolidação das próprias Físicas Básicas. Para Cleber de Souza Silva, as Físicas Básicas, além de alcançarem o objetivo de aprofundar a discussão conceitual das teorias Físicas, articulando também a questão histórica, cumpriu um objetivo implícito, que ele valoriza como professor, que é o da forma de se falar sobre Física, de se refletir

sobre Física. Esclarece que, na sua opinião, nos cursos de Física Geral e Experimental não se consegue estar pensando a respeito dos fenômenos e pensando a respeito das teorias, coisa que se consegue fazer nas Físicas Básicas. Acha importante as Físicas Gerais e Experimentais, mas, como professor, considera que há de ter o momento de se olhar para essas teorias, pensando-as de forma articulada com os aspectos históricos a ela relacionados e as Físicas Básicas fazem isso bem. Afirma que percebeu que essas disciplinas nem sempre seguem esse direcionamento, apesar de formalmente existir uma ementa. Cita o caso de Física Básica I e II que, muitas vezes, não atendem à orientação proposta nas ementas, principalmente quando são ministradas por professores que não têm formação em História e Filosofia da Ciência, que não produziram conhecimento nessa área. Afirma que as Físicas Básicas foram importantes na sua formação, primeiro pela compreensão das leis físicas, segundo, pela atitude assumida pelo professor em sala de aula de não seguir simplesmente o disposto no ensino tradicional, pois da forma que as Físicas Básicas são ministradas se aprende mais a falar sobre Física e a se comunicar falando de Física, coisas que não existem nas Físicas Gerais e Experimentais. Marcelo da Hora Rosado, por sua vez, avalia a importância da inclusão das Físicas Básicas no Curso de Física, Licenciatura, noturno, fazendo uma comparação entre estas e as Físicas Gerais e Experimentais. Para ele, estas são mais voltadas para a questão do cálculo diferencial e integral, para o uso de expressões matemáticas, mas acha que, na parte histórica, deixam a desejar por não esclarecerem de onde surgiram, como foram desenvolvidas, e qual a ciência, o conhecimento científico por trás dos experimentos realizados e, mesmo no laboratório, não se tem um professor que fale da parte histórica dos experimentos. Os alunos fazem o experimento, mas não se discute como foi pensado, como foi montado e qual a situação histórica do momento histórico em que foi idealizado ou realizado. Para Luís Henrique Silva, a proposta das Físicas Básicas é da maior importância e o mais significativo é a discussão dos fenômenos. De acordo com Luís Henrique Silva, nas Físicas Gerais e Experimentais os alunos não passam de meros reprodutores de experimento com roteiro pronto, dizendo tudo o que se deve fazer, inclusive, o resultado a que se deve chegar. Se o aluno ler o roteiro antes, sabe muito bem o resultado que vai alcançar no experimento, antes de responder o roteiro. Mas em Física Básica,

quando o experimento é feito na sala de aula, passa-se grande parte da aula discutindo o fenômeno, até chegar a uma conclusão e, às vezes, chega-se até a conclusões que não são as esperadas, tendo-se de refazer o experimento. Completa seu raciocínio dizendo que, infelizmente, existe uma das Físicas Básicas que precisa ser repensada e reformulada, que é a Física Básica II, sugerindo que vai ser necessário alguém se predispor a fazer uma pesquisa do contexto histórico dos conteúdos da disciplina, montar e fazer os experimentos do curso que levaram às descobertas da teoria, tanto da Mecânica Estatística quanto da Termodinâmica, para que estes assuntos sejam discutidos, evitando-se que as aulas desta disciplina fiquem parecendo uma aula do ensino médio, como ocorre hoje.

Após a síntese das opiniões dos ex-alunos sobre o projeto das Físicas Básicas, serão apresentadas também de forma sintética, suas opiniões sobre a abordagem utilizada especificamente na disciplina Física Básica III e também sobre seus conteúdos. Daniel Sento Sé considera a abordagem excelente e afirma que o professor trabalhou de forma interessante os conceitos e conteúdos, inserindo-os num contexto histórico e filosófico. Ressalta que a contextualização histórica e os experimentos apresentados em sala de aula foram os aspectos que mais lhe chamaram atenção. Para Maroívo Caldeira, a disciplina Física Básica III, foi uma das melhores Físicas Básicas que teve (semestre 2006.1). Atribui o resultado ao fato de a ter feito com um ótimo professor que, segundo ele, entendeu o espírito dessa disciplina. Afirma que os aspectos históricos e conceituais foram os que lhe chamaram mais atenção na disciplina Física Básica III e que foram vitais no curso. Na opinião de Fabio Luís Pena, a abordagem utilizada em sala de aula pelo professor de Física Básica III (semestre 2001.1), não foi nem histórico-filosófica, nem histórico-conceitual. Não houve as discussões, os desdobramentos, as controvérsias, foi algo bem linear, como se tem no livro. Segundo ele, não se fazia uma discussão histórica e filosófica na parte abordada no laboratório, nem mesmo no processo de discussão dos experimentos históricos. Era mais uma verificação de como foi feito antes. Fábio Pena afirma que foi a parte experimental de Física Básica III a que lhe chamou mais atenção e, dentre os assuntos estudados na disciplina, o conceito de campo foi o que lhe despertou mais interesse. De acordo com Fábio Pena, na época em que fez Física Básica III, esta disciplina não

cumpriu sua função, que era de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula. Alexnaldo Neves, entretanto, considerou a abordagem utilizada em Física Básica III (semestre 2003.1) interessante, inclusive, pelo contato com o material utilizado sobre o desenvolvimento das ideias do eletromagnetismo. Lembra que foram utilizadas coleções antigas, a exemplo do *Harvard Project Physics* e diz que lhe despertou muito interesse a parte do desenvolvimento filosófico de ideias básicas como, por exemplo, de campo elétrico e carga elétrica, algo que ele considera complexo de se entender, de se passar para os alunos. Para ele, foi muito interessante ver como foram desenvolvidos os primeiros conceitos da eletricidade, as dificuldades experimentais, os empecilhos tecnológicos da época. Alessandro de Barros afirma ter gostado da abordagem utilizada na disciplina Física Básica III e ressalta o momento em que foi apresentado ao livro do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, e passou a ter contato com motores elétricos, fenômenos elétricos etc. Afirma que o livro do GREF mostrou-lhe uma maneira nova de apresentar o assunto de eletricidade. De acordo com Alessandro de Barros, o bom de Física Básica III é que o aluno consegue relacionar esta disciplina com a Física Geral e Experimental III, até mesmo com o laboratório. Para Ioná de Brito, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina foi muito interessante, porque instigava o aluno a pensar e a questionar sobre os dogmas que estão acostumados a ouvir, o que é importante também para a formação do professor. Cleber Silva também qualifica a abordagem utilizada como boa e diz que Física Básica III segue uma linha metodológica que está muito ligada ao exercício do pensamento, com o professor trazendo os questionamentos para os estudantes pensarem e conversarem sobre a teoria física do fenômeno em estudo. Para ele, esta metodologia é interessante, porque os estudantes conseguem falar e também trazer as ideias que já têm, confrontando essas falas com o que o professor tem a dizer e com o material que está sendo utilizado, já que sempre tem um material de apoio. Para Cleber Silva, o que lhe despertou mais interesse em Física Básica III foi a evolução do conhecimento do ponto de vista histórico, a oportunidade de estar conversando a respeito da leitura dos textos utilizados e também a oportunidade de confrontar o discurso com as experiências que eram feitas. No ponto de vista de Marcelo Rosado, o método utilizado pelo professor na disciplina foi

adequado. O professor começava com um experimento, discutindo como foi feito, por quem foi feito, não dando todas as respostas de imediato, mas, no momento oportuno, trazendo as expressões e as explicações, dando chance aos alunos de procurarem suas próprias explicações. Para ele, a abordagem histórica foi o que lhe despertou mais interesse em Física Básica III. Diz que durante o curso teve oportunidade de conhecer os cientistas que fizeram a descoberta e teve a curiosidade de pegar livros escritos por eles. Declara que, anteriormente, achava que os livros de Física Geral e Experimental para cientistas e engenheiros eram suficientes para aprender Física, mas acabou vendo que não, pois tais livros são incompletos e não é possível aprofundar os estudos só com os mesmos. Afirma que, dentre os assuntos estudados, os que lhe despertaram mais interesse foram aqueles relacionados ao magnetismo. Luís Henrique Silva também aprovou a abordagem utilizada na disciplina e afirma que ele e seus colegas não estavam acostumados com aquele tipo de abordagem, discutir os fenômenos em suas bases históricas. Faz comparação entre as Físicas Básicas e as Físicas Gerais e Experimentais, dizendo que, nestas disciplinas, o aluno ou está fazendo conta, ou discutindo fenômeno ou reproduzindo experimento para depois chegar em casa e fazer as contas, mas que em Física Básica III, se faz as três coisas ao mesmo tempo: observa o fenômeno, discute o contexto histórico em que o mesmo foi descoberto ou estudado e o aborda matematicamente. Esta mudança de abordagem leva um tempo para o aluno se acostumar, de forma que só duas ou três semanas depois do início do curso é que se percebe ser aquela a melhor forma de se trabalhar um determinado assunto. Afirma ainda que a parte histórica era uma novidade para ele e, por isso, era a que mais lhe interessava. Prossegue afirmando que, às vezes, o aluno pensa que sabe, pensa que conhece Física, e descobre em Física Básica III que determinados conteúdos precisam ser desconstruídos para depois serem reconstruídos. Do exposto, pode-se afirmar que todos os entrevistados aprovaram a abordagem simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual adotada em Física Básica III.

A seguir, serão apresentadas, em síntese as opiniões dos ex-alunos sobre a abordagem dos conteúdos da disciplina Física Básica IV. Para Daniel de Sento Sé, da mesma forma que em Física Básica III, os aspectos históricos e fenomenológicos foram os que lhe chamaram mais atenção no curso. Afirma que a abordagem utilizada pelo

professor nesse curso foi excelente e que esta foi a melhor das Físicas Básicas que fez. Considera que todas foram importantes, mas a Física Básica IV, por tratar questões que envolvem a natureza da luz, foi a que mais lhe despertou interesse. Considera que fazer uma graduação em Licenciatura de Física sem passar por disciplinas como Física Básica III e IV é um erro, porque acredita que a vivência e as discussões realizadas, não vão aparecer em outro lugar, em outro momento. Ele finaliza reafirmando que as Físicas Básicas III e IV foram fundamentais para sua formação, porque o estimularam a entender a Física como construção humana, a entender a Física como construção cultural, a entender que são pessoas de carne e osso que fazem a ciência. Na visão de Maroívo Caldeira, a abordagem utilizada pelo professor (semestre 2006.2), na apresentação dos assuntos de óptica e física moderna, também foi boa e se considera um aluno de sorte por ter seu professor entendido a proposta ou concepção da disciplina. Diz que gostava dos experimentos realizados em laboratório, mas não sabe se isto era próprio da disciplina ou se era devido ao professor que a estava ministrando. Afirma que a parte de física moderna foi a que mais lhe despertou interesse por ser um conteúdo, segundo ele, pouco estudado no Curso de Física, Licenciatura, noturno. Fábio Pena, por sua vez, primeiro esclarece que a disciplina Física Básica IV, no semestre em que cursou, foi ministrada por dois professores, em parceria, e a abordagem utilizada na parte de óptica não foi a mesma utilizada em física moderna. Na primeira, o professor explorava as questões fenomenológicas e históricas, mas, em física moderna, foi utilizado um trabalho de tese já experimentado em outra universidade, e este material didático não era de textos históricos ou algo que pretendesse fazer uma abordagem histórica. Para Fábio Pena, o docente de cada uma das Físicas Básicas deveria ser alguém que, “dentro da sua vida acadêmica, estudou, pesquisou ou tem interesse em História e Filosofia da Ciência”. Alexnaldo Neves não fala especificamente sobre a abordagem utilizada pelo professor em Física Básica IV (semestre 2002.2), mas lembra que óptica foi estudada em profundidade e não se recorda de ter visto física moderna nessa disciplina. Afirma que é fundamental para o licenciando cursar as Físicas Básicas antes das Físicas Gerais e Experimentais, ou em paralelo. Alessandro de Barros também não falou especificamente da abordagem utilizada em Física Básica IV. Declara lembrar-se, entretanto, de ter estudado reflexão,

refração, cores, polarização, e outros temas, mas não conseguiu lembrar-se de ter estudado tópicos de física moderna, ficando em dúvida se tinha visto o efeito fotoelétrico em Física Básica IV ou em Estrutura da Matéria. Ele considera interessante o fato da Física Básica I vir primeiro do que a Física Geral e Experimental I, e afirma que é necessário igualar os currículos das licenciaturas, diurno e noturno, modificando o da licenciatura, diurno, para torná-lo igual ao currículo da licenciatura, noturno. Na visão de Ioná de Brito, a abordagem utilizada pelo professor foi semelhante àquela utilizada em Física Básica III. No seu caso, foi o mesmo professor e o método era parecido com o da referida disciplina, que consistia em estar o tempo todo questionando, fazendo o aluno pensar sobre o que já havia ouvido antes, mas que nunca tinha se aprofundado e pensado. Ela vai adiante dizendo que se a parte prática das Físicas Gerais e Experimentais fosse mais eficiente e o aluno aprendesse realmente com o laboratório, talvez a parte prática de Física Básica III e IV pudesse ser, não substituída, porque a considera fundamental, mas pudesse ser menos detalhada, ocupando um tempo menor do que o da teoria, de forma a haver mais espaço para outros questionamentos e debates em torno de determinadas questões. Afirma ainda que foram os assuntos relativos à física moderna os que lhe despertaram mais interesse. Para ela, as discussões sobre o inicio da mecânica quântica, Planck, Einstein, os experimentos dessa época, discutidos em sala de aula, foram muito interessantes. Diz que se matriculou em Física Básica III e IV, porque, entre outras razões, achou deficientes os cursos de Física Geral Experimental. Ioná de Brito finaliza suas declarações, afirmando que ou se melhora as Físicas Gerais e Experimentais, do Bacharelado, para que estas supram o conteúdo das Físicas Básicas, ou se incorpora estas disciplinas ao curso de Bacharelado. Para Cleber Silva, também foi boa a abordagem utilizada pelo professor. Esclarece que já tinha feito Física Geral e Experimental IV, quando cursou Física Básica IV e diz que este foi um momento de consolidar os conteúdos voltados à questão das ondas eletromagnéticas. Afirma que alguns conteúdos de Física Básica IV lhe chamaram muita atenção, a exemplo de alguns cálculos envolvendo o conceito de probabilidade. Para Cleber Silva, as Físicas Básicas, de certo modo, já são obrigatórias para os estudantes do curso noturno, pela pouca oferta de disciplinas optativas no turno da noite, mas, mesmo assim, devem se

tornar formalmente obrigatórias. Salienta, entretanto, que estas disciplinas devem ser ministradas por professores que estejam dispostos a cumprir a proposta que motivou sua criação. Para Marcelo Rosado, a abordagem utilizada também foi muito boa. Diz ter gostado bastante da metodologia em que a aula começava com o experimento e o professor deixava a pergunta no ar para o aluno refletir, debater com os colegas e chegar a uma conclusão, um procedimento que era apoiado pelo material didático distribuído pelo professor. Afirma também que gostou da sequência dos assuntos apresentados, pois os tópicos se complementavam e os conceitos já compreendidos ajudavam a entender os seguintes, formando uma cadeia, mostrando que os eventos estavam interligados. Destaca ter gostado da discussão que tratava do confronto das ideias da luz como onda e como partícula, inclusive a discussão do porquê um fenômeno típico, como o da dupla fenda, funcionava. Acrescenta ainda que sentiu a necessidade de uma Física Básica relacionada com a Estrutura da Matéria, para cumprir um papel análogo àquele que as Físicas Básicas cumprem com relação às Físicas Gerais e Experimentais. Finaliza dizendo que Física Básica IV complementou significativamente o que viu em Física Geral e Experimental IV, dizendo ter começado, a partir delas, a ver significado nas equações e nos problemas que resolvia, além de ter despertado para a parte experimental e da História da Ciência. Dos nove alunos, Luís Henrique Silva foi o único que não tinha feito Física Básica IV e, por esta razão, não deu sua opinião sobre a disciplina, afirmando o seu desejo de cursá-la.

5.3.5 Análise das opiniões avaliativas de docentes e discentes

Iniciamos este tópico afirmando que os professores entrevistados, apesar de unanimemente considerarem as Físicas Básicas como uma experiência positiva, não são unânimes quanto à necessidade das Físicas Básicas para oferecer os conteúdos programáticos explorados em uma perspectiva histórica e filosófica, isto é, não são unanimes quanto ao formato *Físicas Básicas*. Um dos professores afirma que as Físicas Básicas tiveram um papel fundamental para que se percebesse que as Físicas

Gerais e Experimentais não contemplam a parte experimental nem a parte histórica e filosófica da ciência, mas considera que não faz diferença se vai haver ou não as Físicas Básicas, desde que os professores das Físicas Gerais e Experimentais estejam imbuídos da importância de trabalharem a contextualização da forma que é feita nas Físicas Básicas. Outro professor entrevistado considera que o essencial não é o formato *Físicas Básicas*, mas sim a garantia da presença da abordagem contextual na formação dos licenciados em Física. Um terceiro professor, ao concordar que ensinar ciências como produção humana é importante não só para o licenciado como também para o bacharel, afirma que, com o tempo, as Físicas Básicas têm de se integrar às Físicas Gerais e Experimentais. Vê a recente inclusão das Físicas Básicas, no currículo do Curso de Física, diurno, como um avanço, como parte de um processo, e considera que o desejável é que a ideia de ensinar ciências como produção humana não se restrinja a estas quatro disciplinas, devendo, ser levada para todo o curso de Física, inclusive para a segunda parte, chamada profissionalizante.

As opiniões dos alunos, entretanto, diferem, em alguns aspectos, da opinião dos professores. Os alunos entrevistados foram unânimes quanto à validade da proposta das Físicas Básicas, mesmo que por razões diferenciadas, com destaque para o papel que a História e Filosofia da Ciência, especialmente História da Física, desempenham na estrutura das disciplinas e também a importância da parte experimental como motivadora das discussões realizadas. Não há restrição aos conteúdos das disciplinas ou ao tipo de abordagem utilizada. As críticas surgiram quando não foi feita uma abordagem contextual, explorando os aspectos históricos e filosóficos, ou quando não são realizados experimentos ilustrativos. Tais críticas ocorrem com mais frequência em relação à disciplina Física Básica II, tendo como variante o semestre em que foi oferecida, mas não se restringindo apenas a esta disciplina. Em alguns depoimentos, as críticas à abordagem utilizada nas Físicas Básicas têm como alvo a falta do comprometimento do professor com o ensino contextualizado, considerando ser esta a principal dificuldade a ser superada pela proposta. Este não compromisso explica, pelo menos em parte, porque o espaço criado, em 1988, pelas quatro disciplinas de 10 horas semanais, as chamadas Físicas Gerais e Experimentais - *F*, foi utilizado apenas para oferecer mais conteúdos, explorando o formalismo matemático, e não para

exercitar uma abordagem diferente daquela utilizada nas disciplinas de 6 horas semanais, denominadas Físicas Gerais e Experimentais - *E*. Os entrevistados, em geral, consideram importantes as Físicas Gerais e Experimentais, mas não veem nelas a oportunidade de aprender Física como uma construção humana e sim a oportunidade de fazer um treino matemático. Um dos alunos entrevistados, entretanto, diz tender a acreditar que a necessidade das Físicas Básicas surgiu da deficiência das Físicas Gerais e Experimentais e que não sabe se estas, sofrendo reformulação, não poderiam suprir a necessidade hoje atendida pelas Físicas Básicas. Os demais alunos entrevistados encaram as Físicas Gerais e Experimentais como elas são de fato e as consideram importantes como treino matemático, sem especular a possibilidade de transformá-las em disciplinas que venham a incorporar os conteúdos e métodos explorados nas Físicas Básicas.

No que diz respeito especificamente Física Básica III, todos os entrevistados aprovaram a abordagem, simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, geralmente citando o desenvolvimento histórico e os experimentos realizados como os aspectos que mais lhes chamaram atenção neste curso, sendo que um dos entrevistados (do semestre 2001.1) destacou somente a parte experimental como a que mais lhe despertou interesse. Além desses aspectos mais gerais, outros pontos também foram lembrados como, por exemplo, a organização do curso, o material didático, a linha metodológica do exercício do pensamento, a oportunidade de estar conversando a respeito da leitura dos textos utilizados e de confrontar o discurso com as experiências, a estratégia de dar oportunidade aos alunos para procurarem suas próprias explicações para experimentos realizados, discutir os empecilhos tecnológicos presentes no desenvolvimento dos primeiros conceitos do eletromagnetismo; conhecer melhor os cientistas que fizeram as descobertas importantes e, simultaneamente, observar o fenômeno, discutir o contexto histórico em que foi descoberto e abordá-lo matematicamente.

O curso de Física Básica IV também mereceu aprovação dos alunos entrevistados, especialmente, daqueles que a cursaram nos últimos anos em que foi oferecida, o que está coerente com o contínuo processo de ajuste por que passou esta disciplina, particularmente, a parte relativa à física moderna. Vários aspectos positivos

foram destacados no curso, como por exemplo, a discussão que tratava do confronto dos modelos da luz como onda e como partícula, as discussões sobre o início da mecânica quântica, experimentos dessa época e alguns cálculos probabilísticos. Além disso, foi considerada relevante a metodologia em que as aulas eram iniciadas com experimento estimulando o aluno a refletir sobre o assunto, somando-se à prática usada pelo professor de estar sempre questionando, fazendo o aluno pensar sobre o que havia ouvido antes, mas que ainda não tinha refletido suficientemente. Outros aspectos salientados foram a sequência dos assuntos apresentados, mostrando a interligação dos eventos, e a oportunidade de aprender a física como uma construção humana, como uma construção cultural. Por outro lado, um dos entrevistados, aluno do primeiro semestre em que esta disciplina foi oferecida, fez uma nítida distinção entre a metodologia utilizada na parte de óptica e na de física moderna.

Quanto aos motivos que os levaram a cursar as disciplinas Física Básica III e IV, três dos entrevistados afirmam que foram motivados a se matricular nestas disciplinas em razão da boa impressão causada pela disciplina Física Básica I e, dois deles, pela boa impressão deixada pelas disciplinas Física Básica I e II. Outros três disseram que se matricularam em Física Básica III e IV com a intensão de, no futuro, aproveitar a carga horária para eliminar disciplinas do curso diurno ou com o objetivo de cumprir a carga horária mínima de disciplinas optativas. Todos, entretanto, consideram que as Físicas Básicas devem ser obrigatórias para os alunos de licenciatura e três deles, mesmo não lhes sendo perguntado, externaram a opinião de que devem ser obrigatórias também para o bacharelado, às vezes com a exigência de que os professores que ministram as disciplinas sejam aqueles que estejam dispostos a cumprir suas propostas. Um dos entrevistados considera que as Físicas Básicas III e IV devem não só se tornar obrigatórias para o licenciado como também devem ter suas cargas horárias aumentadas.

Os depoimentos dos professores e alunos mostram alguns elementos importantes merecedores de destaque. Primeiro, revelam que a inclusão do projeto das quatro Físicas Básicas, introduzindo mudanças conceituais e metodológicas relevantes, criou condições de reflexão e discussão sobre os currículos dos cursos de Física, diurno e noturno, provocando questionamentos sobre as opções disponíveis para

garantir ao aluno, em sala de aula, o espaço para pensar, discutir e compreender o processo de construção do conhecimento científico. Segundo, revelam que a abordagem centrada nos conhecimentos adquiridos anteriormente pelos alunos, provocou mudanças de atitudes nos mesmos em relação à construção da ciência e do conhecimento humano, especificamente, da Física. Terceiro, mostram que esta estratégia exigiu participação ativa dos alunos, provocando dúvidas, discussões e propostas de solução. Mas não foi só isto. Outros elementos de reflexão, de caráter geral, também foram revelados. O mais importante talvez tenha sido o que questiona a necessidade das Físicas Básicas para garantir a abordagem contextual na formação do licenciado, ou do licenciado e bacharel. Neste caso, é oportuno não só refletir se as Físicas Básicas são essenciais ou não no currículo do Curso de Licenciatura em Física, mas também pensar como garantir que o ensino contextualizado, com uma abordagem simultaneamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual seja praticado em outras disciplinas. Após mais de uma década de experimentação, o projeto das Físicas Básicas revela que uma das principais dificuldades para a utilização da abordagem contextual não é a da ausência de garantias formais, incluídas em ementas, para que possa ser adotada e sim a do reduzido número de professores interessados no desafio da abordagem contextual. É de se notar que o próprio projeto das Físicas Básicas passou por dificuldades com a falta de professores comprometidos com a concepção dessas disciplinas. Há de se esclarecer ainda que o papel das Físicas Básicas não foi, propriamente, o de mostrar que as Físicas Gerais e Experimentais não adotam uma abordagem contextual, porque isto é bem conhecido e aceito por muitos, seu papel foi mostrar que, mesmo não havendo muitos docentes comprometidos com a abordagem contextual, é possível formar professores para o ensino médio, oferecendo-lhes a oportunidade de vivenciar a experiência de um ensino contextualizado, durante seus estudos universitários. A ideia de que todos os professores devem utilizar a abordagem contextual nos cursos que ministram fica, portanto, como meta a ser alcançada e, enquanto isto não for conseguido, pratica-se a contextualização como de fato é possível.

Mas o reduzido número de professores comprometidos com a concepção das Físicas Básicas não é a única dificuldade para a utilização de uma abordagem

contextual. Outras dificuldades existem e uma delas é a ausência de consenso sobre a extensão do projeto das Físicas Básicas para os alunos do bacharelado. Para alguns Físicos, a contextualização não é tão importante para o bacharel quanto é para o licenciado, uma concepção que parece estar relacionada ao velho problema da hierarquização do bacharel em relação ao licenciado, que surge aqui associada à ideia de que o candidato ao bacharelado deve ser treinado intensamente no formalismo matemático, deixando os aspectos não matemáticos da Física a cargo de outros profissionais. Finalmente, pode-se afirmar que as dificuldades apontadas aqui explicam também, pelo menos em parte, porque projetos como este, definido pelas Físicas Básicas, não são adotados em outras instituições de formação de professores.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chega-se assim ao momento de se fazer uma reflexão sobre os principais temas tratados neste trabalho. Para isto será realizada uma síntese dos principais aspectos abordados nos seus diversos capítulos.

Já na Introdução, foram apresentados alguns dados de dois censos realizados pelo INEP, denominados “Perfil do Magistério da Educação Básica – Censo do Professor 97” e “Sinopse do Censo dos Profissionais do Magistério da Educação Básica 2003”, muito significativos para se ter uma ideia das dificuldades que acompanharam e ainda acompanham o ensino de Física, no Brasil e, particularmente, na Bahia. Foi mostrado que a carência de professores licenciados em Física, na Bahia, em 2003, era muito grande, e esta realidade pouco mudou nos últimos anos. A comparação dos dados do Censo de 2003 com os relativos ao número de concluintes em Física, no período 2003-2011, permitiu a conclusão de que, na Bahia, a carência de licenciados em Física, no ano de 2012, ainda era superior a 1.500 profissionais. Um resultado revelador de uma realidade pouco discutida pelos colegiados de ensino de graduação, responsáveis pela formulação de projetos pedagógicos para a formação de profissionais de Física, particularmente de licenciados. A análise dos dados do censo de 2003 revelou também que, além dos baixos salários, existem outros fatores responsáveis pelo reduzido número de jovens interessados em se graduar em Física e ensinar em escolas de nível médio. De acordo com tais dados, na Bahia, em 2003, existiam (e nada garante que hoje seja diferente) seis vezes mais profissionais graduados em outros cursos da área de ciências exatas (trabalhando pelo mesmo salário que seria pago ao Físico), que profissionais graduados em Física, ensinando a disciplina Física, no magistério de Educação Básica, um resultado que recomenda um estudo mais aprofundado para se entender por que isto acontece. Pode-se conjecturar, entretanto, que os alunos se afastam dos cursos de graduação em Física, também em

razão de experiências negativas muitas vezes vividas em sala de aula de Física de nível médio.

No Capítulo 1, foi feita uma breve revisão histórica do desenvolvimento do Curso de Física, diurno, desde sua criação, com o propósito de servir de apoio aos objetivos gerais desta tese, que são os de narrar a história do Curso de Física, Licenciatura, noturno, relatando as inovações incorporadas à sua estrutura curricular e destacando o papel desempenhado pelas Físicas Básicas III e IV na consolidação do projeto das Físicas Básicas. A reduzida demanda pelo curso de Física, principalmente nas décadas de 1940 e 1950, foi apresentada não como uma particularidade da Bahia, mas uma realidade de todo o Brasil, em razão da falta de tradição científica no país. É de notar que, até a década de 1920, não existia curso algum de licenciatura ou bacharelado em Física, no Brasil, nem mesmo em São Paulo e, além disso, até 1930, a Física sequer era uma atividade institucionalizada no país, uma realidade que só começou a mudar na década de 1930. Outro aspecto referido foi que o Curso de Física, diurno, nasceu vinculado à estrutura organizacional da Faculdade de Filosofia da Bahia, na década de 1940, e dela dependeu diretamente, pelo menos até 1960. Além disso, foi citado que o ensino universitário de Física, em nosso estado, até a época da criação da Faculdade de Filosofia, estava restrito ao que era lecionado em disciplinas de poucas escolas isoladas, a exemplo da Escola Politécnica, sendo que nenhuma atividade significativa de pesquisa em Física foi realizada até o final da década de 1950.

Os anos 1960, entretanto, foram de transformações significativas no funcionamento do Curso de Física, na Bahia, seja na sua estrutura organizacional ou local de funcionamento. Estas transformações foram acompanhadas pelo aumento do número de alunos matriculados e do número de concluintes do curso de Física. Nesse período, três foram os momentos que marcaram estas transformações: primeiro, o da criação do Instituto de Matemática e Física, em 1960, com destaque para a participação, como físico, de Ramiro de Porto Alegre Muniz; segundo, o da reestruturação do IMF, em 1964, com destaque para José Walter Bautista Vidal e, terceiro, o da criação do Instituto de Física, em 1968.

A criação do IMF, em que pese as dificuldades iniciais, trouxe novas possibilidades, principalmente, em razão do novo momento econômico vivido pelo

Brasil, em particular, pela Bahia com a descoberta do petróleo. A partir de 1964, com a assunção de Bautista Vidal à chefia do Departamento de Física, alguns membros do IMF orientaram seus interesses para a implantação de um ambicioso projeto de desenvolvimento da Geofísica, na Bahia, para o que recursos foram captados, beneficiando indiretamente o desenvolvimento do ensino e da pesquisa em Física, produzindo, inclusive, o já referido aumento do número de alunos matriculados e de alunos concluintes, em Física, na segunda metade da década de 1960. A mudança frequente de local de funcionamento do Departamento de Física do IMF era um reflexo da importância crescente do projeto da Geofísica.

Ainda no Capítulo 1, foi registrado que o Curso de Física, diurno, consolidou-se, em 1968, ao ser criado o Instituto de Física, uma unidade acadêmica e administrativa, da UFBA, por força do decreto que reestruturou a Universidade Federal da Bahia. Em 1969, com o aumento brusco do número de alunos que ingressaram na universidade como consequência da Reforma Universitária, criou-se uma grande demanda por professores universitários de Física, que foi suprida, em parte, pelos bolsistas de pós-graduação em Geofísica, representando, naquele momento, 44% do total de professores efetivos do recém-criado Instituto de Física, responsáveis por ministrar aulas para alunos de toda a área de ciências exatas, inclusive os de Física, além de alunos de Agronomia, Farmácia e Biologia. A transferência da estrutura organizacional do Instituto de Física para a sua sede atual, entretanto, só se deu a partir do segundo semestre de 1971.

Ao final do Capítulo 1, foi relatado que, apesar do interesse de alguns professores do Instituto de Física por tópicos ligados à Física Teórica e Experimental, na década de 1960, a pesquisa em física básica só foi instalada, formalmente, em 11 de fevereiro de 1974, voltando-se inicialmente para a Física do Estado Sólido (depois ampliada para outras áreas de interesse), sendo acompanhada por uma reforma departamental em que os dois departamentos existentes foram transformados em três, denominados Departamento de Física do Estado Sólido, Departamento de Geofísica Nuclear (hoje Departamento de Física da Terra e do Meio Ambiente) e Departamento de Física da Terra (hoje Departamento de Física Geral), desenvolvendo atividades nas

mais diversas áreas de pesquisa, seja em Física, Geofísica ou Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Após este breve comentário do processo de criação, desenvolvimento e consolidação do Curso de Física, diurno, passaremos agora a comentar o processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Preliminarmente, deve-se destacar que, nas décadas de 1970 e 1980, o Curso de Física, diurno, ampliou-se, passando dos 120 alunos matriculados em 1969 para 304, em 1988, quando ocorreu um lento processo de redução do número de alunos matriculados, até atingir seu mínimo em 1996. Este foi o ano em que se começou a discussão sobre a reformulação dos currículos da Licenciatura e do Bacharelado, diurnos, que resultou, dois anos depois, na criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno.

No Capítulo 2, ficou evidenciado que a proposta de criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, decorreu da necessidade de dar resposta, no âmbito da universidade, aos problemas vividos pelo Curso de Física, diurno, por volta de 1996. Após mais de um ano de discussões no Colegiado de Graduação em Física, o Instituto de Física aprovou a proposta que estava ao alcance dos recursos humanos existentes, à época, da criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, como resposta a pelo menos dois problemas básicos observados no Curso de Física, diurno: o da inadequação de horários de funcionamento do curso e o da desatualização curricular. A proposta de currículo aprovada para o Curso de Física, Licenciatura, noturno, trouxe algumas inovações em comparação à matriz curricular do curso diurno e, entre estas inovações, destaca-se a criação das Físicas Básicas e dos Complementos de Eletricidade, de Mecânica e de Termodinâmica, entre outras disciplinas, que não existiam nos currículos da Licenciatura e do Bacharelado, diurnos.

Já no vestibular de 1999, houve a primeira evidência de que a criação do curso noturno foi uma decisão acertada, pois a expansão de vagas, decorrente da criação deste curso, não impediu que a demanda pelo Curso de Física, diurno, praticamente dobrasse no vestibular de 1999, ao tempo que a do noturno fosse relativamente alta (4,7% candidatos-vaga). De 1998 para 1999, o número de candidatos inscritos para o vestibular de Física quase quadruplicou, passando de 99 para 369 candidatos. Estes números se mantiveram neste patamar, até 2009, reduzindo-se para,

aproximadamente, 3 candidatos-vaga (diurno) e 2,5 candidatos-vaga (noturno) a partir de 2010, um fenômeno que pode estar relacionado com a criação de novos cursos noturnos na UFBA, nos últimos anos. O sucesso não se mostrou somente no aumento da procura pelo Curso de Física no vestibular, mas também na permanência dos alunos no curso. Em 2003, no quinto ano de implantação do curso noturno, o total de alunos matriculados nos cursos diurno e noturno de Física, da UFBA, em Salvador, era de 409 alunos, mais do que o dobro do número de alunos de 1998. Em 2011, esse número era de 474 alunos, em Salvador, sendo 298 do turno diurno e 176 do noturno. Este número de 298 alunos, entretanto, era revelador de que além do aumento do número de alunos matriculados, em razão do aumento de vagas, estava havendo uma forte retenção de alunos no Curso de Física, diurno, pois, na hipótese de não ocorrência de reprovação ou desistência, o número médio de alunos matriculados deveria ser de 400. A partir de 2003, o número de concluintes passou a ser significativo, não só pelo aumento do número de concluintes do curso diurno, a partir de 2000, como também pelo expressivo número de alunos diplomados no curso noturno. Cinquenta por cento dos alunos que ingressaram na primeira turma do Curso de Física, Licenciatura, noturno, colaram grau até 2003, um número elevado, considerando os padrões dá área. A média de concluintes por ano, nos cursos diurno e noturno, no período de 2003 a 2011 foi de 40 concluintes-ano, um número oito vezes superior ao do período 1962-1968, e quatro vezes superior ao do período 1969-1998.

Estes resultados revelam o quanto foi acertada a decisão da criação do Curso de Física Licenciatura, noturno, mesmo num período de esvaziamento por que passava o Curso de Física, diurno, em meados da década de 1990. Tal esvaziamento era caracterizado pela redução paulatina do número de alunos matriculados no Curso de Física, diurno, e pela simultânea diminuição do número de concluintes. O desligamento voluntário dos alunos, em meados da década de 1990, parecia desaconselhar a abertura de mais vagas para o curso de graduação em Física, da UFBA e, consequentemente, parecia não recomendar a criação de um novo Curso de Física, nesta universidade. Estas dúvidas, entretanto, não impediram que a decisão pela criação fosse tomada, apesar da impossibilidade de contratação de novos professores, que implicava na distribuição da carga horária das disciplinas do curso noturno, pelos

docentes já existentes, naquele período. A avaliação que se fazia era a de que havia um número elevado de candidatos desejosos de realizar um curso superior, até então sem acesso à universidade, o que de fato se confirmou. O esvaziamento de curso, em meados da década de 1990, não era, entretanto, uma particularidade do Curso de Física. Outros cursos passavam por um fenômeno semelhante, a exemplo do Curso de Química, mas isto não era o que acontecia com todos os cursos de graduação da UFBA, pelo menos na intensidade que ocorria com o de Física e de Química.

Ainda no Capítulo 2, foi apresentado um levantamento completo dos cursos de Licenciatura e Bacharelado, existentes na Bahia, até 2011, onde se pode constatar que, até esse ano, seis eram as instituições que ofereciam curso de Física neste Estado, num total de 370 vagas, sendo 170 na capital e 200 no interior e que, até o ano de 2011, já haviam sido graduados, na Bahia, 1.145 profissionais, sendo 741 licenciados e 404 bacharéis.

Após estas discussões sobre a criação e evolução do Curso de Física Licenciatura, noturno, foi discutido o papel desempenhado pelas Físicas Básicas no desenvolvimento deste curso, com destaque para as Físicas Básicas III e IV.

Apesar do projeto das Físicas Básicas mostrar-se, inicialmente, uma incógnita em virtude de não se conhecer experiência igual em outras universidades do país, sua viabilidade foi confirmada após o oferecimento da disciplina Física Básica I, que alcançou enorme sucesso e estabeleceu, naturalmente, o enfoque que poderia ou deveria ser dado às demais Físicas Básicas, respeitando as especificidades dos conteúdos de cada uma delas. A experiência mostrou que o curso de Física Básica II foi o que mais se distanciou da concepção original das Físicas Básicas, de um espaço para um estudo contextualizado. As disciplinas Física Básica III e IV, apesar das dificuldades, entretanto, foram ministradas dentro deste enfoque e seus resultados foram apresentados e discutidos, em detalhes, nos capítulos seguintes.

No Capítulo 3, ficou evidenciado que, apesar de ser de natureza optativa, a disciplina Física Básica III ofereceu uma oportunidade privilegiada para a apresentação do eletromagnetismo utilizando uma abordagem contextual, revelando que a maior importância deste tipo de curso não está no estudo da História da Ciência (História da Física) em si, ou na realização de experimentos demonstrativos, conteúdos ou

atividades que, separadamente, poderiam ser supridos por outras disciplinas especificas, mas no fato de garantir um espaço bem definido, onde são ministrados conteúdos importantes, através de uma abordagem que explora, simultaneamente, aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais. Por outro lado, a prática em sala de aula revelou que muitos tópicos apresentados neste curso de preparação de professores, a exemplo do conceito de campo e de diferença de potencial, na forma como foram ministrados, são apropriados somente para alunos que tenham passado pela vivência da escola de nível médio. A linguagem utilizada, o aprofundamento possível de ser alcançado e o tempo para a apresentação desses assuntos (um semestre) não impedem, entretanto, que alunos maduros, mesmo sem estudos preliminares aprofundados de nível médio, acompanhem o curso.

As opiniões avaliativas dos alunos obtidas através de questionários respondidos no primeiro semestre de 2012, ou através da metodologia da história oral, revelam boa aceitação do curso de Física Básica III, tanto no que diz respeito ao seu conteúdo quanto à abordagem utilizada.

Ainda no Capítulo 3, observou-se que a natureza optativa de Física Básica III não influiu significativamente nessa experiência de ensino, em razão do elevado número de alunos que optaram em cursá-la. A média de alunos matriculados, ao longo de 13 anos, foi de aproximadamente 22 alunos por semestre um número muito significativo para os padrões de disciplinas optativas, destinadas a alunos de um único curso. Constatou-se que, no período de 13 anos em que foi oferecida, o número total de alunos matriculados foi de 285, com 170 aprovações, um número bem maior do que o total de alunos diplomados pelo Curso de Física, Licenciatura, noturno, no mesmo período, que foi de 144. Além disso, a análise detalhada de dois anos específicos deste período, 2007 e 2008, escolhidos aleatoriamente, revela que, em 2007, por exemplo, dos 17 alunos concluintes da Licenciatura, noturno, 13 cursaram e foram aprovados em Física Básica III (77%) e 4 não a cursaram. Em 2008, algo semelhante foi constatado, dos 12 alunos concluintes da Licenciatura, noturno, 10 cursaram e foram aprovados em Física Básica III (83%) e 2 não a cursaram.

A proposta das Físicas Básicas, na qual está incluída Física Básica III, mostrou uma falha presente na concepção tradicional dos currículos dos cursos de Licenciatura

em Física, quando estes compartimentam os conteúdos de forma rígida, praticamente não abrindo espaço para que pelo menos parte dos conteúdos de física possa ser estudada de forma articulada com outros saberes, deixando-se a cargo do professor a iniciativa de fazer esta articulação, quando possível. A experiência de ensino realizada, através da disciplina Física Básica III, mostrou ser necessário haver espaço definido nos cursos universitários de preparação de professores para tratar a ciência como parte de um processo histórico amplo, explorando outros aspectos que não só o puramente formal. Além disso, evidenciou que este tipo de enfoque, em que os aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais são tratados simultaneamente, também é acompanhado de dificuldades operacionais, sendo duas delas merecedoras de destaque: a falta de um livro-texto apropriado e o reduzido número de professores motivados a ministrar cursos dessa natureza, isto é, com características artesanais, com uma forte exigência de preparação de experimentos demonstrativos articulados com o contexto em que o conteúdo científico foi produzido, e também de uma forte dependência de material didático para dar suporte às discussões realizadas. Tais dificuldades, entretanto, não inviabilizam o projeto das Físicas Básicas, pelo contrário, torna-o mais desafiador.

No caso de Física Básica IV, foi evidenciado, no Capítulo 4, que suas características são muito semelhantes às de Física Básica III, exceto quanto ao conteúdo. Apesar da natureza optativa também dessa disciplina, o relato detalhado do desenvolvimento do curso mostra que a mesma oferece condições muito favoráveis para a apresentação da óptica e física moderna, utilizando uma abordagem contextual. Estas condições foram aproveitadas para se estruturar um curso introdutório, centrado no conceito de dualidade onda-partícula, o que se revelou uma maneira particularmente simples de se introduzir noções de física quântica para alunos universitários iniciantes. Para isto, partiu-se do pressuposto de que a trajetória de desenvolvimento da física que levou ao surgimento da física quântica coincide com a trajetória seguida pelos cientistas na investigação da natureza da luz, o que, em termos práticos, levou à escolha da utilização do confronto dos modelos de onda e partícula como guia para a estruturação de todo o curso.

Como foi observado para o caso de Física Básicas III, onde se estuda o eletromagnetismo, este tipo de enfoque no curso de Física Básica IV, onde se estuda óptica e física moderna, é também acompanhado de dificuldades que podem ser exemplificadas também pela falta de um livro-texto adequado e pelo número insuficiente de professores motivados a ministrar cursos dessa natureza, além, é claro, da falta de salas de aula e equipamentos adequados para este tipo de curso. Apesar das dificuldades, em respostas escritas a questionários distribuídos pelo professor, os alunos dos semestre 2001.2 e 2011.2 aprovaram os cursos ministrados através da disciplina Física Básica IV, fato evidenciado nas entrevistas com alunos realizadas com base na metodologia da história oral.

Essas experiências de ensino realizadas através das disciplinas Física Básica III e IV permitem afirmar que a abordagem utilizada em tais cursos apresentou algumas vantagens em relação a alguns cursos tradicionais, ajudando **o** aluno a perceber que o conhecimento científico se modifica historicamente e mostrando que a Física resulta da relação do homem com o mundo e com outros homens na busca de novos saberes. Além disso, reduziu significativamente o alegado problema da fragmentação de conteúdos, comum nos cursos tradicionais, oferecendo ao aluno a oportunidade de discutir fenômenos diretamente relacionados ou que podem ser relacionados ao nosso cotidiano e mostrando como aplicar em sala de aula a ideia muito difundida nos meios acadêmicos de que História e Filosofia da Ciência podem e devem ser utilizadas para melhorar a aprendizagem dos conteúdos de Física.

No Capítulo 5, uma pesquisa qualitativa, utilizando a metodologia da história oral, sobre a repercussão das Físicas Básicas na formação dos licenciados, especialmente de Físicas Básicas III e IV, revelou que a experiência com estas disciplinas foi muito positiva, desempenhando um papel fundamental para evidenciar as limitações das Físicas Gerais e Experimentais, na forma como são atualmente concebidas. Entretanto, alguns dos professores entrevistados não consideram as Físicas Básicas como disciplinas essenciais à estrutura curricular do Curso de Física, sugerindo que seus conteúdos e atividades possam ser ministrados através de outras disciplinas e consideram que o essencial é a garantia da presença da abordagem contextual na formação dos licenciados em Física, e não a presença das Físicas Básicas, não

explicitando, entretanto, como, na ausência destas, isto pode ser conseguido. Para um dos professores entrevistados, estas disciplinas, apesar de bem aceitas pelos alunos e por professores, devem ser consideradas provisórias, devendo existir apenas enquanto seus conteúdos e métodos não forem incorporados às Físicas Gerais e Experimentais. Além disso, considera que o avanço alcançado recentemente com a inclusão destas disciplinas no currículo do Curso de Física, diurno, deve ser considerado apenas parte de um processo de aperfeiçoamento do ensino de Física no Instituto de Física da UFBA e que, no futuro, tais disciplinas devem ser integradas às Físicas Gerais e Experimentais.

Os alunos, por sua vez, consideraram a experiência das Físicas Básicas como fundamentais e revelaram ter visto nestas disciplinas conteúdos e métodos importantes para a formação de professores, até mesmo para a formação do bacharel. Não só aprovaram o projeto das Físicas Básicas como disseram que deve ser estendido para o curso diurno. Foram unânimes quanto ao papel que a História e Filosofia da Ciência, especialmente História da Física, desempenham na estrutura das Físicas Básicas e também a importância da parte experimental como motivadora das discussões realizadas, especialmente nas Físicas Básicas III e IV.

Oito dos nove alunos entrevistados em nenhum momento sugerem a extinção das Físicas Básicas nem propõem a modificação das Físicas Gerais e Experimentais-E para incorporar os conteúdos e métodos das Físicas Básicas. Nenhum faz referência à tentativa já realizada de oferecer melhores condições de ensino-aprendizagem através da criação das Físicas Gerais e Experimentais-F, com 10 horas de aulas semanais. É oportuno registrar que as inovações esperadas com a criação destas últimas disciplinas não se concretizaram, provavelmente, porque apenas ofereceram mais conteúdos sem explorar os aspectos históricos e filosóficos da Física, sem realizar experimentos demonstrativos significativos e sem exercitar uma abordagem diferente daquela utilizada nas disciplinas de 6 horas semanais, denominadas Físicas Gerais e Experimentais - E.

Apesar da aprovação unânime do projeto como um todo, os alunos fazem críticas específicas aos cursos ministrados nas disciplinas Física Básica I e II, especialmente a II, em alguns dos semestres em que foram oferecidas. Tais críticas

têm como alvo o não comprometimento do professor com o ensino contextualizado, revelando ser esta a principal dificuldade a ser superada pela proposta.

A ideia de que uma eventual reformulação das Físicas Gerais e Experimentais possa excluir as Físicas Básicas do currículo não leva em conta dois fatos importantes: primeiro, a forte dependência que as Físicas Básicas têm do comprometimento do professor com seus objetivos e métodos e, segundo, o fato de que uma tentativa de aperfeiçoar as Físicas Gerais e Experimentais já foi feita e não houve resultados semelhantes àqueles produzidos pelas Físicas Básicas, tanto que as Físicas Gerais e Experimentais–F foram extintas recentemente (2013).

No caso específico de Física Básica III e IV, foco do nosso trabalho, a aprovação dos alunos ao conteúdo e abordagem utilizados foi inquestionável, exceto em um ou outro detalhe. No geral, os entrevistados aprovaram a abordagem, simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, citando o desenvolvimento histórico e os experimentos realizados como os aspectos que mais lhes chamaram atenção neste curso, Além disso, dão destaque à organização do curso, ao material didático, à linha metodológica utilizada e à oportunidade de, simultaneamente, observar o fenômeno, discutir o contexto histórico em que foi descoberto e abordá-lo matematicamente, entre outros pontos positivos.

Assim como no caso de Física Básica III, o curso de Física Básica IV também mereceu aprovação dos alunos entrevistados, especialmente daqueles que a cursaram nos últimos anos em que foi oferecida, tendo sido destacados vários aspectos positivos, a exemplo da sequência dos assuntos apresentados, da discussão que tratava da natureza da luz, das discussões sobre o início da mecânica quântica, dos experimentos dessa época, da metodologia de começar a aula com experimento e levar o aluno a refletir sobre o mesmo, e ainda da oportunidade de aprender a física como cultura humana, entre outros.

Os alunos vão mais adiante e consideram que, assim como as Físicas Básicas I e II, também as Físicas Básicas III e IV devem ser obrigatórias para a licenciatura e três deles, mesmo não lhes sendo perguntado, externaram a opinião de que devem ser obrigatórias também para o bacharelado, desde que os professores que ministram as disciplinas sejam aqueles que estejam comprometidos com os seus objetivos.

Os comentários feitos até aqui permitem afirmar que a inclusão do projeto das quatro Físicas Básicas, introduzindo mudanças conceituais e metodológicas relevantes, criou condições de reflexão e discussão sobre os currículos dos cursos de Física, diurno e noturno, provocando questionamentos sobre as opções disponíveis para garantir ao aluno, em sala de aula, o espaço para pensar, discutir e compreender os processos de construção do conhecimento científico. O mais importante questionamento talvez tenha sido o que pôs em discussão a necessidade das próprias Físicas Básicas para garantir a abordagem contextual na formação do licenciado, ou do licenciado e bacharel. Neste caso, é necessário refletir se as Físicas Básicas são ou não essenciais no currículo do Curso de Licenciatura em Física e, se não são, onde uma abordagem simultaneamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual poderia ser adotada. Não é demais salientar, entretanto, que ao longo de mais de uma década de experimentação, o projeto das Físicas Básicas mostrou resultados muito positivos (em que pese as dificuldades enfrentadas), evidenciando que a vantagem das Físicas Básicas é a de oferecer ao professor um espaço específico, onde ele é colocado diante de uma audiência que espera por uma abordagem contextual, o que o motiva a preparar o curso com este enfoque.

Pode-se concluir que os objetivos desta tese foram alcançados, na medida em que foram respondidas as principais questões latentes neste estudo. Neste trabalho, **a)** foi feita a narrativa do processo de criação e desenvolvimento do Curso de Física, Licenciatura, noturno, **b)** foram apresentadas as inovações acadêmico-pedagógicas incluídas na sua matriz curricular, com vistas a melhorar a formação dos licenciados, a exemplo da criação das Físicas Básicas e dos Complementos de Eletromagnetismo, de Mecânica e de Termodinâmica, e **c)** foi relatado o papel desempenhado pelas Físicas Básicas III e IV na consolidação do projeto das Físicas Básicas.

Além dos objetivos referidos, este trabalho contribuiu para o resgate histórico do Curso de Física, na Bahia, desde seus primórdios na Faculdade de Filosofia e para evidenciar que o projeto das Físicas Básicas, além de necessário, é consistente e viável, em que pesem todas as dificuldades identificadas e aqui relacionadas. Este trabalho revelou que tal projeto é um caminho eficaz, apesar de exigente, para se garantir uma abordagem contextual num curso de preparação de professores, sendo

também aplicável ao bacharelado, conforme ficou evidenciado na recente reformulação curricular (2013) dos cursos de física, realizada no Instituto de Física da UFBA, que estendeu a ideia das Físicas Básicas não só ao currículo da licenciatura, diurno, como também ao do bacharelado. Finalmente, o projeto das Físicas Básicas revelou-se uma proposta original, não encontrada em outras universidades do país.

Ao longo deste trabalho alguns temas mostraram-se merecedores de estudos adicionais ou mais aprofundados. A seguir serão relacionados os principais deles para futuras investigações: **a)** estudo comparativo do impacto das Físicas Básicas na formação dos licenciados, confrontando os resultados obtidos pelos alunos da UFBA, com os de outas universidades, onde não existem disciplinas deste tipo, **b)** estudo das razões que provocaram um esvaziamento nos cursos universitários da UFBA, em meados da década de 1990, estendendo tal estudo para abranger outras universidades do país, **c)** identificação dos setores do mercado de trabalho que absorveram os profissionais graduados em Física, nos últimos 30 anos, e **d)** estudo das razões que afastam os licenciados em Física, não só os da Bahia, do exercício da profissão de professor de nível médio, enquanto muitos profissionais graduados em matemática e em outras especialidades da área de ciências exatas aceitam ministrar aulas de Física pelo mesmo salário.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, Maria P.; FERNANDES, Tânia M. *O Diálogo da História Oral com a historiografia contemporânea.* In: **História Oral, Teoria, Educação e Sociedade**. Viscardi, Cláudia M. R.; Delgado, Lucília de A. N. (orgs) Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2006.

ARAÚJO, Roberto P. C. de, *et al*. **UFBa: O Ensino de Graduação em Debate**. Salvador: Empresa Gráfica da Bahia, julho de 1996.

AZEVEDO, Antônio E. G. de. *Depoimentos*. **Cadernos do IFUFBA**. Org. Aurino Ribeiro Filho. Ano I, n. 4, setembro. 1985.

BOAVENTURA, Edivaldo M. **A Construção da Universidade Baiana**. Salvador: EDUFBA, 2009

BRASIL – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS - INEP. **Perfil do Magistério da Educação Básica - Censo do Professor 97**. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/basica-censo>. Acesso em: 27 jul. 2012.

BRASIL – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS INEP. **Sinopse do Censo dos Profissionais do Magistério da Educação Básica 2003. Disponível em:** <http://portal.inep.gov.br/web/guest/basica-censo>. Acesso 27 jul. 2012.

CAVALCANTE, Marisa, A. e HAAG, Rafael. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, 2005.

CAMARGO, Aspásia B. A. *Como a História Oral chegou ao Brasil. Entrevista concedida a Maria C. D`Araújo*, em dezembro de 1998. Disponível em <

http://revista.historiaoral.org.br/index.php?journal=rho&page=article&op=view&path%5B%5D=15>. Acesso em: 7 jun. 2012.

CARVALHO, Laerte R. de. *Ensino Superior e Universidade*. In: SOUZA, Paulo N. P. de **Estrutura e Funcionamento do Ensino Superior Brasileiro**, São Paulo, Pioneira, 1991.

CARVALHO NETO, R. A. de; FREIRE JÚNIOR, O.; ROCHA, J. F. M. **Ideação***,* Feira de Santana, n. 3, p. 51-68, Jan/jun. 1999.

CATUNDA, Omar. *Depoimento*, **Cadernos do IFUFBA**. Aurino Ribeiro Filho (org.) Salvador, Ano I, n. 3, julho. 1985.

CERQUEIRA, Paulo, de M. P. **Pasta funcional**. Atestado, 1972. Salvador, Arquivo da Escola Politécnica, 1972.

CULLITY, B. D., **Elements of X-Ray Difraction**. Massachusetts, EUA, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1978.

CUNHA, Waldez A. da. **Pasta Funcional**. *Curriculum vitae*, 1963. Arquivo do Instituto de Física da UFBA, 1963.

_____. *Depoimento.* **Cadernos do IFUFBA***.* Aurino Ribeiro Filho (org.). Ano I, n. 1, outubro, 1984.

_____. *Depoimento.* **Cadernos do IFUFBA**. Aurino Ribeiro Filho (org.). Ano I, Número 2, maio, 1985.

_____. *Um mestre e sua Aula*. *Depoimento.* **Cadernos do IFUFBA***.* Aurino Ribeiro Filho (org.). Ano 9, v. 6, ns. 1 e 2, outubro, 1993.

DIAS, André L. M. **Engenheiros, Mulheres, Matemáticos Interesses e Disputas na Profissionalização da Matemática na Bahia (1896-1968)**. Salvador: UFBA, 2002. Tese (Doutorado em História Social) - Programa de Pós-Graduação em História Social. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

_____. *O Instituto de Matemática e Física da Universidade da Bahia: atividades matemáticas (1960-1968)*, **História Ciência, Saúde – Manguinhos.** Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 1049-1075, out.-dez. 2008.

_____. *A Universidade e a Modernização Conservadora na Bahia: Edgard Santos e os Institutos Científicos.* Disponível em: <http://www.uesb.br/anpuhba/artigos/anpuh_I/andre_luis_mattedi.pdf>. Acesso em: 22 out. 2012.

_____. *Uma História da Educação Matemática na Bahia*, In: XXVI Simpósio Nacional de História, 2011, São Paulo, Anais ANPUH. São Paulo, julho de 2011. p. 10.

FACULDADE DE FILOSOFIA (Universidade da Bahia), **Diplomados pela Faculdade de Filosofia de 1945-1958 – Bacharéis e Licenciados**. Arquivo da FFCH-UFBA, 1945.

FACULDADE DE FILOSOFIA (Universidade da Bahia). **Pastas funcionais de alunos do Curso de Física.** 1952, 1956, 1957, 1958, 1963 e 1964. Arquivos da FFCH-UFBA, 1952.

FERREIRA, Marieta de M. **História, tempo presente e história oral**. Disponível em: <http://www.revistatopoi.org/numeros_anteriores/topoi05/topoi5a13.pdf>. Acesso em: 1.º nov. 2012.

FRANCA, Alípio. **"Escola Normal da Bahia" – "Memória Histórica" – 1836-1936**. [S.I. : s.n.]. Brochura existente na Biblioteca do "Centro Estadual de Educação Profissional em Apoio Educacional e Tecnologia da Informação Isaías Alves¨. Salvador, 1936.

FREIRE, Inês A. A. **Ensino de Matemática: Iniciativas Inovadoras no Centro de Ensino de Ciências da Bahia (1965-1969)**. Salvador: UFBA, 2009. Dissertação (Mestrado e História da Matemática) - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

FREIRE JÚNIOR, Olival *et al*. *Introducing Quantum Physics in Secondary School*. In: Third International, Philosophy and Science Teaching Conference, 1995, Minnesota, v. 1, p. 412-419. Resumo.

GRECA, Ileana M. R. **"Construindo significados em Mecânica Quântica: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral"**, Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

IFUFBA - REUNIÃO DOS DOCENTES DE FÍSICA, **Livro de Atas**, 09.08.68 a 31.10.74. Arquivo do Instituto de Física da UFBA, 1968.

IFUFBA - DEPARTAMENTO I, **Livro de Atas**, 06.06.69 a 31.10.74. Arquivos do Instituto de Física da UFBA, 1969a.

IFUFBA - DEPARTAMENTO II, **Livro de Atas**, 06.06.69 a 24.10.74. Arquivos do Instituto de Física da UFBA, 1969b.

IFUFBA - CONSELHO DEPARTAMENTAL, **Livro de Atas,** 01.08.69 a 15.06.78. Arquivo do Instituto de Física da UFBA, 1969c.

IFUFBA - CONGREGAÇÃO, **Livro de Atas**, 27.04.71 a 18.04.80. Arquivo do Instituto de Física da UFBA, 1971.

IFUFBA - INSTITUTO DE FÍSICA DA UFBA - Colegiado de Graduação em Física, **Projeto Pedagógico Curso Noturno de Licenciatura em Física**. Autorização para funcionamento aprovada pela Câmara de Ensino de Graduação em sessão de 14 de maio de 1998 - Parecer 116/98.

IFUFBA - INSTITUTO DE FÍSICA da UFBA – Colegiado de Graduação em Física. **Instalação do Curso de Física na Faculdade de Filosofia**. Documentos enviados pela Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas ao Colegiado de Graduação em Física. Jan/1999.

IFUFBA - INSTITUTO DE FÍSICA DA UFBA – Colegiado de Graduação em Física. **Relatório da disciplina FIS139 – Física Básica I – Semestre 1999.1**, entregue pelo Professor Dr. Olival Freire Júnior ao Departamento de Física Geral do Instituto de Física da UFBa, com cópia para o Colegiado de Graduação em Física, em novembro de 1999.

IFUFBA - INSTITUTO DE FÍSICA DA UFBA – Colegiado de Graduação em Física. **Cadernetas de Física Básica IV** de 2000 a 2011.

IFUFBA - INSTITUTO DE FÍSICA DA UFBA – Colegiado de Graduação em Física **Cadernetas de Física Básica III** de 2000 a 2012.

IMF – INSTITUTO DE MATEMÁTICA E FÍSICA – **Regimento Interno.** Arquivo do IM-UFBA, 1963.

IMF - INSTITUTO DE MATEMÁTICA E FÍSICA – **Convênio** entre a Faculdade de Filosofia e o IMF, firmado em 21 de dezembro de 1964. Arquivo do IM-UFBA, 1964.

IMF – INSTITUTO DE MATEMÁTICA E FÍSICA, Departamento de Física, **Relatório de Atividades**. Arquivo do IM-UFBA, 1966.

MARTINS, Roberto de A. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, vol. 10, p. 98-114, 1986.

MATTHEWS, Michael R. **Science Teaching, The Role of History and Philosophy of Science**, New York: Routledge, 1994.

MEIHY, José S. B; RIBEIRO, Suzana L. S. **Guia prático de história oral**. São Paulo: Editora Contexto, 2011.

MOREIRA, Marco A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2004.

NEWTON, Isaac. **Óptica**, São Paulo: Edusp, 1996.

PRADO, Fernando D; HAMBURGER, E. W. *Estudos sobre o curso de Física da USP em São Paulo*. In: **Pesquisas em Ensino de Física**. Roberto Nardi (org.). 3ª edição. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, 2004, p. 31.

PRÓ-REITORIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO DA UFBA, Setor de Informação e Documentação. Dados Acadêmicos: **Matrícula**, **Física**. 1952-2012. (1952).

PRÓ-REITORIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO DA UFBA, Setor de Informação e Documentação. **Evolução do Concurso Vestibular Física e Física Noturno** 1990-2012. (1990).

PRÓ-REITORIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO DA UFBA, Setor de Informação e Estatística. Dados Acadêmicos: **Matrícula** - **Área 1** – Matemática, Ciências Físicas e Tecnologia. 1990-2011. (2011).

PRÓ-REITORIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO DA UFBA, Setor de Informação e Documentação. **Relação de Cursos da UFBA, em 2012, por Modalidade e Turno.** 2012. (2012).

RAMOS, Álvaro da S. *Depoimentos*. **Cadernos do IFUFBA**. Aurino Ribeiro Filho (org.). Ano I, n. 2, maio/1985.

RIBEIRO FILHO, Aurino *A História do Desenvolvimento do Ensino e da Pesquisa em Física na Bahia: Notas Introdutórias*. **Publicações do IFUFBa**, n. 13, agosto, 1996.

_____. **Cadernos do IFUFBA**. Publicação do IFUFBA. Ano I, n. 2, maio, 1985, p. 36.

ROCHA**,** José. F. M.; RIBEIRO FILHO, A. **Ideação**, Feira de Santana, n. 3, p. 101-129, jan/jun.1999.

ROCHA, José. F. M. (org.) *et al*. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002. (2002a).

ROCHA, José. F. M. "Origem e Evolução do Eletromagnetismo". In: **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Org. ROCHA, J. F. M. (org.). Salvador: EDUFBA, 2002. (2002b).

_____. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 1604, 2009.

_____. **Ciência Hoje**, n. 284, volume 48, p. 72-74, agosto, 2011.

_____. **Ciência Hoje**, n. 290, volume 49, p. 4, março, 2012.

_____. "O conceito de *´dualidade onda-partícula*` em sala de aula". Em processo de submissão para publicação desde dez./2012.

ROCHA, José. F. M.; MORENO, Roberto R. de M. **Ciência Hoje,** n. 305, vol. 51, p. 58-59, julho de 2013.

SCHRÖDINGER, Erwin. **Collected Papers on Wave Mechanics**. Providence, Rhode Island: AMS Chelsea Publishing, American Mathematical Society, 1982.

SAVIANI, Dermeval. **A Nova Lei da Educação.** Campinas: Editoras Autores Associados, 1997.

SIMÕES, Roberto. **A Faculdade de Filosofia e sua Identidade Perdida**. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBa, 1990.

SOUZA, Paulo N. P. de. **Estrutura e Funcionamento do Ensino Superior Brasileiro**, São Paulo: Pioneira, 1991.

SUPERINTENDÊNCIA ACADÊMICA DA UFBA – Setor de Currículo. **Pastas de currículos de Física**, 1969.

SUPERINTENDÊNCIA ACADÊMICA DA UFBA, Setor de Diplomas. **Livros de registro de diplomas (Números 7, 26 e 26A)**.

SUPERINTENDÊNCIA ACADÊMICA da UFBA, Setor de Diplomas. **Pastas de concluintes em Física**.

TEIXEIRA, Elder S. **Argumentação e Abordagem Contextual no Ensino de Física.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010. Disponível em: https://twiki.ufba.br/twiki/pub/PPGEFHC/DissertacoesPpgefhc/Elder_Sales_Teixeira_2010.pdf. Acesso em: 30 out. 2013.

TRICKER, R. A. R. **Early Eletrodynamics – The First Law of Circulation**, Oxford: Pergamon Press, 1965.

WELTNER, Klaus *et al*. *Das Schwerependel als empfindlicher Kraftmesser. In: Auberschulisches Lernen in Physik und Chemie*, 2003, Hamburg. Gesellshafttur Didaktik der Chemie und Physik (GDCP), 2003. v. 23. p. 280-282. Resumo completo.

_____. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 21, n. 2: p. 258-269, agosto, 2004.

_____. **Caderno Catarinense de Ensino de Física,** v. 21, Edição Especial, p. 227-238, novembro, 2004.

VIDAL, José W. B. *Depoimentos*. **Cadernos do IFUFBA**. Aurino Ribeiro Filho (org.). Ano I, n. 3, julho, 1985.

_____. **Pasta funcional**. Carta à Congregação da Escola Politécnica, de 8 de setembro de 1964. Salvador, Arquivo da E. Politécnica da UFBA, 1964.

APÊNDICES

Observação: os Apêndices 1, 2, 3 e 4, Artigos 1 e 2 e Anexos 1 e 2 estão também disponíveis na forma de arquivos eletrônicos, no final desta tese.

Apêndice 1

Os Modelos Curriculares de Formação dos Licenciados

J. F. M. Rocha

A primeira tentativa de institucionalizar a formação de professores (primários) no Brasil data da década de 1830, com a criação das Escolas Normais nas principais cidades brasileiras, inclusive Salvador. A Escola Normal da Bahia foi criada em 14 de abril de 1836 e "foi posta em exercício" em 1842. Essas escolas tinham a função de preparar docentes para ensinar as primeiras séries ([1]).

Para o nível secundário, entretanto, não havia preparação específica de professores. Atuavam, nesse nível de ensino, egressos de cursos superiores e também outros interessados que fossem considerados aptos para exercer a função. Este panorama perdurou por cem anos, até aproximadamente 1930.

Somente na década de 1930, surgiram os primeiros cursos de licenciatura por força da criação de Faculdades de Filosofia, no Brasil, a exemplo da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, criada junto com a Universidade de São Paulo em 25 de janeiro de 1934, e da Faculdade Nacional de Filosofia, no Distrito Federal, criada em 4 de abril de 1939, como parte da antiga Universidade do Brasil, atual Universidade Federal do Rio de Janeiro (fundada em 7 de setembro de 1920). Nessas e em outras faculdades de Filosofia da época, o modelo de formação para o licenciado era geralmente inspirado no modelo francês, conhecido como 3+1. Este modelo constava de duas partes: a primeira compreendia as disciplinas científicas propriamente ditas e durava três anos, após os quais o aluno adquiria o título de bacharel (em Letras, Matemática, Física ([2]) etc. - conforme sua opção); a segunda parte compreendia o curso de didática e durava um ano, e após a conclusão o aluno recebia o título de licenciado (em Letras, Matemática, Física, etc. conforme o caso). Na Faculdade de Filosofia da Bahia, com suas primeiras turmas iniciadas em março de 1943, o regime didático dos seus cursos só teve início em 1946.

Até 1945, antes das primeiras turmas da Faculdade de Filosofia da Bahia iniciar o seu regime didático, a matrícula nos cursos de didática das faculdades de Filosofia só era autorizada, se o aluno tivesse o título de bacharel, em um curso reconhecido. A partir de 1946, entretanto, no quarto ano da implantação da Faculdade de Filosofia da Bahia, isto é, no mesmo ano em que foi iniciado o regime didático nesta Faculdade, as exigências passaram a ser outras. Uma alteração importante foi a ampliação para quatro anos do tempo de estudo

---

[1] "A Lei de 14 de Abril de 1836, que instituiu na Província o curso normal com professores que tinham sido mandados à Europa estudar especialmente as matérias que o compõem, é um fato memorável nos anaes provinciaes", diz o Diretor Geral da Instrução Pública, em 1871, em seu relatório ao Presidente da Província. (FRANCA, A., *"Escola Normal da Bahia" – "Memória Histórica" – 1836-1936. Brochura*. Biblioteca do Centro Estadual de Educação Profissional em Apoio Educacional e Tecnologia da Informação Isaías Alves. Salvador.

[2] De acordo com Luís Carlos de Menezes (MENEZES, Luís C. de. "Vale a Pena ser Físico?" São Paulo, Editora Moderna, 1988), a Física no Brasil, enquanto atividade institucional, começou na década de 1930, quando o físico ucraniano Gleb Wataghin, naturalizado italiano, recém-chegado à Universidade de São Paulo, vindo da Itália, orientou os primeiros trabalhos em Física de três estudantes de engenharia interessados nessa ciência: Mário Schenberg, Marcelo Damy de Souza Santos e Paulus Pompéia. No Rio de Janeiro, na mesma década, Bernard Cross foi convidado pelo Instituto Nacional de Tecnologia e ainda no Rio de Janeiro, Jayme Tiomno e José Leite Lopes iniciaram a Física na antiga Universidade do Brasil.

necessário para a obtenção do diploma de bacharel, igualando-se ao que era exigido para a obtenção do diploma de licenciado. De acordo com André Dias (2011) ([3]):

> *"Para os três primeiros anos havia um currículo fixo, enquanto que no quarto ano, para obter a licenciatura, os alunos deveriam receber formação didática, teórica e prática, no ginásio de aplicação, além de cursos de psicologia aplicada à educação. Aqueles que não quisessem a licenciatura poderiam cursar durante o quarto ano cadeiras complementares oferecidas na faculdade que receberem o diploma de bacharel."*

O modelo chamado de 3+1 não deixava de ter seus méritos, mas certamente exigia mais do aluno do que poderia oferecer-lhe como recompensa a seu esforço em termos de valorização e prestígio social. Este modelo perdurou até 1962, ano em que, com base na Lei de Diretrizes e Base da Educação (Lei n.º 4.024, de 20 de dezembro de 1961), o então Conselho Federal de Educação definiu um novo modelo de currículo para o curso de Licenciatura em Física, com a exigência do chamado currículo mínimo (Parecer 296/62 do Conselho Federal de Educação e Resolução s/n, de 17/11/1962, também do CFE). Na prática, esta exigência criou um modelo que poderia ser denominado 2+2 em que os primeiros dois anos passaram a ser destinados a disciplinas comuns a licenciados e bacharéis.

Em 1968, os cursos de formação de professores passaram por novas mudanças, em razão da chamada reforma universitária, que, na Bahia, teve início com o Decreto n.º 62.241, de 8 de fevereiro de 1968, responsável pela reestruturação da Universidade Federal da Bahia em Unidades de Ensino e Departamentos, seguido pela Lei n.º 5.540, de 28 de novembro de 1968, que consolidou a reforma do Ensino Superior Brasileiro. Com a reforma universitária, os cursos de licenciatura sofreram nova reestruturação curricular, com os conteúdos específicos e os conteúdos pedagógicos dos vários cursos das Faculdades de Filosofia passando a ser ministrados em unidades diferentes da Universidade, de modo que os conteúdos específicos ficaram a cargo das Unidades/Departamentos de cada especialidade e os conteúdos pedagógicos passaram a ser de responsabilidade de Faculdades/Departamentos de Educação. Esta separação institucional entre o "como" ensinar e "o que" ensinar trouxe prejuízos para a formação dos licenciados. Na prática, anulou a tentativa de dar uma identidade própria às licenciaturas. Este modelo implantado na Bahia, após a Reforma Universitária de 1968, está em prática ainda hoje, apesar das críticas que lhe são feitas. A separação entre "o que ensinar" e o "como ensinar" têm causado prejuízos ao longo dos anos, ao transferir para o próprio aluno a responsabilidade por integrar efetivamente tais conhecimentos.

A exigência de currículo mínimo instituída pela Lei n.º 4.024, de 20 de dezembro de 1961, mantida pela LDB 5.540/68, foi revogada pela Lei n.º 9.394, de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, promulgada em dezembro de 1996.

A Resolução n.º 2/02 do Conselho Nacional de Educação / Conselho Pleno (CNE/CP 2), de 19 de fevereiro de 2002, atualmente em vigor, que instituiu a duração e a carga horária dos cursos de licenciatura, de graduação plena, de formação de professores de Educação Básica em nível superior, estabelece a exigência de, no mínimo, 2.800 horas, nas quais a articulação teoria-prática garanta, nos termos dos seus projetos pedagógicos, 400 horas de prática como componente curricular, vivenciadas ao longo do curso e mais 400 horas de estágio curricular supervisionado, a partir do início da segunda metade do curso. Além disso, estabelece 1.800 horas de aulas para os conteúdos curriculares de natureza científico-acadêmico-cultural e 200 horas para outras formas de atividades acadêmico-científico-

[3] DIAS, André L. M., *Uma História da Educação Matemática na Bahia*. In XXVI Simpósio Nacional de História, 2011, São Paulo. Anais da ANPUH. São Paulo, julho de 2011. p. 10.

culturais. Por força da Resolução n.º 2/02 do Conselho Nacional de Educação/Conselho Pleno, o então coordenador do Colegiado do Curso de Física, Licenciatura, noturno, José Fernando Moura Rocha, submeteu ao plenário desse colegiado, no final de 2003, para discussão e posterior aprovação, um projeto completo de reforma/atualização da matriz curricular do curso noturno, onde se incluía as 240 horas curriculares das Físicas Básicas como parte das 400 horas de "prática como componente curricular". Com a mudança do coordenador, esta proposta não teve seguimento, sendo substituída por outra, recentemente aprovada (2013), de unificação dos cursos diurno e noturno, mas sem levar em conta esta ideia de incluir as Físicas Básicas como parte das 400 horas de prática como componente curricular e sim tomando-as como parte do núcleo comum. Esta opção tornou consistente a inclusão do projeto das Físicas Básicas também no novo currículo do bacharelado em Física, conforme referido no Capítulo 2, tópico 2.9.

Nos Quadros a seguir são feitas comparações entre currículos de diferentes cursos. No Quadro 1.A, deste Apêndice, é comparado o currículo do Curso de Física da Faculdade de Filosofia da Bahia com o da Faculdade Nacional de Filosofia do Rio de Janeiro, em vigor na primeira metade da década de 1950. No Quadro 2.A, é comparado o do Curso de Física, Licenciatura, diurno e o currículo do Curso de Física, Bacharelado, diurno, da Faculdade de Filosofia da UBA, em meados da década de1960 e, finalmente, no Quadro 3.A, é feita uma comparação dos currículos do Curso de Física, Licenciatura e Bacharelado, diurnos, em vigor no ano de 1969, no Instituto de Física da UFBA. Os currículos dos cursos de Licenciatura e de Bacharelado, diurnos, em vigor no ano de 2012 podem ser encontrados nos Anexos 2.R a 2.U, como também a comparação entre os currículos do Curso de Física da Faculdade Nacional de Filosofia, do Rio de Janeiro, e o da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, de São Paulo, em vigor por volta de 1950, Anexo 2.Q.

Comparação da estrutura curricular do Curso de Física da FFBA com a do Curso de Física da FNF (Rio de Janeiro) (década de 1950)

Estrutura Curricular típica do Curso de Física da FFBA no período 1952-1956 (Arquivos da FFBA – Disciplinas do Histórico Escolar de um aluno do período 1952-1956)	**Estrutura Curricular do Curso de Física da FNF por volta de 1950** (CUNHA, 1984, out.)
1º Ano Análise Matemática; Geometria Analítica e Projetiva; Física Geral e Experimental; Introdução à Álgebra Moderna;	1º Ano Análise Matemática I; Geometria Analítica e Projetiva; Física Geral e Experimental I; Laboratório de Física G. e Experimental I Cálculo Vetorial;
2º Ano Análise Matemática; Mecânica Racional; Física Geral e Experimental; Geometria Descritiva Complementos de Geometria	2º Ano Análise Matemática II; Mecânica Racional; Física Geral e Experimental; Análise Vetorial e Geometria Diferencial
3º Ano Análise Superior Mecânica Superior Física Matemática Física Teórica. Física Superior	3º Ano Análise Superior (Matrizes, Tensores e Espaço de Hilbert) Mecânica Superior (Analítica e Relatividade) Física Matemática (Mecânica dos Meios Contínuos e Teoria da Asa Finita) e Física Teórica (Eletromagnetismo). Física Superior (Física Moderna e Mecânica Quântica) Física Superior (com aulas práticas de vidro) Física Aplicada
Licenciatura	**Licenciatura**
4º Ano Psicologia Educacional Didática Geral e Especial Sociologia Educacional Física Superior Física Teórica * * O licenciado concluinte de 1959 cursou (no 4º. ano) Física Matemática e Biologia Educacional e não Física Teórica.	4º Ano Não informado
Bacharelado	**Bacharelado**
4º Ano Física Aplicada Física Teórica Física Matemática *	4º Ano Física Aplicada** Física Teórica Física Superior Física Nuclear Mecânica Superior

* O bacharel concluinte de 1961 cursou (no 4º. ano) a disciplina Filosofia da Natureza e não Física Matemática.	Análise Superior ** Na USP. em 1946, os alunos do 4.º cursavam Física Aplicada como obrigatória e mais duas ou três optativas.

QUADRO 1.A - Comparação da estrutura curricular do Curso de Física da FFBA com a do Curso de Física da FNF (Rio de Janeiro) - década de 1950.

Fontes: Arquivos da FFBA – Disciplinas do Histórico Escolar de um aluno do período 1952-1956; CUNHA, 1984, out.

Comentários:

Os primeiros cinco concluintes do Curso de Física, diurno, na Bahia foram: Álvaro da Silva Ramos, licenciado/1955 e bacharel/1956; Julian Armando Getino Alvarez, licenciado/1958; Bela Szaniecki (Perret Serpa) licenciada/1959; e Benedito Leopoldo Pepe, bacharel/1961.

Ao se comparar o currículo do Curso de Física, tomando como referência as disciplinas cursadas por um aluno da primeira metade da década de 1950, com o currículo do Curso de Física da FNF, em vigor por volta de 1950, verifica-se que os mesmos são praticamente iguais e que, nos primeiros três anos do curso, as disciplinas do bacharelado são essencialmente as mesmas que as do curso de Licenciatura, o que caracteriza o modelo chamado 3+1. O mesmo ocorre com os currículos dos Cursos de Física da FNF e da FFCL da USP, tomando-se em conta a matriz curricular em vigor da USP, em 1946, conforme se pode observar no Anexo 2.Q.

Observação:

O fato de os currículos das décadas de 1940 e 1950, das Faculdades de Filosofia do Brasil serem iguais não é surpreendente em razão do Decreto-Lei n.º 1.190, de 4 de abril de 1939, assinado pelo Presidente Getúlio Vargas que criou a Faculdade Nacional de Filosofia. No seu Artigo 59 é estabelecido que: "Os estabelecimentos que mantiverem quaisquer dos cursos definidos nesta lei, com autorização ou reconhecimento do Governo Federal, deverão adaptar-se ao regime ora estabelecidos (sic) a partir do ano escolar de 1940". ([4])

[4] Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/Decreto-Lei/1937-1946/Del1190.htm>. Acesso em 30 de maio de 2013.

Comparação entre a estrutura curricular do Curso de Física, Licenciatura, diurno, período 1963-1966, e a do Curso de Física, Bacharelado, diurno, período 1964-1967, na UBA

Estrutura Curricular típica do Curso de Física, Licenciatura, noturno, no período 1963-1966 (Arquivos da Faculdade de Filosofia da Bahia – Disciplinas do Histórico Escolar de um aluno do período 1963-1966)		**Estrutura Curricular típica do Curso de Física, Bacharelado, diurno, no período 1964-1967** (Arquivos da Faculdade de Filosofia da Bahia – Disciplinas do Histórico Escolar de um aluno do período 1964-1967)	
1º Ano	Fundamentos de Matemática Elementar Geometria Analítica Cálculo Numérico Física Geral e Experimental Cálculo Diferencial	**1º Ano**	Fundamentos de Matemática Elementar Geometria Analítica Cálculo Numérico Cálculo Diferencial e Integral I Química Geral Inorgânica e Fundamentos de Química Orgânica
2º Ano	Cálculo Integral Cálculo Vetorial Química Geral e Inorgânica e Fundamentos de Química orgânica (adaptação) Física Geral e Experimental; Mecânica Geral	2º Ano	Cálculo Diferencial e Integral II Vibrações, Ondas Elásticas e Acústicas Calor e Mecânica dos Fluídos Eletricidade Magnetismo e Óptica Eletromagnética Mecânica Teórica
3º Ano	Estrutura da Matéria Física Atômica e Experimental Didática Geral Instrumentação para o Ensino Evolução da Física	3º Ano	Estrutura da Matéria Física Atômica Experimental Óptica Física e Geométrica Álgebra Linear Mecânica Analítica Eletromagnetismo Equações Diferenciais
4º Ano	Análise Matemática Didática Especial e Prática de Ensino Psicologia da Educação Elementos de Administração Escolar Álgebra (Equações Algébricas)	4º Ano	Eletrônica Mecânica Estatística Termodinâmica Funções Especiais Introdução à Mecânica Quântica Eletrodinâmica

QUADRO 2.A – Comparação entre a estrutura curricular do Curso de Física, Licenciatura, diurno, período 1963-1966, e a do Curso de Física, Bacharelado, diurno, período 1964-1967, na UBA (UFBA a partir de 1965)

Fontes: Arquivos da Faculdade de Filosofia da Bahia – Disciplinas do Histórico Escolar de um aluno do período 1963-1966 e de um aluno do período 1964-1967.

Comentários:

A comparação do currículo do Curso de Física, Licenciatura com o currículo do Curso de Física, Bacharelado, diurnos, da Faculdade de Filosofia da UBA (UFBA a partir de 1965) é feita tomando-se como referência, por um lado, as disciplinas cursadas por um aluno da Licenciatura, do período 1963-1966 e, por outro, as disciplinas cursadas por um aluno do bacharelado do período 1964-1967. Nessa comparação, verifica-se que o chamado modelo 3+1 foi modificado (Lei n.º 4.024, de 20 de dezembro de 1961, Parecer 296/62 do CFE e Resolução s/n, de 17/11/1962, também do CFE – Ver Anexo 2.P), havendo uma diferenciação dos cursos a partir do segundo ano universitário e, especialmente, a partir do terceiro ano, quando aparecem explicitamente as disciplinas de caráter pedagógico. Deve ser esclarecido que a comparação foi feita com currículos de períodos ligeiramente diferentes em razão de não se ter encontrado as pastas funcionais de alunos de períodos idênticos, a não ser de alunos transferidos de outros cursos, o que dificultava a comparação pretendida.

Comparação entre a estrutura curricular do Curso de Física, Licenciatura, diurno, e a do Curso de Física, Bacharelado, diurno, em vigor no ano de 1969

Carga horária	Natureza		Nome das disciplinas
	Licenciatura	Bacharelado	
45	CO	CO	Teoria dos Conjuntos
75	CM	CO	Geometria Analítica e Cálculo Vetorial
90	CM	-	Física Geral I
90	CM	-	Física Geral II
90	CM	-	Física Geral III
90	CM	-	Física Geral IV
90	-	CO	Física I
90	-	CO	Física II
90	-	CO	Física III
90	-	CO	Física IV
75	CM	CO	Mecânica Ger. Teórica I
75	CM	CO	Mecânica Ger. Teórica II
105	CM	-	Física Atômica I
90	-	CO	Física Atômica I
105	CM	-	Física Atômica II
90	-	CO	Física Atômica II
75	CM	CO	Química I
45	CM	CO	Química II
150	CM	CO	Cálculo Diferencial e Integral I
			Cálculo Diferencial e Integral II
75	CM	CO	Cálculo Diferencial e Integral III
60	CM	CO	Termodinâmica
75	CM	CO	Cálculo Numérico
45	CM		Psicologia da Educação I
45	CM		Psicologia da Educação II
105	CM		Didática Geral
150	CM		Mét. Prát. Ens. Ciênc. Exp. I
255	CM		Mét. Prát. Ens. Ciênc. Exp. II

Carga horária	Natureza		Nome das disciplinas
	Licenciatura	Bacharelado	
45	CM		Estrut. Func. Ens. 2º Grau I
90	CM	OP	Instr. Ens. de Física
60	CO	-	Álgebra Linear
60	-	CO	Álgebra Linear I
-	CO	CO	Estudo Probl. Brasileiros I
75	OP	CO	Cálculo Diferencial e Integral IV
75	OP	CO	Funções Analíticas I
60	OP	CO	Eletromagnetismo I
60	OP	CO	Eletromagnetismo II
60	OP	OP	Introdução à Ciência dos Computadores
90	OP	OP	Eletrônica I
90	OP	OP	Eletrônica II
60	OP		Relatividade Restrita
60		OP	Relatividade Restrita I
60	OP	OP	Introd. Mecânica Estatística
75	OP	OP	Introd. Mecânica Quântica
60	OP	OP	Introd. Mecânica Analítica
90	OP	OP	Introd. Física Nuclear
60	OP	OP	Introd. Física Estado Sólido
45	OP	OP	Evolução Física
90	OP	OP	Geologia Geral
90	OP	OP	Geologia Geral II
45	OP	OP	Geofísica I
60	OP	OP	Álgebra Linear II
105	OP		Técnicas Rec. Audiovisuais
45	OP		Sociologia da Educação
45	OP		Prob. Bras. Educação
45	OP		Currículos e Programas
45	OP		Medidas Educacionais
60		OP	Álgebra

Carga horária	Natureza		Nome das disciplinas
	Licenciatura	Bacharelado	
45		OP	Cálculo das Variações
45		OP	Teoria das Equações Diferenciais
45		OP	Métodos Matemáticos da Física
75		OP	Probabilidade e Estatística
75		OP	Topologia Geral I
75		OP	Álgebra Moderna I
45		COP	Funções Analíticas II
	CO – Complementar Obrigatória CM – Currículo Mínimo OP – Optativa ou COP – Complementar Optativa		

QUADRO 3.A – Comparação entre a estrutura curricular do Curso de Física, Licenciatura, diurno, e a do Curso de Física, Bacharelado, diurno, em vigor no ano de 1969.

Fonte: Arquivos da Superintendência Acadêmica da UFBA – Setor de Currículo.

Comentários:

A comparação dos dois currículos mostra que, a partir de 1969, os currículos da Licenciatura e Bacharelado, diurnos, seguem o que poderíamos chamar modelo 2+2, em razão das disciplinas dos dois primeiros anos serem praticamente as mesmas para as duas modalidades. Note que as disciplinas chamadas de *complementares obrigatórias* e de *currículos mínimo* são todas obrigatórias, diferenciando-se essencialmente na nomenclatura. As disciplinas Físicas I, II, III e IV e Físicas Gerais I, II, III e IV foram consideradas equivalentes às Físicas Gerais e Experimentais I, II, III e IV, do currículo de 1971.

Em 1973, foi extinta a Física Geral e Experimental I e, em 1978, a disciplina Física Geral e Experimental II (FIS002) teve sua carga horária aumentada de 90 para 120 horas semestrais (FIS011).

Com a reforma curricular de 1988, voltou-se a ter quatro Físicas Gerais e Experimentais - F (I-F, II-F, III-F e IV-F), agora com carga horária de 10 horas semanais cada uma, sendo que as Físicas Gerais e Experimentais – E (I-E, II-E, III-E e IV-E), para os outros cursos da área de ciências exatas, ficaram com 6 horas semanais cada uma. Em 1999, o currículo do Curso de Física, Licenciatura, noturno (mas não os do diurno), desdobrou essas 4 disciplinas, de 10 horas semanais, em dois conjuntos de 4 disciplinas, sendo um deles composto pelas denominadas Físicas Gerais e Experimentais - E (I-E, II-E, III-E e IV-E), com 6 horas semanais cada uma, comum aos cursos da área de ciências exatas, e o outro, constituído pelas denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV, de 4 horas semanais cada uma (as duas últimas optativas).

A recente reforma curricular (2013) estendeu a concepção das Físicas Básicas para o Curso de Física, diurno, incluindo as Físicas Básicas I, II e III, como obrigatórias, tanto para o

curso diurno como para o noturno, ficando a Física Básica IV como optativa, conforme pode ser observado no Capítulo 2 (tópico 2.9).

Apêndice 2

Considerações históricas sobre o ensino de ciências

O ensino de ciências e a sua crise na década de 1980

Na década de 1980, teve início uma ampla crise na educação científica no mundo ocidental, caracterizada pelo afastamento dos jovens das ciências e pela fuga de professores de ciências das salas de aula.[5] Em meados da década de 1990, esta crise ainda estava em curso e foi nesse contexto de crise na educação científica no mundo ocidental que surgiram as discussões sobre a necessidade de reformulação curricular dos cursos de Física da UFBA e, antes disso, de criação de cursos noturnos nas universidades federais brasileiras. À essa época, uma das propostas para a superação dos problemas do ensino de ciências era a "retomada das relações cordiais" entre História, Filosofia e Ensino de Ciências.

Alguns dados levantados nos Estados Unidos e na Inglaterra eram reveladores dessa crise. De acordo com o conceituado educador australiano Michael R. Matthews (professor da School Education at the University of New South Wales, Austrália), a fuga de alunos e professores das salas de aula de ciências foi fartamente documentada durante a década de 1980 e início da década de 1990, nos Estados Unidos - onde o estudo das ciências é opcional. Àquela época, foi estimado que cerca de 600 professores americanos de ciências ingressavam anualmente na profissão, enquanto, no mesmo período, outros 8.000 saíam. Dados obtidos no ano de 1986 revelaram que 7.200 escolas americanas de nível médio não tinham curso de Física e 4.200 não tinham curso de Química. Em 1990, somente quatro estados americanos requeriam os três anos de ciências básicas recomendados por documentos importantes como, por exemplo, o relatório *A Nation at Risk* (Uma Nação em Risco), publicado pela *National Commission on Excellence in Education*, em 1983, nos Estados Unidos). Os demais permitiam a conclusão do curso pré-universitário com apenas dois anos de ciências. Além disso, independentemente dos anos requeridos, 70% de todos os estudantes das escolas desistiam de ciências na primeira oportunidade surgida.

Na Inglaterra, um relatório da *National Commission on Education* e da *Royal Society* também documentou esta tendência geral.

O ensino de ciências - um pouco de história

O problema de como ensinar ciência - ou Filosofia natural ([6]), como era chamada inicialmente - é tão velho quanto a própria ciência. Isto porque aqueles que trabalharam com ciência sempre tiveram a necessidade de repassar os conhecimentos adquiridos em sua época. A introdução do ensino de ciências nas escolas, entretanto, só teve início no século XVIII, o que não se deu de forma generalizada e nem sem discordância. Vale lembrar que até o século XIX, assuntos de Teologia, os clássicos e humanidades eram considerados apropriados apenas

---

[5] Ver MATTHEWS, M. R, *Science Teaching, The Role of History and Philosophy of Science*, New York: Routledge, 1994. Este excelente livro é a principal referência para este Apêndice.

[6] Nos Estados Unidos, por exemplo, a partir de 1872, a "velha" Filosofia natural foi substituída pela *Física* da escola média.

às elites. Às massas, eram oferecidas a alfabetização básica, a Aritmética e a Religião, junto com habilidades domésticas e pouca coisa mais.

Os defensores de um lugar próprio para a ciência no ensino em geral começaram a aparecer, efetivamente, no século XIX, e nos debates mais importantes participaram Thomas Huxley, Henry Armstrong e T. P. Nunn, na Inglaterra, Ernst Mach e J. F. Herbert, na Alemanha e John Dewey, nos Estados Unidos, todos precedidos, entretanto, pelo matemático Marquês de Condorcet, na França.

A inclusão explícita de assuntos de ciências nos currículos escolares (o que forçaria sua adoção pelas escolas) só ocorreu após o início dos debates sobre conteúdos, objetivos, métodos de ensino e clientela. O que ensinar, para que ensinar, como ensinar e para quem ensinar eram as questões que se procurava responder. O debate sobre a clientela, por exemplo, era se ciência deveria ser a mesma para todos os estudantes ou se deveria existir diferentes programas dependendo dos propósitos dos estudantes de só completar o nível médio ou de querer prosseguir os estudos, buscando a universidade. O problema do que ensinar e como ensinar é o que será discutido a seguir.

O ensino de ciências e suas diferentes abordagens

"Existem dois diferentes métodos pelos quais a Filosofia natural é agora ensinada: (1) como uma ciência experimental; (2) como um ramo da Matemática."

Uma pessoa desavisada poderia muito bem imaginar que esta frase foi escrita nos anos recentes. Ela data, entretanto, de 1847, e foi escrita por J. W. Draper, autor de um livro didático muito usado àquela época (*Natural Philosophy for Schools*), e, de certo modo, expõe um dilema (aparente) que acompanha a discussão sobre o ensino de ciências, há muito tempo.

A polêmica sobre como ensinar ciências não se restringiu nem se restringe, entretanto, ao dilema acima referido. Em meados do século XX, principalmente nos Estados Unidos, três visões principais competiam na educação científica. Elas eram e são geralmente denominadas i) *aplicada*, ii) *teorética* (teorética - disciplina que estuda as teorias num determinado ramo do saber) iii) *contextual*. A visão chamada *aplicada*, enfatiza a ciência e os trabalhos com coisas do cotidiano; a *teorética* enfatiza a estrutura conceitual da disciplina; e a *contextual* enfatiza o desenvolvimento histórico e as implicações culturais das ciências e, por isto, poderia ser chamada de humanística. É claro que tais correntes, apesar de divergentes, têm também muitos pontos em comum e, portanto, o que deve ser discutido é a orientação geral do programa de ciências e as metas que se deseja alcançar.

A influência dos livros didáticos sobre os programas de ciências

É inegável a importância do chamado livro-texto no ensino de ciências. O problema surge quando o educador descobre que tem de fazer uma escolha entre as várias concepções de ensino adotadas pelos autores dos livros existentes no *mercado*. Geralmente, as escolas seguem os lançamentos ou relançamentos recentes, independentemente da concepção pedagógica adotada pelos autores. De certa forma, esta é uma atitude que pode ser considerada compreensível, pois não há muita diferença entre as diversas opções "comerciais" oferecidas, exceto alguns lançamentos mais recentes que podem ser considerados promissores. Há de se perguntar, entretanto, quais são as alternativas.

Se recuarmos um pouco no tempo, pode-se verificar que os primeiros livros didáticos para o ensino de ciências foram voltados para as técnicas e aplicações às situações do cotidiano. Isto não surpreende se for levada em conta que estes surgiram com a Revolução Industrial, iniciada em meados do século XVIII, na Inglaterra. Um dos textos mais antigos foi publicado, em 1750, por James Ferguson, com o título *Natural Philosophy*. Após muitas edições, este texto foi revisado por Sir David Brewster, em 1806, e publicado nos Estados Unidos, nesse mesmo ano. De acordo com Brewster, o objetivo principal do trabalho de Ferguson era dar uma visão familiar da ciência Física e torná-lo acessível àqueles que não estavam acostumados à investigação matemática. "Nenhum livro sobre o mesmo assunto circulou tão largamente e foi lido por tantas pessoas de todas as faixas da sociedade"[7]. Pelo menos 100 páginas eram destinadas a máquinas e bombas. Outros textos largamente usados no século XIX também davam ênfase ao aplicado, ao técnico e às coisas do cotidiano. Como exemplos pode-se citar: *The Compendium of Experimental Philosophy* (1837; 22 edições), de R. G. Parkers; *System of Natural Philosophy* (1846, 73 edições), de J. L. Comstock; e o já referido *Natural Philosophy* (1847), de J. W. Draper.

A partir da segunda metade do século XIX, novas concepções sobre o ensino das chamadas ciências experimentais começam a ganhar força. Isto ocorreu, por exemplo, nos Estados Unidos, onde, a partir de 1872 a "velha" Filosofia natural foi substituída pela *Física* da escola média. Os livros-textos produzidos a partir destas novas concepções foram completados com álgebra e fórmulas matemáticas, sendo que os diagramas de máquinas comuns foram substituídos por desenhos abstratos. Em termos práticos, isto significou não só a mudança de ênfase, mas também um acréscimo de conteúdo e, como se sabe, excessos de conteúdo (e não só de conteúdo) podem tornar-se problema sério para o ensino. Esta situação lembra a que se está vivendo no momento, com a necessidade de inclusão da Física moderna no ensino de nível médio. Para tal propósito, uma revisão profunda dos conteúdos clássicos com a adoção de uma nova abordagem da Física do ensino médio talvez fosse mais conveniente que a simples inclusão de tópicos de Física moderna em forma de novos capítulos nos livros didáticos, como se tem feito geralmente.

Nem todos concordaram com a mudança de ênfase e com os novos conteúdos referidos anteriormente e já no final daquele século surgiu um forte movimento de retorno ao foco experimental e aplicado dos velhos cursos de Filosofia natural e dos velhos textos. Parte deste movimento defendia o ensino dos *princípios* de ciências nos programas de ciências e era mais ou menos consensual que o excesso de conteúdo apresentado numa linguagem estranha aos jovens, não os conduzia ao aprendizado dos princípios da ciência. Questões sem valor conceitual, tais como: "Uma força de 5.000 dinas atua por 10 segundos sobre uma massa de 250 gramas. Que quantidade de movimento é adquirida pelo corpo?" já eram severamente criticadas, mas, infelizmente, este tipo de questão ainda hoje é formulado nas salas de aula de Física.

Os livros didáticos de Física, no ensino médio, e as diferentes abordagens

É oportuno salientar que as diferentes abordagens relativas ao ensino de ciências, citadas anteriormente, guardam paralelo com alguns conhecidos livros didáticos. No caso da Física, pode-se destacar três excelentes coleções para fazer este paralelo. O *Projecto Física*[8] (desenvolvido pelo *Harvard Project Physics*) publicado em língua portuguesa em 1985 (a

[7] Woodhull, J. F.: 1910, "The Teaching of Physical Science" *Teachers College Record* 11(1), 1-82. Referência citada por Matthews, M. R., op. cit.

[8] Holton, G., Watson, F. G. e Rutherford, J., *Projecto Física*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1985.

primeira edição em língua inglesa é de 1970), adota a abordagem denominada *contextual*. A coleção do *Physical Science Study Committee* (PSSC)[9], publicada em língua portuguesa em 1965, adota a abordagem denominada *teorética*. E, finalmente, a recente coleção de livros de autores brasileiros do autodenominado *Grupo de Reelaboração do Ensino de Física* (GREF)[10], publicado em 1991, poderia ser relacionada à abordagem chamada de *aplicada*.

Ao revisar os objetivos desses projetos, verifica-se que o *Projecto de Física* visava (1) ajudar os alunos a aumentarem o seu conhecimento do mundo físico concentrando-os nas ideias que melhor caracterizam a Física enquanto ciência, em vez de centrá-los em pedaços isolados de informação; (2) ajudar os alunos a verem a Física como uma maravilhosa atividade com muitas facetas humanas, o que significa apresentar o assunto numa perspectiva cultural e histórica, e mostrar que as ideias da Física têm uma tradição ao mesmo tempo que modos de adaptação e mudança evolutivos; (3) aumentar a oportunidade de cada aluno na participação em experiências de ciência, imediatamente compensadoras, mesmo enquanto adquirindo o conhecimento e as capacidades úteis a longo prazo; (4) tornar possível aos professores a adaptação do curso aos interesses e capacidades variados dos seus alunos; (5) ter em conta a importância do professor no processo educativo no vasto espectro de situações de ensino.

No que diz respeito à coleção do PSSC, verifica-se que este projeto desejava, em última instância, transformar os alunos pré-universitários em "pequenos cientistas", e sua máxima era "Fazer Física à prova de professor". No *Prefácio* da primeira edição, é afirmado que "Este livro-texto é a alma do curso do PSSC: nele a Física é apresentada não como um simples conjunto de fatos, mas basicamente como um processo em evolução, por meio do qual os homens procuram compreender a natureza do mundo físico". Aqui no Brasil, na *Apresentação* da primeira edição em português, em 1965, o Dr. Isaias Raw, ressaltava que "O ensino de ciências quer nas escolas primárias, quer nas escolas médias e, com o tempo, até o dos primeiros anos dos cursos superiores, nem sempre foi entregue aos elementos mais capacitados. ´Educadores` infiltraram-se no ensino de ciências e, nada conhecendo de Ciências, de sua evolução e estrutura, tornaram este ensino o mais eficiente método de limitar a evolução cultural e técnica de uma povo". Sua preocupação básica era com a velocidade crescente com que a ciência evoluía, fazendo com que o número de informações dobrasse aproximadamente a cada dez anos, tornando cada vez maior o problema do ensino básico de ciências.

No que diz respeito à coleção do GREF, na *Apresentação Geral da Proposta*, os autores destacam que o trabalho exposto na forma de livro-texto procura "apresentar a ciência de maneira tal que, desde o início, sejam claras a sua relevância prática e a sua universalidade". De acordo com os mesmos, "O caráter prático-transformador e o caráter teórico-universalista da Física não são traços antagônicos, mas, isto sim, dinamicamente complementares. Compreender este enfoque permite evitar tanto o tratamento "tecnicista" como o tratamento "formalista" e, procurando partir sempre que possível de elementos vivenciais, e mesmo cotidianos, formulam-se os princípios gerais da Física com a consistência garantida pela percepção de sua utilidade e de sua universalidade". ... "Há outros aspectos que seriam de interesse e que ainda não estão desenvolvidos neste texto e que, portanto, ficam como tarefa para os professores participantes nessa elaboração contínua. É o caso, por exemplo, dos aspectos históricos da evolução da ciência e do sistema produtivo".

[9] Physical Science Study Committee-PSSC, *Física*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1965.

[10] Grupo de Reelaboração do Ensino de Física-GREF, *Física*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991. 3 v.

Por que História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências?

Muitos argumentos podem ser relacionados na defesa da inclusão da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências de modo geral e da Física, em particular. Um deles é a possibilidade de se superar **o problema da fragmentação teórica que frequentemente domina o ensino de ciências**. Mas outros pontos podem ser relacionados:

a) História e Filosofia da Ciência podem contribuir para uma compreensão mais substancial dos assuntos científicos em lugar de um ensino baseado só em fórmulas e equações sem conhecimento do que significam e a que se referem;
b) através do estudo de História da ciência, os professores podem ver quais dificuldades intelectuais estavam presentes no período inicial do desenvolvimento científico e este conhecimento pode ajudá-lo a ministrar aulas ou a organizar currículos;
c) pode melhorar a educação dos professores, ajudando-os a desenvolver um rico e mais autêntico conhecimento da ciência.
d) pode tornar a sala de aula mais desafiadora e realçar mais o pensamento crítico e racional;
e) História e Filosofia da Ciência podem humanizar as ciências.

A extensão em que o ensino de ciências e, **particularmente, o ensino de Física** devem incorporar História e Filosofia da Ciência não é um ponto consensual. Duas posições diferentes podem ser consideradas. Uma delas, que pode ser chamada de *minimal*, defende que a História e Filosofia da Ciência sejam tratadas como algo complementar, dentro do *programa padrão* de ciências. No caso da Física, quando, por exemplo, a lei de Ohm for mencionada, algum tempo deve ser gasto sobre a vida, época e realização de G. S. Ohm. No caso da Biologia, quando, por exemplo, a teoria da evolução for estudada, algum tempo deve ser gasto discutindo-se o que é uma teoria científica, como ela depende de um modelo, hipótese ou uma simples crença.

A outra posição, que pode ser chamada de *maximal*, defende que o currículo de ciências, onde se inclui o de Física, deve ser moldado de maneira que as dimensões históricas, culturais e filosóficas da ciência sejam explicitamente tratadas, talvez com o currículo sendo organizado em bases históricas. Esta é a visão adotada, por exemplo, pelo *Harvard Project Physics* ou pelo *Harvard Case Studies in Experimental Science.*

Em qualquer dos dois casos, um problema sério é colocado:

Que professor ministrará tais cursos? Os atuais cursos de formação de professores preparam os licenciados dentro destas concepções?

Se não preparam, caberia ainda a pergunta:

Dentro da atual estrutura de formação de professores, é possível incorporar História e Filosofia da Ciência, **particularmente, História da Física**, para preparar os futuros mestres com base nessas concepções?

Qualquer educador medianamente informado sabe que a grande dificuldade para a inclusão de uma abordagem contextual no ensino de ciências, e, particularmente, de Física, é a falta de professores que dominem os aspectos fundamentais da História e Filosofia da Ciência.

A preparação do professor para o ensino de ciências – o caso do professor de Física

A prática de sala de aula tem-nos indicado que o processo ensino-aprendizagem em Física, particularmente, no caso do eletromagnetismo, óptica e física moderna, pode ser

bastante eficiente quando se faz uma forte articulação entre o estudo teórico (de conceitos e/ou representações matemáticas), os experimentos de laboratório (pelo menos experimentos de demonstração) e História da Física além de aspectos filosóficos da ciência. Dito de outro modo, quando a abordagem dos assuntos a serem estudados é explicitamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, entendendo-se por fenomenológica a abordagem que tem suporte em experimentos que tiveram importância histórica, ou que lhe são equivalentes, e é reforçada por aplicações tecnológicas do cotidiano dos alunos. Aqui a experiência se restringiu ao ensino de nível superior, mas certamente pode ser estendida aos demais níveis, de forma que o problema da linguagem matemática deve ser considerada dentro do seu respectivo nível de ensino. No ensino universitário, são, particularmente, importantes os dois primeiros anos de estudos.

A defesa destas ideias encontra respaldo em diversos autores e o que ela tem de essencial é a busca explícita do equilíbrio entre as diversas correntes ou abordagens, explorando o que cada uma tem de melhor. A respeito do suposto conflito entre educação técnica e educação contextual (chamada também de liberal) o filósofo e educador Alfred North Whitehead, em 1947, fez a seguinte afirmativa:

> "A antítese entre uma educação técnica e uma educação liberal é falaciosa. Não pode existir uma educação técnica adequada que não seja liberal, e nem liberal que não seja técnica, isto é, não é educação se não leva em conta ambas as visões, técnica e intelectual".[11]

É importante ressaltar que estas ideias não podem ser testadas em apenas uma aula ou mesmo em uma disciplina ao longo de um semestre. Estas ideias são para ser desenvolvidas dentro de um projeto pedagógico de currículo e são particularmente indicadas para a boa formação dos futuros professores de Física do ensino fundamental e médio.

Se tudo não pode ser feito, nada impede que se faça o possível. Para incluir História e Filosofia da Ciência no currículo, nada melhor que se iniciar por incluir, nos currículos dos cursos de Licenciatura, disciplinas de Física nas quais as dimensões históricas e filosóficas da ciência sejam explicitamente tratadas, ao longo do estudo da Física. Isto é o que se fez no currículo do Curso de Licenciatura em Física, noturno, da UFBA, com a sua implantação em 1999. As disciplinas com estas características eram denominadas nesse currículo de Físicas Básicas I, II, III e IV e Evolução da Física, sendo que nesta última os aspectos filosóficos eram tratados mais extensamente.

Para finalizar, alguns comentários sobre o ensino de Física no Brasil:

> "A Física como disciplina do currículo escolar brasileiro foi introduzida em 1837, com a fundação do Colégio Pedro II, no Rio de Janeiro. Ao longo de 160 anos, o processo escolar de ensino aprendizagem dessa ciência tem guardado mais ou menos as mesmas características. Um ensino calcado na transmissão de informações através de aulas quase sempre expositivas, na ausência de atividades experimentais, na aquisição de conhecimentos desvinculados da realidade. Um ensino voltado primordialmente para a preparação aos exames vestibulares, suportado pelo uso indiscriminado do livro didático ou materiais assemelhados e pela ênfase excessiva na resolução de exercícios puramente memorísticos e algébricos (cf.

[11] Whitehead, A. N.: 1947, "Tecnical Education and Its Relation to Science and Literature". In his *The Aims of Education and Other Essays*, Williams&Norgate, London. Citado por Matthews, M. R., op. cit., p. 3.

PACHECO, 1983). Um ensino que apresenta a Física como uma ciência compartimentada, segmentada, pronta, acabada e imutável". [12]

[12] MEGID NETO, Jorge e PACHECO, Décio, "Pesquisas sobre o ensino de Física no nível médio no Brasil". In: *Pesquisas em Ensino de Física*. Org. Roberto Nardi. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, 2004. 3ª edição, p. 17.

APÊNDICE 3

Apêndice 3 – Texto Complementar 1

A FÍSICA E A SOCIEDADE

J. F. M. Rocha

A Física

A Física[13] é uma ciência[14] que se propõe a compreender e, sobretudo, a elaborar uma descrição quantitativa dos fenômenos da Natureza. Isto é feito a partir do estudo dos componentes da matéria e de suas interações mútuas. Espera-se que tais objetivos sejam alcançados a partir de um pequeno número de princípios simples e fundamentais.

Não é fácil definir seu campo de ação, porque ela não tem contornos bem definidos e se encontra em contínua evolução. Há algum tempo se dizia que a Física estudava os fenômenos da natureza não viva, nos quais não houvesse participação de aspectos químicos. Mas esta é uma definição aproximada e talvez simplista. O que de fato diferencia a Física da Química e da Biologia não é propriamente o objeto de estudo e sim o modo de estudá-lo.

Apesar do pensamento grego antigo não fazer separação entre a Filosofia e a Ciência[15] – havia apenas o conceito de Filosofia – foi principalmente na Grécia antiga, e regiões próximas, que foram feitos os primeiros estudos dos fenômenos naturais, particularmente dos fenômenos astronômicos, e não seria exagero se dizer que os primeiros "físicos" (do mundo ocidental, pelo menos) foram os filósofos gregos pré-socráticos que viveram por volta do século VI a.C., aos quais Aristóteles chamava de *physiológoi*, ou seja, "estudiosos da natureza". Tais estudos se constituíram no germe da Ciência de modo geral e da Física em particular.

Por volta de 1600, o progresso e o desenvolvimento da Física se faziam por dois caminhos diferentes. Um era o da Física herdada da tradição grega e que, conforme nos diz Mario Schenberg, incluía as áreas que já tinham tido um desenvolvimento importante na Antiguidade e na Idade Média e eram bastante matematizadas, como é o caso da Óptica e talvez da Acústica, isto se considerarmos a Acústica um ramo da Harmônica (relacionada à

---

[13] De acordo com o Prof. L. M. Vieira do IL-UFBa, o adjetivo grego, *physikós* (masc.), *physiké* (fem) physikón (neutro) significa "natural, relativo a natureza ou produzido pela natureza" (o termo *física* deriva provavelmente do neutro plural *physiká*, "as coisas relativas à natureza").

[14] A palavra ciência, do latim *scientia*, do verbo *scire*, designa o *saber certo*. Desde Aristóteles, a ciência se define por conhecimento do necessário, do universal, do certo. Mas o conhecimento admitido como certo ou científico deve satisfazer determinados critérios. Se a resposta a um problema é correta, deve haver alguma maneira de mostrar que ela é correta; o verdadeiro significado de verdade científica é a possibilidade de confirmação ou verificação.

[15] Até o século XVII, a filosofia e a ciência estavam interligadas. Nesse século, entretanto, a física e a química desenvolveram-se dentro de uma nova concepção de ciência, iniciada com a chamada revolução científica. Posteriormente o mesmo aconteceu com as ciências biológicas. As chamadas ciências humanas nasceram no século XIX.

Música). ([16]) A Estática e a Hidrostática eram um pouco matematizadas. A Astronomia não era um ramo da Física; era outra ciência. O outro caminho era o da hoje chamada ciência *baconiana*, ou seja, da física experimental, que valorizava a observação e a experiência como fontes de conhecimento, e cujo principal expoente foi o inglês Francis Bacon (1561-1626). Apesar da importância adquirida pela experimentação, nessa época, isto não nos deve levar a pensar que antes do século XVII a filosofia natural não valorizasse a observação dos fenômenos da natureza, pois, conforme nos diz C. Z. Cameniestzki, "qualquer estudioso que tenha um mínimo contato com a obra de Aristóteles ou com seus seguidores medievais sabe que a filosofia escolástica é firmemente alicerçada na observação e no dado sensível imediato. ([17]) O papel de Galileu nesse aspecto não foi o de introduzir o dado empírico-sensitivo no pensamento científico, mas o conteúdo que a observação passou a ter para a ciência". Com Galileu, a observação passou a ser a experimentação. Para Galileu, a Natureza revela seus segredos quando as perguntas são formuladas matematicamente. Não bastava mais observar as coisas, mas sim "construir o fenômeno". Uma pergunta formulada dentro de um contexto teórico deveria receber como resposta um número, um ente matemático.

No século XVII, com os trabalhos de Kepler, Galileu, Descartes, Leibniz, Huygens Newton e outros, a Física tomou um grande impulso. Newton é um exemplo notável desse período. Das suas duas grandes obras, os *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* seguem o método matemático antigo, enquanto a *Óptica* apresenta muitas pesquisas do tipo *baconiano*. Não demorou muito, entretanto, para que um lento processo de fusão dessas correntes tivesse início (já com alguma interação no século XVII) e produzisse como resultado uma nova maneira de fazer ciência.

A partir de então – com essa transformação na maneira de abordar os fenômenos naturais – as teorias físicas passaram a ser construídas com base em modelos físicos e matemáticos cada vez mais sofisticados, tendo na experimentação a oportunidade de verificar a validade de tais modelos, ou ainda, de modo inverso, tendo na experimentação a inspiração para a criação de novas teorias ou modelos[18]. Essa forma aprimorada de abordar os fenômenos naturais levou a ciência a uma fase de grande progresso.

Com o avanço do conhecimento científico, os físicos ampliaram, paulatinamente, seus interesses para as áreas da Termodinâmica e do Eletromagnetismo. A Termodinâmica surgiu

---

[16] Naturalmente não estamos fazendo referência aqui ao uso de equações diferenciais. Pitágoras estabeleceu relações matemáticas entre as notas das escalas musicais gregas e os comprimentos de uma corda vibrante. Roger Bacon, no século XIV, a fim de explicar a visão e outros fenômenos ópticos, deu um tratamento matemático a sua noção de força. Ele submeteu forças a um tratamento quantitativo no segundo capítulo de seu *De multiplicatione specierum.* (ver *Concepts of Force*, M. Jammer, p. 61). Devemos notar também que a relação entre a matemática e a descrição dos experimentos, que constitui o cerne da ciência moderna, já se revelava nascente nos trabalhos de Arquimedes.

[17] A importância que Aristóteles dava a observação na Biologia, por exemplo, fica bem caracterizada no seu estudo do desenvolvimento embrionário do pinto. Ele usou o método da observação controlada para estudar a embriologia do pinto, onde pretendia descobrir a sequência do desenvolvimento dos órgãos, abrindo a cada dia alguns ovos que estavam sendo chocados, com o objetivo de fazer comparações. Aristóteles insistiu na importância da observação em outras ciências que não a Biologia, notadamente na Astronomia. Para mostrar, por exemplo, que a forma da Terra era mais ou menos esférica. Aristóteles usou o argumento da forma da sombra da Terra lançada sobre a Lua. (ver O *Nascimento de uma Nova Física*, B. Cohen). Não faltava a Aristóteles o espírito científico, faltava-lhe certamente o método.

[18] O procedimento de construir modelos que habilitasse o cientista a predizer as observações já era plenamente adotado pelos gregos, na Astronomia, desde antes de Cristo, tendo alcançado seu ponto mais alto nos escritos de Ptolomeu (séc. II d.C.). Galileu teve o mérito de estender para a Física tais procedimentos adotados na Astronomia. O procedimento de Ptolomeu, embora frequentemente menos elaborado, é semelhante ao do físico do século XX, cujo objetivo é também o de produzir um modelo que resulte em equações capazes de predizer os resultados da experiência, apesar de muitas vezes ele ter de se contentar com equações, na ausência de um "modelo" que possa ser construído.

no período da primeira Revolução Industrial, ocorrida na segunda metade do século XVIII, tendo a Inglaterra como centro irradiador. O Eletromagnetismo é um produto especialmente do século XIX, e surge junto com a chamada segunda Revolução Industrial, com centro na Alemanha. Entretanto, seria na França e Inglaterra que a Teoria Eletromagnética seria brilhantemente construída, com muito trabalho, por, entre outros, Ampère, Faraday e especialmente Maxwell. Uma decorrência natural do desenvolvimento do Eletromagnetismo foi a formulação da Teoria da Relatividade, por Einstein.

Ao lado de estudos relacionados a sistemas muito grandes (a exemplo daqueles relativos ao sistema solar, na Antiguidade e na época de Copérnico) desenvolveu-se também o estudo de fenômenos relacionados a sistemas de pequenas dimensões, ou mesmo microscópicos.

Tais estudos foram intensificados no início do século XX a partir da revolução conceitual provocada pelos trabalhos de Planck, Einstein, De Broglie, Schroedinger, Heisenberg, Bohr e outros, ao introduzirem a ideia do *quantum* de energia, da *dualidade onda-corpúsculo*, e outros conceitos importantes, surgindo daí a Mecânica Quântica, ou seja, a base teórica para o estudo dos sistemas microscópicos (Os átomos e moléculas são estudados através do ramo da Física denominado Física Atômica e Molecular; os seus núcleos são estudados através da Física Nuclear).

A Física convive também com outras ciências naturais aplicando os modelos físicos no ambiente dessas ciências, a exemplo da Biologia e da Química. Por outro lado, as Ciências da Computação têm ampliado os recursos disponíveis para o avanço dessas teorias.

Para o século XXI já se desenham três grandes áreas: a Física das Estruturas Complexas (abrangendo a Biofísica, a Física da Matéria Condensada, a Física de Novos Materiais e a Física do Caos), a Cosmologia e a Física de Partículas (também chamada de Física de Altas Energias).

Aplicações da Física

Após o século XVII, particularmente a partir do século XIX, as ciências naturais, em particular a Física, tornaram-se também grandes propulsoras do desenvolvimento tecnológico. O avanço nos meios de transporte, na comunicação, na produção de energia, na produção de alimentos, na produção de equipamentos para uso na Medicina, e também, infelizmente, na produção de artefatos bélicos, não teria ocorrido se não fosse o desenvolvimento dos diversos ramos da Física, a exemplo da Mecânica, da Termodinâmica, do Eletromagnetismo e da Física Quântica.

O resultado do extraordinário progresso científico e tecnológico, especialmente nos últimos cem anos, pode ser visto dentro da maioria de nossas residências, com a presença da lâmpada elétrica, fogão a gás, liquidificador, geladeira, telefone celular, rádio, forno de micro-ondas, computador e televisão, só para citar alguns exemplos importantes.

QUESTÕES

1) Física, o que é?

2) Qual o objeto de estudo da Física? Quais os limites de seu campo de ação?

3) Onde e quando teve sua origem?

4) Por quais caminhos se desenvolvia a Física, por volta do ano 1600 d.C.? E a partir de então?

5) Quais as grandes áreas que se desenham para a Física no século XXI?

OBSERVAÇÃO: os termos *physikós*, *physiké* e physikón são derivados do verbo *phýo/phyomai*, que literalmente significa crescer, nascer / ou fazer crescer, fazer nascer, produzir. O termo polissêmico *phýsis*, que pode significar origem, nascimento / forma natural, aparência exterior / ordem natural, natureza criadora, substância elementar, etc., também deriva deste verbo.

A "Ciência das Harmonias"

A chamada "ciência das harmonias" – uma mistura de música e ciências exatas – era uma disciplina estudada em diversos cursos nas mais antigas universidades europeias. Apesar do importante papel que desempenhou no desenvolvimento do pensamento científico, esta é uma ciência da qual hoje pouco se fala. Suas origens remontam à Grécia antiga e foi o filósofo Pitágoras de Samos (c. 570-490 a.C.) provavelmente o primeiro a se interessar seriamente pelo objeto de estudo dessa ciência (a "harmonia"), quando estabeleceu relações matemáticas entre as notas das escalas musicais gregas e os comprimentos de uma corda vibrante (Ver quadro em destaque). Platão, no *Timeu* (ver, por exemplo, *Timeu*, 35b,c) e Aristóteles, no *De Caelo* e *Metaphysica*, contribuíram para esta ciência, refinando as ideias pitagóricas, que atribuíam aos planetas movimentos regidos por leis análogas às da consonância musical (efeito agradável aos ouvidos de dois sons simultâneos ou consecutivos, cuja relação entre as frequências se reduz a uma fração simples). Os tratados de Euclides (século III a.C.) intitulados *Sobre a Música* e *Sobre a Divisão da Escala Harmônica* foram certamente influenciados pelos trabalhos de Pitágoras ou dos pitagóricos que lhe antecederam.

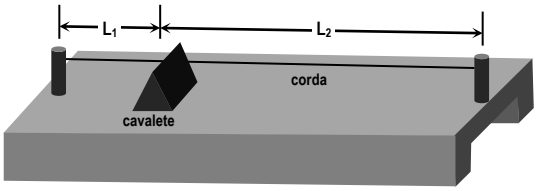
O conceito de "harmonia", na Grécia antiga, estava ligado aos diversos tipos de proporções matemáticas: a aritmética, a geométrica e a harmônica. Nessa época, a "ciência das harmonias" era entendida como um problema de matemática, que consistia em descobrir, atendendo a certas regras, um terceiro número situado entre dois outros dados. Se representarmos estes dois números pelas letras *A* e *Z*, as diferentes proporções são definidas como segue: A média aritmética *B* é tal que *A-B = B-Z*. A média geométrica *C* é tal que *A/C = C/Z*. A média harmônica *D* é tal que *1/A – 1/D = 1/D – 1/Z*. As proporções (*B/Z*, *C/Z*, *D/Z*, *A/B*, etc.) eram "ouvidas" com a ajuda de um monocórdio, o qual consiste em uma corda esticada sobre uma caixa de ressonância (Ver figura). A posição do cavalete dividia a corda em duas partes. Dedilhando as duas partes da corda, as proporções matemáticas (as "harmonias") eram obtidas quando a combinação dos sons produzia um efeito musical agradável (a "harmonia"). Com base nessas proporções, os pitagóricos elaboraram um escala musical que foi utilizada por muitos séculos.

Com o passar do tempo, o sentido da palavra harmonia se alargou, passando a significar não só uma operação matemática particular, mas também uma estrutura formal ideal, tendo a música como instrumento de pesquisa e verificação, de modo que o modelo musical passou a ser usado para descrever não só o mundo dos sons, mas também todo o universo.

[Ver Ana Maria Lombardi, *Scientific American Brasil*, Música e Revolução Científica – Conquistas da Física, Kepler]

Vê-se, portanto, que a ciência grega das harmonias – chamada Harmônica, conforme M. Schenberg – explorava a forte relação entre a música e a parte da Física que hoje denominamos Acústica. Esta ligação entre música, matemática e física talvez explique porque Boécio, ao classificar as chamadas *artes liberais* ([19]), no século VI d.C., tenha incluído a Música no rol das ciências exatas, ao lado da astronomia, aritmética e geometria, formando o que veio a se chamar o *quadrivium* (que perdurou nas Universidades medievais). Dentro dessa visão clássica, as matérias científicas se contrapunham às matérias humanistas do *trivium*, denominadas gramática, retórica e dialética (lógica), preparatórias para o *quadrivium*.

Com o passar dos séculos, o campo de estudo da ciência "musical" se alargou, de modo que, no século XVII, a música passou a desempenhar um papel mediador entre os trabalhos de astronomia, acústica, óptica e fisiologia, com muitos cientistas importantes (Kepler, Mersenne, Galileu, Descartes, Huygens etc.) atuando nas discussões sobre problemas que, na época, eram considerados musicais, mas que, atualmente, podem ser vistos



Pitágoras testava suas teorias matemáticas com a ajuda de um monocórdio.

[19] Anicius Manlius Torquatus Severinus Boethius nasceu em Roma (c. 480-524 d.C.). As chamadas *artes liberais* podem ser entendidas como um conjunto de disciplinas através das quais se procura prover os estudantes de conhecimentos, métodos e habilidades intelectuais *gerais*, em lugar de habilidades *especializadas.*

como relacionados com o desenvolvimento da ciência de modo geral. Um digno representante da "ciência das harmonias", no século XVII, foi Kepler, cujos trabalhos se caracterizaram pela busca da "harmonia", um dos principais conceitos de sua obra. No livro *Harmonia do Mundo*, Kepler procura apresentar seu próprio modelo harmonioso da Criação.

Mas tarde, os protagonistas das ramificações da ciência "musical" passaram por uma lenta especialização, resultando numa separação deste diversos ramos. A chamada *música mundana* (que reunia aqueles que buscavam descrever o Sistema Solar) foi separada da *música humana* (dedicada ao estudo das leis harmônicas em vigor) e da *música instrumentalis* (área de domínio dos músicos, dos compositores e dos artistas que fabricavam instrumentos musicais), acabando a relação da música com a metafísica. Isto coincidiu com o nascimento da acústica moderna e com o abandono, pelos cientistas, das tentativas de interpretar os fenômenos naturais com a ajuda do modelo musical. [Ver Ana Maria Lombardi, *Scientific American Brasil*, Música e Revolução Científica]

Apêndice 3 – Texto Complementar 2

LEI DE COULOMB E CARGA ELÉTRICA

J. F. M. Rocha

As medidas realizadas por Coulomb

Apesar de Prestley ter mostrado indiretamente que a lei de força elétrica tinha a mesma forma que a força gravitacional, foi o escocês John Robison (1769) que fez as primeiras medidas diretas dessa força, fazendo variar a distância entre duas pequenas esferas carregadas. Mas, como já foi citado, as determinações mais precisas da lei da força elétrica foram feitas por Coulomb, usando sua balança de torção, com a qual podia medir forças elétricas tão pequenas quanto 10^{-8} N. Coulomb conseguiu esta façanha após ter determinado experimentalmente, em 1784, as "leis da força de torção de um fio metálico", quando achou que tal força era proporcional ao ângulo de torção, θ ($T=C\theta$; onde $C=kd^4/L$, sendo d, L e k o diâmetro, o comprimento e natureza do fio, respectivamente).

As medições de Coulomb para a verificação da lei que leva o seu nome foram realizadas por dois métodos diferentes. O método da balança de torção foi usado para verificar tanto a repulsão quanto a atração elétrica, mas na sua *Memória* de 1985 [Magie, W. F., *A Source Book in Physics*, p. 408], ele chama a atenção para as dificuldades encontradas no uso da balança de torção quando a força elétrica é atrativa, isto porque, neste caso, nem toda posição de equilíbrio do travessão suspenso pelo fio de torção é necessariamente estável. Entretanto, usando outro método, ele confirmou os resultados obtidos para o caso de forças atrativas entre as esferas. No que segue, trataremos apenas do método da balança de torção.

Com o fim de determinar a dependência da força elétrica com a distância, Coulomb ajustou a balança para que o travessão que sustenta a esfera *a* (Figura 13, adiante) ficasse na posição de equilíbrio, correspondendo à posição zero na escala do topo da balança. Em seguida, eletrizou a esfera *t* (mantida sempre fixa), que estava inicialmente em contato com a esfera *a*. Para isso, introduziu pelo orifício da parte superior do disco de vidro um corpo eletrizado (Figura 12.4, adiante), fazendo-o tocar na esfera fixa *t*. Após o toque na esfera *t*, as esferas *a* e *t* se repeliram, resultando numa nova configuração de equilíbrio para a qual Coulomb mediu uma separação angular entre as esferas igual a 36º, lidos na escala de baixo do instrumento (*ZOQ*, na Figura 12), à qual corresponde uma certa distância entre os centros das esferas.

Visando reduzir à metade a distância entre as esferas carregadas (ou reduzir à metade a separação angular de 36º), torceu ainda mais o fio, alcançando seu objetivo após um giro de 126º lidos no micrômetro circular do topo, resultando numa torção total de 126º + (36º/2) = 144º = 36ºx4.

Com o objetivo de reduzir a distância para um quarto da distância inicial, torceu mais uma vez o fio até atingir 567º, resultando numa tensão total de 567º + (36º/4) = 576º = 36ºx16 (de acordo com o original de Coulomb, a separação angular entre as esferas foi de 8,5º e não 9º).

Verificou então que o efeito se torna 4 e 16 vezes maior quando a distância entre as esferas se torna 2 e 4 vezes menor. (É interessante notar que para separação angulares de 9º a distâncias entre os centros das esferas era relativamente pequena).

Dentro dos limites de precisão da experiência, para ângulos de torção θ_i e θ_j e distâncias r_i e r_j, respectivamente, os dados estavam sempre de acordo com a equação

$$(\theta_j / \theta_i) = (r_i / r_j)^2$$

Estes resultados podem ser explicados do seguinte modo. O ângulo θ é o ângulo de torção da fibra e ele determina o torque exercido sobre o travessão da balança. A força exercida sobre a esfera *a*, resultante da torção da fibra, é proporcional a este torque. Além disso, no equilíbrio, esta força é igual e oposta à força elétrica exercida sobre a esfera *a*, devido à presença da esfera *t*. Desse modo, o ângulo de torção é também proporcional à força elétrica. Sendo o ângulo θ proporcional à força elétrica exercida sobre a esfera *a* pela esfera *t*, conclui-se que a intensidade dessa força é inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa (supondo mantidos constantes os demais parâmetros):

$$F \propto 1 / r^{-2}$$

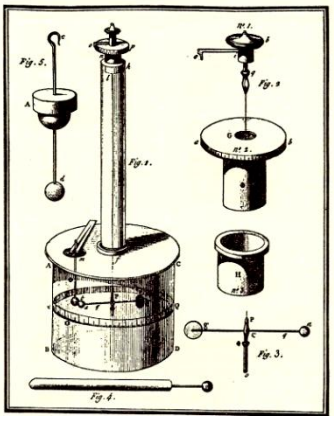
A proporcionalidade da força elétrica com o produto das cargas Coulomb poderia verificar partindo, por exemplo, da configuração em que o ângulo de torção era de 567º. Para fazer essa verificação, ele teria que dispor de uma esfera não eletrizada *t'*, idêntica à esfera *t*, com a qual ele poderia dividir igualmente a carga da esfera *t*, tocando-a com a esfera *t'*. Em seguida, ajustaria o ponteiro do micrômetro para que a torção fosse reduzida e o travessão (que sustenta a esfera *a*) recuperasse a posição de antes do toque. Verificaria então que este ângulo seria de 567º/2.

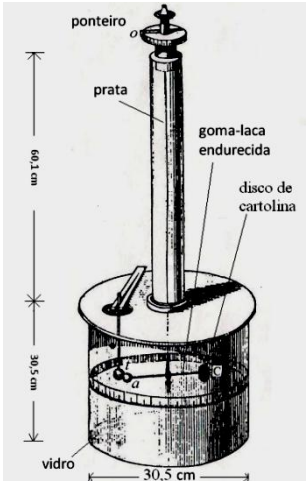
A lei de Coulomb é expressa atualmente na forma (em módulo):

$$F = k_e \, q \, q' / r^2$$

onde *q* e *q'* são as cargas elétricas e k_e é uma constante, denominada *constante eletrostática*. Por razões de ordem histórica, a constante k_e é escrita geralmente na forma $k_e=(1/4\pi\varepsilon)$, onde a quantidade ε é denominada permissividade elétrica e está relacionada ao meio em que as cargas estão imersas. O valor da constante eletrostática depende também do sistema de unidades utilizado. Para o vácuo, no Sistema Internacional de Unidades (S.I.), $(1/4\pi\varepsilon_o)=8{,}99\text{x}10^9$ N.m^2/C^2. A relação $(\varepsilon/\varepsilon_o)=\kappa$ é denominada constante dielétrica do meio e dá a medida do enfraquecimento da força entre duas cargas ao se mergulhar estas cargas em um meio material (diz de quantas vezes o valor da força foi reduzido).

Foi principalmente a partir das experiências de Coulomb que se começou a pensar em carga elétrica como uma quantidade definida que poderia ser medida, o que não tinha sido feito com precisão até então.





Figuras 12 (à esquerda) e 13 (à direita) – Balança de torção elétrica de Coulomb apresentada na Memória de l`Académie Royale de4s Sciences (1785).

Unidade de carga

Por razões de ordem prática, relacionadas à precisão das medidas, a lei de Coulomb não é usada para definir a unidade de carga. O Sistema Internacional de Unidades (S.I.) adotou o *ampère*, a unidade de corrente elétrica, como *unidade de base* para a eletricidade, de forma que a unidade de carga, denominada *coulomb*, é proveniente do *ampère*. É uma *unidade derivada.*

No quadro a seguir, estão relacionadas às sete unidades de base do S.I.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES – S.I. – UNIDADES DE BASE			
Grandeza	Natureza	Unidade	Símbolo
Comprimento	geométrica	metro	m
Tempo	cinemática	segundo	s
Massa	dinâmica	quilograma	kg
Intensidade de corrente	eletromagnética	ampère	A
Temperatura	térmica	kelvin	K
Intensidade Luminosa	óptica	candela	cd
Quantidade de Matéria		mol	mol
No S.I. o *ampère* é definido como a *intensidade da corrente elétrica contínua e constante que percorrendo dois fios condutores retilíneos, paralelos, de comprimento indefinido e de seção transversal circular de área desprezível, situados no vácuo à distância de 1 metro um do outro, determina entre eles uma força de interação de origem eletromagnética de intensidade igual a* $2x10^{-7}$ *newton por metro de comprimento de cada um dos fios.* [Referência: Rosenberg, I. M., *O Sistema Internacional de Unidades – SI*, São Paulo. Instituto Mauá de Tecnologia. 2ª edição, 2002] Esta definição é realizada por uma técnica de laboratório (a balança de corrente) onde são envolvidas forças magnéticas [$(F/l)=(\mu_{o/2}\pi)i_1i_2/d$] que não dependem de ε_o e sim da constante μ_o, denominada permeabilidade magnética (do vácuo). Como apenas uma unidade de base, de natureza eletromagnética, é admitida no S.I., somente μ_o recebe um valor arbitrário determinado. Sendo assim, o valor da constante eletrostática ($1/4\pi\varepsilon_o$) está condicionado à escolha do valor da permeabilidade magnética.			

Neste sistema, o *coulomb* é definido *como a carga elétrica que atravessa, em um segundo, uma seção transversal de um condutor percorrido por uma corrente invariável de um ampère.*

Como as grandezas que aparecem na lei de Coulomb (*F*, *r* e *q*) são medidas de uma maneira que não envolve o valor para ε_o, o valor desta quantidade será aquele que ajusta a expressão $F=k_eqq'/r^2$, tornando-a consistente com as definições do S.I., o que, para o vácuo, como já foi citado, resulta em $(1/4\pi\varepsilon_o)=8{,}99x10^9\ N.m^2/C^2$ (assim como o *coulomb*, o *newton* é uma *unidade derivada*, no S.I.). Este valor pode ser mais facilmente obtido, através, por exemplo, da medida da capacitância de um capacitor ($C=\varepsilon_oA/d$), ou através da medida da velocidade da luz, *c*, já que esta se relaciona com ε_o e μ_o através da expressão:

$$c^2 = 1/\mu_o\varepsilon_o \rightarrow \varepsilon_o = 1/c^2\mu_o$$

a qual é obtida a partir das equações de Maxwell (a serem vistas oportunamente). A partir de 1983, entretanto, como parte da redefinição do metro (“comprimento percorrido pela luz no

vácuo durante um intervalo de tempo 1/299792458 do segundo") ([20]), passou-se a atribuir para a velocidade da luz um valor exato e, por definição, dado por: c = 299 292 458 m/s.

Sobre a carga e sua conservação

No século XVIII, B. Franklin já especulava sobre a materialidade da eletricidade e de sua constituição atômica ("a matéria elétrica consiste de partículas extremamente sutis, pois ela pode penetrar a matéria ordinária"). Isto é notável, pois na sua época muitos imaginavam a eletricidade como um fluido imponderável e sem propriedades físicas determináveis.

O termo carga (elétrica) tem sua origem em uma analogia que se fazia, à época, entre o ato de "carregar" alguma coisa – tal como um canhão com pólvora – e o ato de eletrizar um objeto com um fluido elétrico, isto é, "encher" um objeto com um fluido. Tal objeto eletrizado passou a ser chamado de "carregado" e o uso da expressão "carregar" para significar "eletrizar" perdurou até nossos dias.

Franklin foi também um dos primeiros a perceber que a carga elétrica se conserva, ao notar que, no processo de eletrização de um corpo por atrito, estas não eram criadas, mas sim redistribuídas, isto é, o que havia mesmo era uma transferência de cargas (fluido elétrico) de um corpo para outro. Posteriormente, verificou-se que a conservação da carga era uma lei fundamental da natureza e que, mesmo na escala das partículas subatômicas esta lei de conservação era rigorosamente obedecida.

Mas o que é mesmo a carga elétrica? A carga elétrica é uma propriedade da matéria tão fundamental quanto a massa. Algumas partículas subatômicas têm carga e outras não. A carga elétrica de um corpo macroscópico reside em partículas subatômicas que compõem a matéria.

Até aqui falamos na carga elétrica em termos qualitativos. Para falarmos em carga elétrica em termos quantitativos, precisamos definir a grandeza física "carga elétrica", q (ou *quantidade de eletricidade*). Fazemos isto estabelecendo uma série de operações que permitam medi-la (de forma análoga a o que se faz para medir qualquer grandeza). Uma exigência é saber como dividir uma carga elétrica em um certo número (arbitrário) de partes iguais e então estabelecer uma carga que será considerada como unidade de medida. Para tal unidade de medida, uma solução seria adotar a carga elementar, a carga do elétron; mas não é isto o que é feito no S. I.

Podemos dizer então que a grandeza "carga elétrica", q, (ou quantidade de eletricidade), expressa a medida da capacidade dos corpos de interagir com outras cargas elétricas. No S. I. a unidade de quantidade de eletricidade é o *coulomb*, definido em função da corrente que passa num fio.

Note que não é objetivo da Teoria Eletromagnética dizer o que é a carga elétrica e sim descrever seu comportamento e suas propriedades.

ALGUMAS PARTÍCULAS COM SUAS CARGAS E MASSAS			
Nome da partícula	Símbolo	Carga	Massa (em unidades da massa do próton)
Próton	P	$+e$	1,000
Nêutron	n	0	1,001
Elétron	e^-	$-e$	0,000545
Pósitron	e^+	e	0,000545
Fóton	γ	0	radiação eletromagnética
Méson Pi (píons)	π^+, π^-	$+e, -e$	0,1487
	π^o	0	0,1438

[20] Rosenberg, I. M., *O Sistema Internacional de Unidades – SI*. São Paulo. Instituto Mauá de Tecnologia (2002).

Alguns exemplos de conservação da carga

1) No decaimento radioativo:

   (Ver também, no filme sobre Física Nuclear, a descoberta da radioatividade por H. Becquerel, usando uma amostra de sulfato de potássio uranila, em 1896).

$$\underset{92e}{{}^{238}_{92}U} \longrightarrow \underset{90e}{{}^{234}_{90}T} + \underset{2e}{{}^{4}_{2}He}$$

$$\underline{92e} \qquad\qquad \underline{92e}$$

2) Na produção do carbono 14 por colisão de nêutrons com núcleo de nitrogênio:

   (Ver o *método de datação* por carbono 14 em *Ciência Hoje*, julho/agosto de 1985, pág. 39)

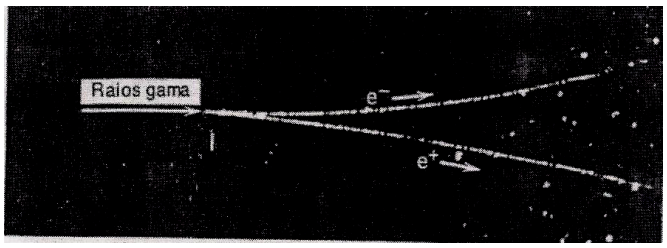
$$\underset{7e}{{}^{14}_{7}N} \longrightarrow \underset{0}{n} \longrightarrow \underset{6e}{{}^{14}_{6}C} + \underset{e}{p}$$

$$7e \qquad\qquad 7e$$

3) Na produção de pares:

   (Ver também experiência em sala com câmara de Wilson / diferenciar da *câmara de bolha*)

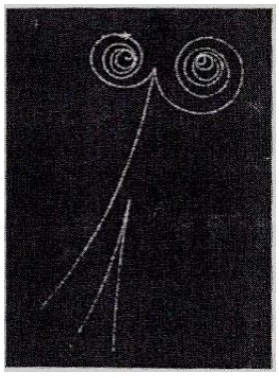
   Abaixo: um raio γ (vindo da esquerda) passando perto de um núcleo pesado, que age como elemento catalizador converte sua energia de radiação na criação de um elétron e um pósitron.



$$\underset{0}{\gamma} \rightarrow \underset{-1}{e^-} + \underset{+1}{e^+}$$

$$0 \qquad\qquad 0$$

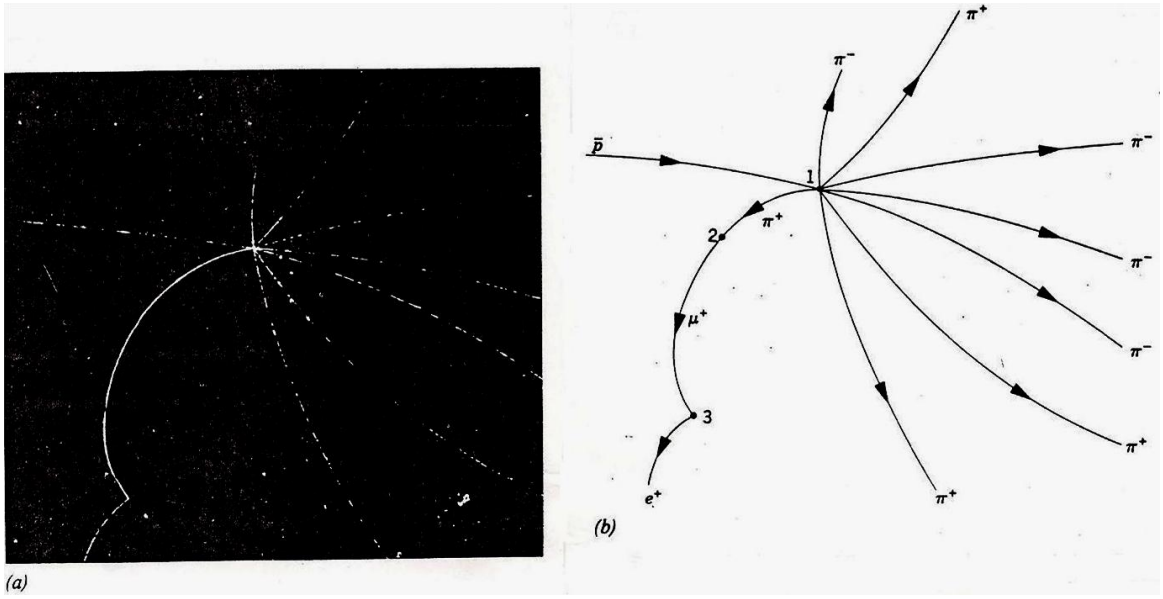
Câmara de Bolhas no Laboratório Lawrence, em Berkeley.
Raios γ não deixam rastros na câmara de bolhas



Raios γ colidindo com um elétron do átomo de H, numa câmara de bolhas de hidrogênio líquido. Parte da energia da colisão é transferida para outro elétron e para um pósitron. O traço longo, ligeiramente encurvado, é produzido por um elétron do átomo de H, após a colisão, enquanto os traços em forma de espirais são gerados pelo par elétron-pósitron.

4) No processo de aniquilamento:
(Ver aniquilamento próton-antipróton, na figura a seguir)
[Referência: Halliday, R. e Resnick, R., *Fundamentos de Física 4, Rio de Janeiro. LTC, 1991*. p. 308]

$$p + \overline{p} \rightarrow 4\pi^+ + 4\pi^-$$
$$+1 \quad -1 \qquad 4(+1) \quad 4(-1)$$
$$0 \qquad\qquad 0$$



(a) Foto de uma câmara de bolhas registrando uma série de eventos iniciados por um antipróton que penetra a câmara pelo lado esquerdo. (b) Os traços são redesenhados e identificados para maior clareza.

Evento 1 – O antipróton colide com um próton do fluido da câmara e os dois se anulam. No processo de aniquilamento há a produção de oito píons, quatro dos quais possuem carga positiva e quatro negativa.

$$p + \overline{p} \rightarrow 4\pi^+ + 4\pi^-$$

Evento 2 – Um dos píons positivos desacelera-se, atinge o repouso e desintegra-se (decai) espontaneamente num antimíon e num neutrino:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$$

Evento 3 – O antimíon produzido nas reações acima atinge o repouso no ponto 3 e decai espontaneamente

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \overline{\nu}$$

Datação através do ^{14}C (carbono 14)

Existem na natureza três tipos de átomos de carbono (isótopos). O ^{12}C, o ^{13}C e o ^{14}C, mas apenas o ^{14}C é radioativo. Isto permite sua utilização na geocronologia.

O ^{14}C terrestre deve sua origem a interação dos nêutrons da radiação cósmica com o nitrogênio atmosférico:

$$^{14}N + n \rightarrow {}^{14}C + p$$

(há cerca de um átomo de ^{14}C para 10^{14} átomos de ^{12}C)

Uma vez formado, o átomo de ^{14}C pode combinar-se com dois átomos de oxigênio formando o gás carbônico

$$^{14}C + O_2 \rightarrow {}^{14}CO_2$$

Sob essa forma, a molécula $^{14}CO_2$ e, portanto, o ^{14}C, penetra na biosfera, via fotossíntese.

O carbono ^{14}C é continuamente renovado nos tecidos vivos. A quantidade de carbono 14 nos tecidos vegetais e animais vivos é praticamente constante, pois ao mesmo tempo em que o carbono é absorvido pela alimentação, ele também decai por emissão de partículas beta

$$^{14}C \rightarrow \beta + {}^{14}N$$

Quando morre uma planta, por exemplo, a assimilação dos isótopos de carbono (12, 13 e 14) cessa bruscamente e, em razão da radioatividade do ^{14}C a abundância do ^{14}C no material biológico decresce rapidamente, reduzindo-se à metade a cada período de 5570 anos (meia vida).

Para datar uma amostra arqueológica, deve-se, por um lado, medir a radioatividade (A) do carbono ^{14}C desta amostra e, por outro, a radioatividade (A_0) de uma amostra atual.

Desta comparação, deduz-se a idade t de morte biológica da amostra segundo a expressão:

$A = A_o \exp(-\lambda t)$ onde λ é a constante de desintegração.

Apêndice 3 – Texto Complementar 3

A DESCOBERTA DE WILSON

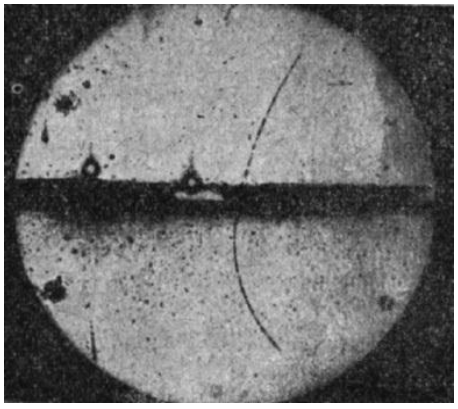
(Prêmio Nobel em 1927)

J. F. M. Rocha

A câmara de nuvens (ou de névoa), construída pelo físico e meteorologista escocês Charles Thomson Rees Wilson, é um método de tornar visível, por condensação de vapor, as trajetórias de partículas carregadas. A versão aprimorada da mesma, construída em 1911, foi desenvolvida por Wilson após muitos anos de pesquisas no ramo da meteorologia. Tudo começou em setembro de 1894, quando Wilson trabalhava num observatório que existia no topo do monte mais alto da Escócia (o *Ben Nevis*) conforme ele mesmo afirma na *Nobel Lecture*, de 1927, isto é, na conferência proferida por ocasião do recebimento do Prêmio Nobel, intitulada: *On the cloud method of making visible ions and the tracks of ionizing particle* (http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1927/wilson-lecture.pdf). De acordo com Wilson, toda manhã ele via o sol surgir sobre um mar de nuvens e também via a sombra do morro sobre nuvens baixas, circundada por anéis coloridos muito atraentes. Ainda de acordo com Wilson, a beleza do que ele via o fez apaixonar-se pelas nuvens e o levou a fazer experimentos para aprender mais sobre elas.

No início de 1895, ele fez alguns experimentos com este propósito, **produzindo nuvens por expansão de ar úmido** (à maneira de Coulier e Aitken, conforme afirma). Após poucos meses trabalhando no *Cavendish Laboratory*, na Inglaterra, ele viu algo que prometia ser de mais interesse que o fenômeno óptico que ele queria estudar. Este novo fenômeno consistia no aparecimento de gotículas de água (nuvens) toda vez que ele expandia o volume de ar úmido além de um certo limite, mesmo o ar úmido estando livre de partículas de "poeira" (supostamente os centros de nucleação das gotículas).

A sua suspeita inicial foi a de que tal fenômeno poderia ser resultado da condensação sobre núcleos desconhecidos (ou centros de nucleação desconhecidos) que estariam sendo produzidos continuamente. Tais centros de nucleação seriam possivelmente os íons que causam a condutividade "residual" da atmosfera.



Fotografia do traço do primeiro pósitron, feita por C. Anderson.

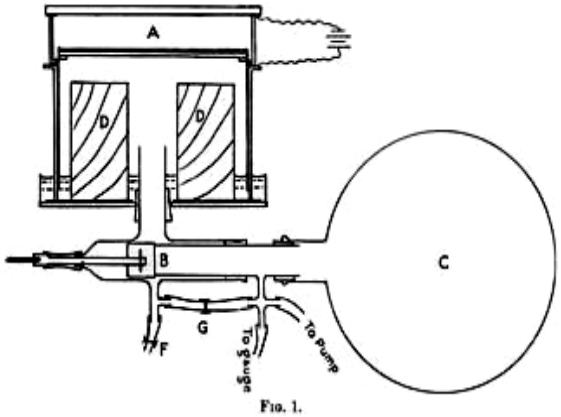


FIG. 1.

A diagram of Wilson's apparatus. The cylindrical cloud chamber ('A') is 16.5cm across by 3.4cm deep.

As suas suspeitas foram reforçadas no início de 1896 quando ele expôs sua primitiva câmara de nuvens à incidência de raios-X, descobertos por Röntgen, no final de 1895. Ele verificou que a incidência de raios-x (já então reconhecido como radiação ionizante) fazia aumentar significativamente a condensação "tipo-nuvem", obtida anteriormente.

Estas descobertas o estimularam a aprofundar suas pesquisas nesta área e, após um persistente trabalho de investigação, ele construiu a versão aprimorada da chamada câmara de nuvens, em 1911. Nesse mesmo ano**, Wilson tornou-se a primeira pessoa a ver e fotografar os traços individuais de partículas alfa e de elétrons.**

Entre outros fatos marcantes, a câmara de Wilson foi importante na descoberta do pósitron, por Carl Anderson (1932); foi importante para a demonstração visual do processo de "criação" e "aniquilação de par" de elétrons e pósitrons, por Blackett and Occhiallini; e para a demonstração do chamado efeito Compton.

O funcionamento da câmara de Wilson

Após um processo de expansão, a temperatura do ar caía e a quantidade de vapor dentro da câmara se tornava excessiva (vapor supersaturado[21]– tem tendência espontânea de se liquefazer). O excesso de vapor se condensava em volta de partículas de poeira, formando gotículas de água. Num procedimento repetido de expansão e contração, procurava-se eliminar as gotículas já formadas e que caiam pela ação da gravidade (sobre uma camada de gel, por exemplo) na base da câmara. Além disso, para eliminar íons (residuais), criava-se um campo elétrico entre a base e o topo da câmara, que os fazia movimentar-se para a base ou para o topo (a depender do tipo de carga), onde também eram aprisionadas por uma camada de gel. Estando a câmara livre de tais partículas nucleadoras, não era esperada a formação de novas gotículas. Entretanto alguns traços se formavam repentinamente no interior da câmara, quando esta novamente era expandida de maneira abrupta. Isto depois seria explicado pela presença de outras partículas carregadas que penetravam na câmara.

Comparação da Câmara construída por Wilson com a câmara usada no laboratório

Existem dois tipos de câmara de nuvens, diferindo no método usado para se obter a supersaturação: a *câmara de expansão* (da época de Wilson) e a *câmara de difusão*. A que usamos é do tipo difusão que funciona pela difusão de um vapor condensável de uma região quente, onde não está saturado, para uma região fria, onde se torna supersaturado. Esta é mais simples de ser manejada. No nosso caso, foi utilizado o vapor de álcool isopropílico que é liberado do feltro preso à parte superior da câmara. O gradiente de temperatura entre a base e o topo da câmara foi estabelecido com a ajuda de um recipiente com nitrogênio líquido. O topo está à temperatura ambiente e a base encontra-se resfriada pelo nitrogênio líquido (–195,8ºC). Um campo elétrico foi criado no interior da câmara ao se estabelecer uma ddp de 7 kV entre o topo e a base da mesma (uma espécie de capacitor). Sua função é eliminar os íons indesejáveis geralmente existentes no interior da câmara.

Alcançadas as condições de operação, as trajetórias das partículas são observadas próximo à base da câmara.

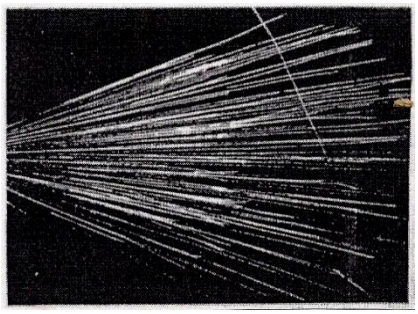
[21] Supersaturado – estado do um vapor que se encontra a uma temperatura inferior à de equilíbrio com o líquido na pressão em que se encontra.

Observação:

A chamada câmara de bolha (câmara de ebulição), inventada em 1952, pelo físico norte-americano Donald Glaser, tem um funcionamento parecido com o da câmara de nuvens e pode ser considerada como um aperfeiçoamento desta. Em lugar de um vapor supersaturado tem-se um líquido superaquecido[22] e em lugar de serem formadas gotículas por condensação formam-se bolhas, semelhante a o que ocorre quando se abre uma garrafa de cerveja. A câmara de bolhas produz resultados melhores que a câmara de Wilson, mas foi com a câmara de Wilson que muitas partículas elementares foram descobertas, a exemplo do pósitron.

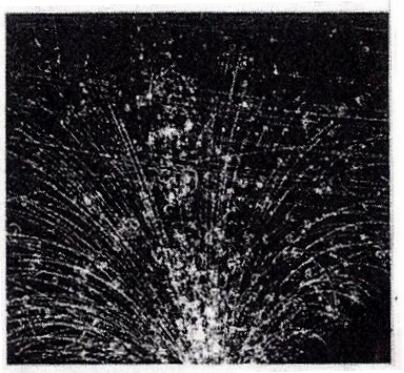
Mais Alguns Registros Fotográficos

1. Câmara de Nuvens *versus* Radiação (α) emitida pelo $^{214}_{83}Bi$ (radioativo)



Esta fotografia foi obtida por Blackett, em 1932 e mostra uma desintegração nuclear artificial de um núcleo de N^{14} pelo choque com uma partícula α com a formação de O^{17} e um próton. A longa trilha do próton e a curta trilha do núcleo de oxigênio que recua podem ser vistas.

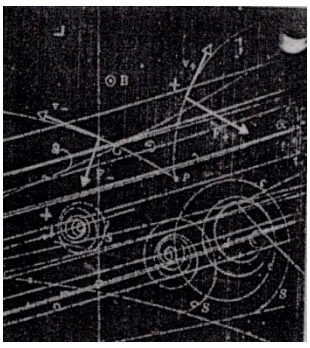
2. Câmara de Bolhas *versus* Raios Cósmicos



Traços deixados por raios cósmicos numa câmara de bolhas.

A Terra é bombardeada constantemente por partículas vindas do espaço (prótons, elétron, raios γ etc.). A maior parte delas é constituída de prótons, o elemento mais abundante no universo. Casualmente um próton pode colidir com átomos do ar produzindo outras partículas.

3. Câmara de Bolhas *versus* Aceleradores de Partículas



Criação de um par elétron-pósitron num ponto *P* – partículas aceleradas no Laboratório de Radiação Lawrence, Universidade da Califórnia (tipo cíclotron).

[22] Superaquecido – diz-se do líquido que se encontra a uma temperatura acima da sua temperatura de ebulição.

Raios Cósmicos

A câmara de Wilson, construída em 1911, foi um dos primeiros dispositivos a permitir a visualização da trajetória das partículas que compõem os chamados raios cósmicos. Esta câmara é uma versão aperfeiçoada de dispositivos mais simples construídos durante as suas primeiras pesquisas. Várias das partículas elementares hoje conhecidas foram primeiramente descobertas utilizando-se raios cósmicos.

Constituição e origem dos raios cósmicos

Os raios cósmicos que atingem a Terra (ou raios cósmicos primários) são constituídos principalmente por prótons (ou melhor, prótons e partículas alfa). Parte dessas partículas vem do Sol. Outra parte é criada em explosões de estrelas que chegam ao final da vida. Há ainda raios cósmicos de **altíssima energia 10^9 GeV** (10^9 Gev = 10^{18} eV) que foram primeiro detectados no início da década de 1960 e cuja origem não era conhecida pelo menos até o ano de 2007.

Os raios cósmicos foram inicialmente identificados em pesquisas sobre condutividade elétrica em gases contidos em recipientes fechados. Notava-se que havia sempre uma condutividade residual por mais que os pesquisadores procurassem evitá-la. A explicação da origem da ionização persistente destes gases (e a consequente condutividade) foi obtida entre 1911 e 1912 pelo físico austríaco Victor Hess, quando o mesmo conseguiu mostrar que tal ionização se devia à existência de uma radiação que provinha do espaço cósmico (daí o nome raios cósmicos). Ele fez sua descoberta usando balões que ascendiam a alturas de até 5000m. Com o tempo se descobriu que os raios cósmicos eram raios gama e partículas constituintes dos átomos. Ao nível do mar a média é de uma partícula por segundo em cada cm^2.

Os raios cósmicos de altíssimas energias são produzidos provavelmente por fenômenos catastróficos (ou extremos) do universo. São **talvez** núcleos atômicos com velocidades próximas de 300.000 km/s.

Os raios cósmicos primários podem produzir os chamados raios cósmicos secundários ao se chocarem com os núcleos das partículas da atmosfera, a poucas dezenas de quilômetros do solo. O choque cria uma cascata (chuveiro) de até bilhões (!) de outras partículas. Há aproximadamente 50 anos, o físico brasileiro **César Lattes** descobriu que nesse "chuveiro" podem ser observados os múons, que resultam da desintegração de outras partículas, os mésons pi (ou píons), sendo estes produzidos na interação dos prótons primários com átomos da atmosfera. Numa câmara de Wilson podemos detectar os raios cósmicos.

Energia das partículas

A maioria dos raios cósmicos primários tem energia menor do que 10 Gev ($10 \cdot 10^9$ eV). Os modernos aceleradores de partícula (Tevatrons) produzem partículas com até 1 Tev de energia (10^{12} eV), a exemplo do existente no Fermilab, USA.

O novíssimo acelerador do CERN produzirá partículas com até 7 Tev. Muito acima da maioria dos raios cósmicos e muito abaixo, portanto, dos raios cósmicos de altíssima energia.

O Observatório Pierre Auger

O **Observatório Pierre Auger**, na Argentina, pesquisa os efeitos dos raios cósmicos de altíssima energia. Ele dispõe de **1,6 mil tanques de água ultrapura** (para evitar o crescimento de bactérias), com 12 toneladas de água cada um, **separados uns dos outros por 1,5 km**, cobrindo **3 mil km^2 da região oeste da Argentina (andina)**. A extensão deste observatório é justificada para aumentar a probabilidade de detecção dos eventos raros provocados por partículas altamente energéticas.



Detecção

Quando as partículas formadas no "chuveiro" cruzam a água, emitem uma luz azulada devido a um fenômeno óptico semelhante ao das ondas que uma lancha rápida deixa na água. Esta luz é capitada por um conjunto de 3 sensores (fotomultiplicadoras). Os sinais luminosos são codificados eletronicamente e enviados ao prédio central.

A descoberta da origem dos raios cósmicos altamente energéticos

Os cientistas do Observatório Pierre Auger acreditam ter descoberto (em 2007) a origem dos raios cósmicos de altíssima energia: **eles vêm de "perto", das vizinhanças da Via Láctea, e podem ter como fonte os <u>núcleos ativos de galáxias</u>.**

Participação do Brasil – Em 2008 eram ao todo 18 pesquisadores brasileiros além de estudantes de doutorado e engenheiros.

(Ver também o artigo *Astronomia de Raios Cósmicos* de João Torres de Melo Neto em *Ciência Hoje*, v. 41, n. 245, Março/2008).

Detectores de Partículas

Existem vários tipos de detectores de partículas. Um dos mais modernos é o chamado "contador de cintilação", a que nos referimos anteriormente, que é capaz de detectar a luminosidade recolhida em fotocélulas. A ionização do meio (plástico), provocada pela passagem das partículas carregadas, produz a luminosidade que é refletida internamente até uma peça que está acoplada a uma válvula fotomultiplicadora.

Outros exemplos de detectores são: a câmara de nuvens, o contador Geiger-Muller e a câmara de bolhas.

Detectando a Radiação Nuclear (ver filmes sobre a descoberta da Radiação Nuclear)

Chapa fotográfica também é um exemplo de detector e, neste caso, a ionização das partículas carregadas provoca a revelação de grãos no filme.

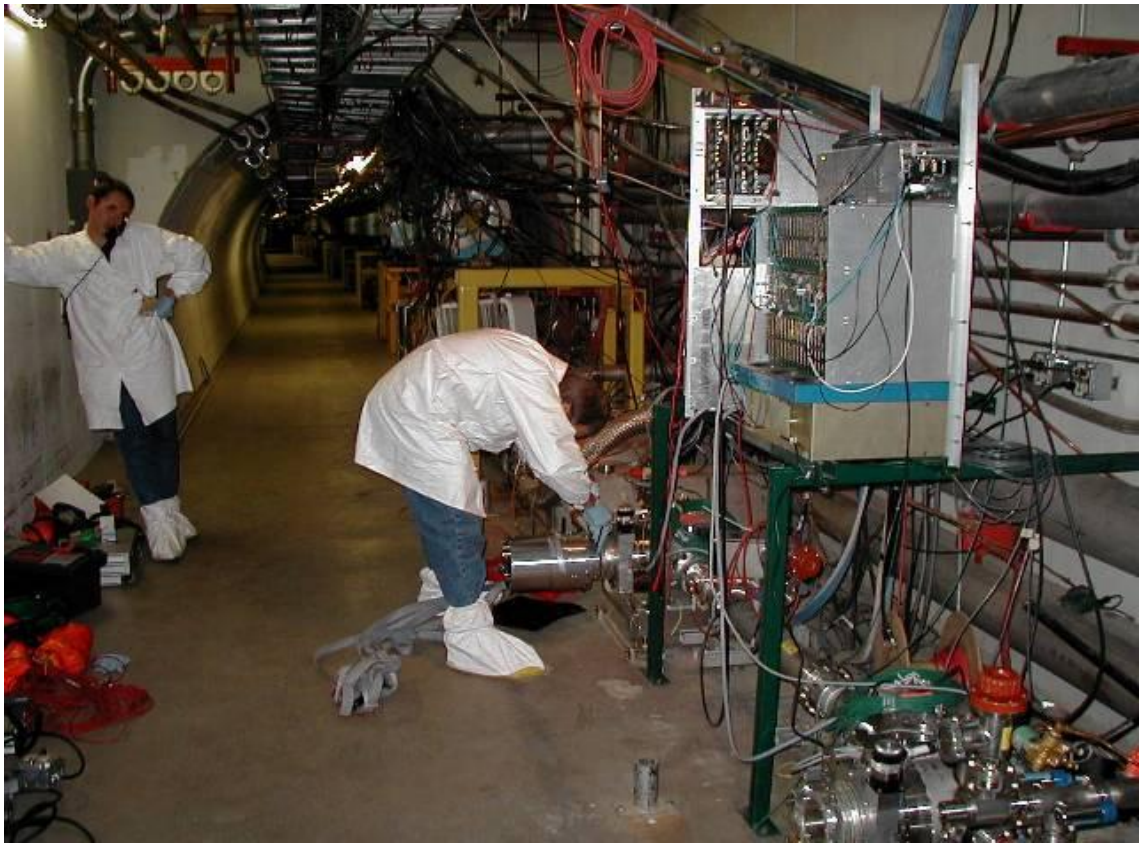
A radiação nuclear foi primeiro detectada em chapas fotográficas por Henry Becquerel, em 1896. Mas as trajetórias de partículas alfa e beta foram primeiro visualizadas numa <u>câmara de nuvens</u>, em 1911, quinze anos depois da radioatividade ter sido descoberta por H. Becquerel.

Fotos do Laboratório Fermi (Fermilab), em Batavia, Estado de Ilinois, EUA

(Cedidas gentilmente pelo Prof. Newton B. de Oliveira)



Uma das partes internas do túnel do acelerador *Tevatron* do Fermilab



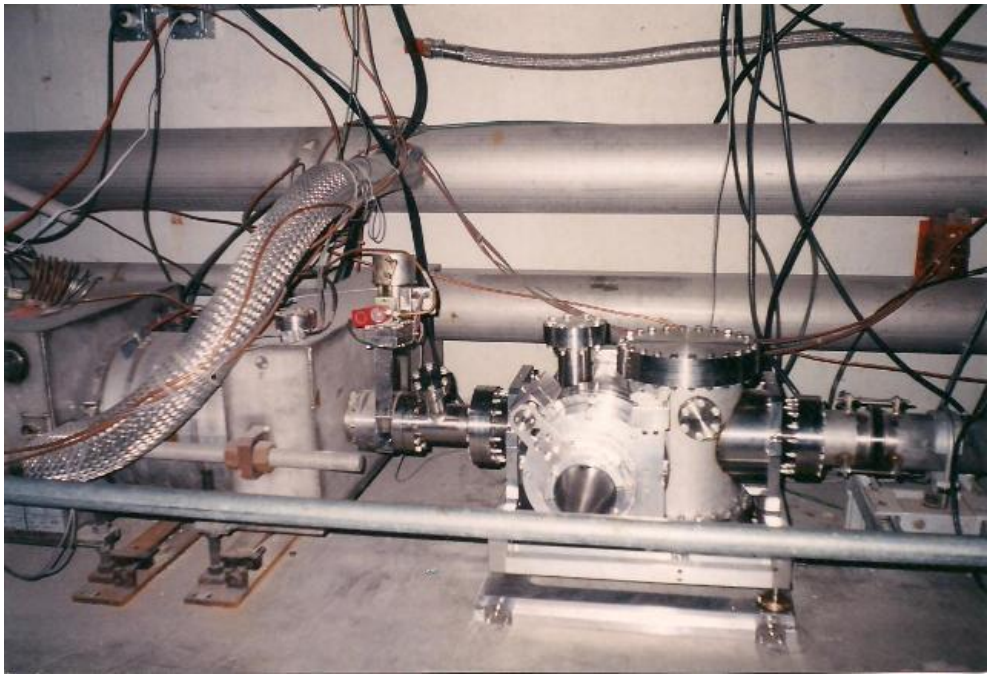
O Professor Newton Barros de Oliveira, da UFBA, inclinado, e seu colega francês, ao telefone, trabalhando na parte interna do Tevatron, montando um detector de partículas (ano 2000).





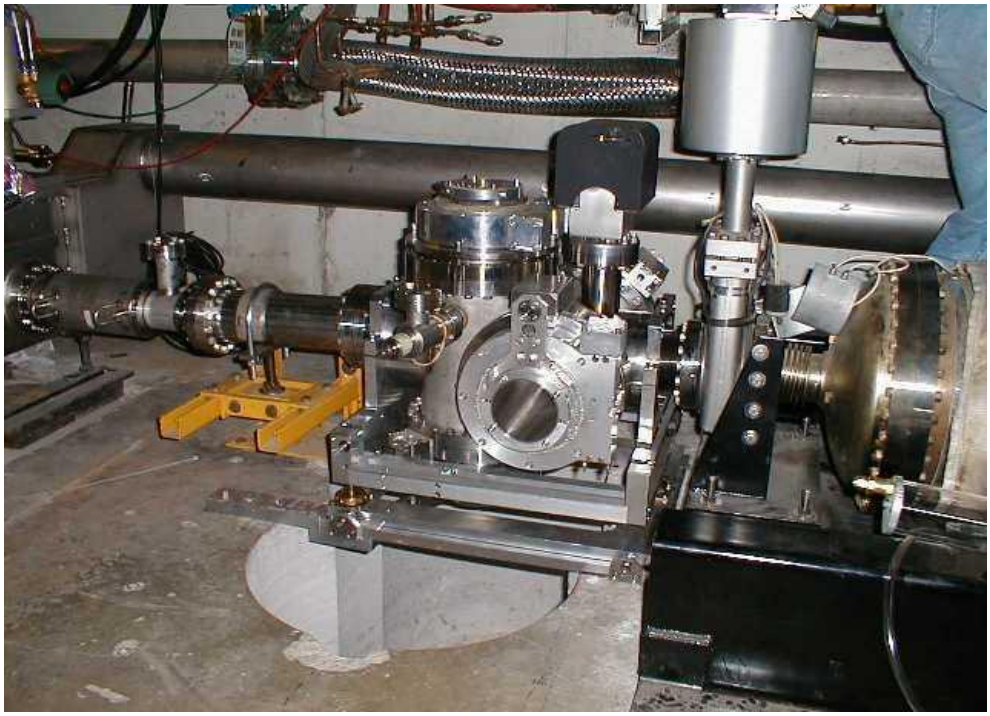
Detectores de Radiação e de Partículas

As caixas retangulares contêm um tipo de detector denominado "contador de cintilação", no qual a ionização produzida pela passagem da partícula provoca uma luminosidade que é recolhida em células fotomultiplicadoras. O tubo do feixe de prótons e antiprótons passa atrás deste conjunto de caixas.

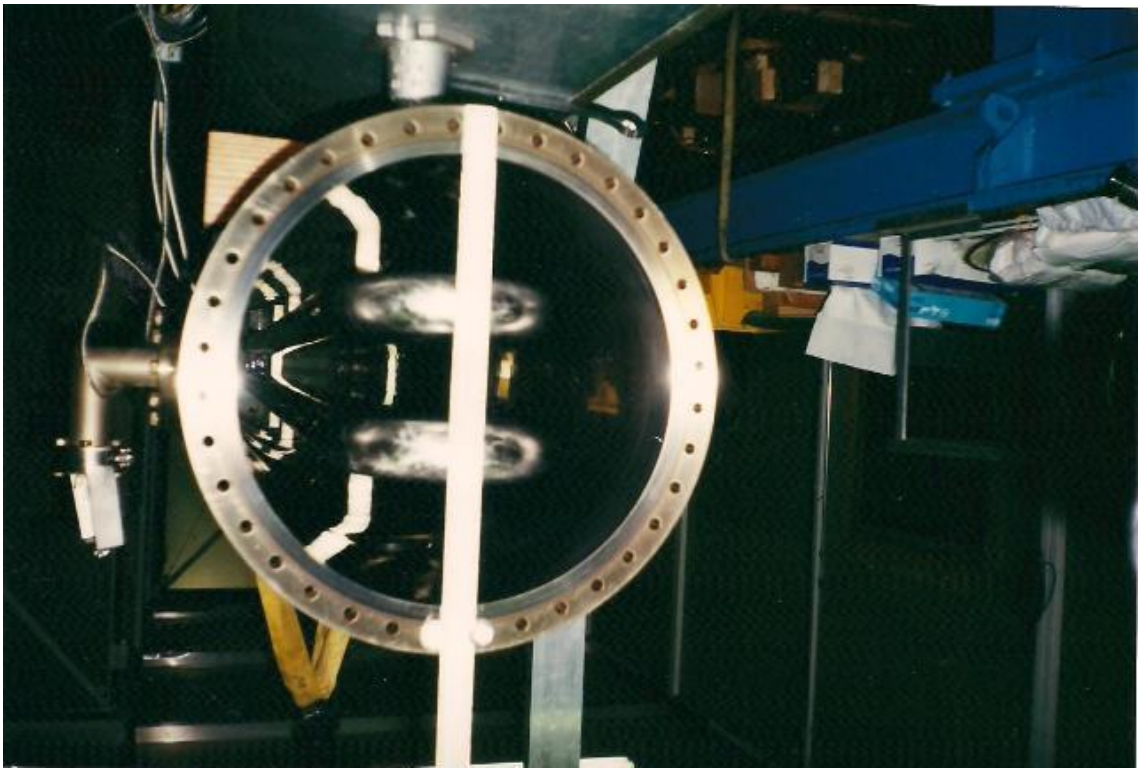


Tubulação de Gases Criogênicos

No primeiro plano e apoiado sobre o solo, vemos um dispositivo eletromecânico que movimenta horizontalmente o detector de prótons e antiprótons eventualmente desviados (ligeiramente) da linha central do feixe. A mangueira presa ao tubo mais alto recolhe o gás hélio originado da eventual transformação do hélio líquido em gás, no caso de ocorrer um *quentching* (mudança abrupta produzida por partículas "perdidas"). À esquerda e também apoiado sobre o solo, vemos a parte final de um quadripolo (magnético) supercondutor que exige baixíssimas temperaturas para funcionar adequadamente, o que se consegue utilizando o hélio líquido. A função do quadripolo é focalizar o feixe que foi desviado pelo dipolo magnético, na mudança suave de trajetória do Tevatron.



Na parte central da figura vemos outro dispositivo eletromecânico que movimenta horizontalmente e verticalmente os detectores de prótons e antiprótons eventualmente ligeiramente desviados da trajetória. À direita, vemos o extremo esquerdo do separador eletrostático (separa o próton do antipróton para que possam circular no mesmo tubo do feixe sem se chocar, a não ser por intervenção dos operadores.



Separador Eletrostático

Vista frontal de um separador eletrostático aberto onde se pode ver as duas placas que formam o capacitor. O separador pode separar os feixes próton/antipróton, mas pode também fazê-los colidir. A tira vertical branca é uma régua que indica um diâmetro de aproximadamente 50 cm. Observe o alto grau de polimento nas superfícies arredondadas para evitar centelhamento por efeito de ponta. A ddp de trabalho é da ordem de 700 kV e vácuo de 10^{-11} torr (mmHg)

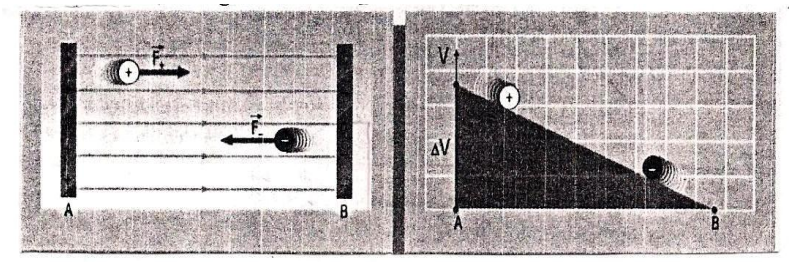
Apêndice 3 – Texto Complementar 4

POTENCIAL E DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO: DISCUSSÃO

J. F. M. Rocha

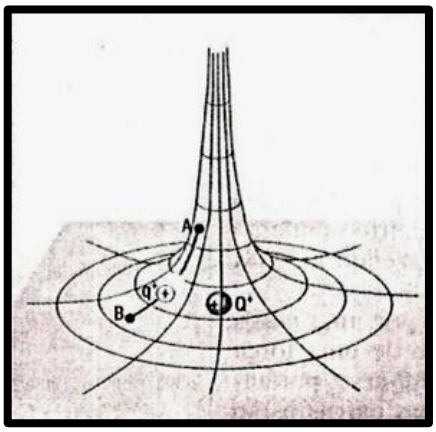
Abordamos anteriormente o conceito de campo elétrico. Estudaremos agora as propriedades do campo elétrico do ponto de vista de sua capacidade de realizar trabalho.

Considere o caso do campo elétrico existente entre duas placas condutoras paralelas, carregadas com cargas de mesmo módulo e de sinais contrários (Ver figura):



A carga q_o (positiva) se desloca como se existisse um *desnível* entre os pontos *A* e *B.* Uma carga negativa seguiria o caminho inverso.

Considere agora o caso do campo produzido por uma carga pontual Q+ (Ver figura).



O campo elétrico de Q+ gera no espaço um *declive elétrico* em forma de cume que as cargas positivas impelidas pela força do campo tendem a descer. O campo elétrico de Q- gera no espaço um declive elétrico em forma de fosso que as cargas positivas impelidas pela força do campo tendem a subir.

Estes comentários nos induzem a formular a seguinte questão: Como poderíamos avaliar o *desnível elétrico* entre dois pontos? Note que não temos, na realidade, qualquer diferença de altitude para medir. Uma saída aceitável certamente seria a de utilizar o valor do trabalho para avaliar o desnível elétrico, isto se o trabalho realizado não depender do caminho percorrido!

Uma definição possível de ser considerada para o desnível elétrico poderia ser:

> *O desnível elétrico entre dois pontos A e B é igual ao trabalho que as forças do campo realizam para deslocar uma carga de prova entre os pontos A e B.*

Nesta definição há, entretanto, um inconveniente! O trabalho dependeria da carga de prova. Para que a não dependa poderíamos então calcular não o trabalho, mas o trabalho por unidade de carga: W/q_o. Estas ponderações nos permitem fazer a seguinte comparação:

$$\boldsymbol{F} \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{F}/q_o = \boldsymbol{E}$$
$$W \quad \rightarrow \quad W/q_o = \ldots$$

Conceito de Trabalho

Inicialmente devemos relembrar que a maior parte dos termos usados em Física é na realidade, – com algumas modificações importantes – palavras usadas na linguagem corrente, como, por exemplo, velocidade, aceleração, força, energia, trabalho, campo etc.

Relembremos o caso do termo *campo*.

Em política internacional este termo pode significar "esfera de influência" ou "campo de influência". Neste caso, a influência é exercida por um determinado país sobre outro e a fonte seria o país que exerce a influência;

Nos esportes, significa uma região onde as equipes se confrontam (região de interação) e pode-se falar em campo de jogo para diversos esportes;

É importante ter em conta que o conceito de campo em Física difere do conceito de campo da linguagem corrente principalmente pelo fato de que em Física o campo está associado a um *valor numérico.*

Trabalho, como outro exemplo:

O termo trabalho normalmente é usado como a realização de um esforço para realizar uma tarefa. Qual o conceito científico de trabalho?

Origem do conceito científico de trabalho:

"As máquinas térmicas começaram a ser utilizadas como substitutivo do trabalho humano e animal no início do século XVIII. Ao longo dos anos, os modelos foram sendo modificados e aperfeiçoados conduzindo à diversidade e ao aumento da potência, de modo que seu uso se disseminou.

A unidade de medida do efeito mecânico ou "trabalho mecânico" – potência na conceituação atual – era o cavalo-vapor (*horsepower*, hp), definida em termos puramente experimentais: a massa que um cavalo podia puxar multiplicada pela velocidade em ritmo de marcha, o que dava um valor de 550 libras-pés/por segundo. Desde então, o trabalho mecânico foi conceituado como movimento de massa por ação de forças.

O emprego do termo trabalho juntamente com a adoção de sua quantificação como o produto da força aplicada a um corpo pela distância percorrida pelo corpo sob a ação dessa força veio a ocorrer no período 1818-1839.

O estabelecimento da expressão matemática para o trabalho mecânico foi uma contribuição decisiva para o desenvolvimento do conceito de conservação da energia".

Dissertação de mestrado de J. L. de P. B. Silva/UFBa

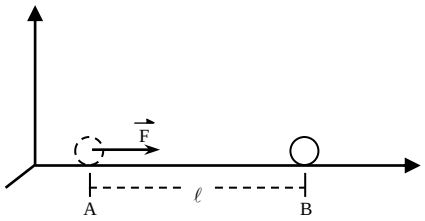
Observação: No S.I. – hp = 746 W (550 libras-pés por segundo); cv = 736 W

Com o tempo, a ideia de *trabalho* passou a servir como referência para a quantificação da energia. O conceito de trabalho adotado atualmente é mais amplo do que o do trabalho mecânico. Significa um processo de transferência de energia cuja causa não é uma diferença de temperatura (se a causa for a diferença de temperatura, então a transferência de energia é chamada calor).

A cada tipo de trabalho corresponde um modo de transferir energia. Por exemplo: trabalho mecânico → transferência de massa; trabalho elétrico → movimento de cargas.

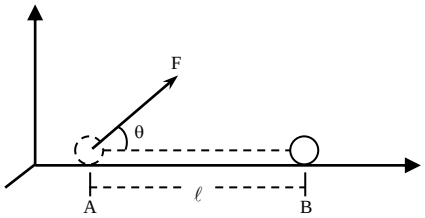
Expressão matemática para o trabalho

Força constante no sentido do deslocamento.



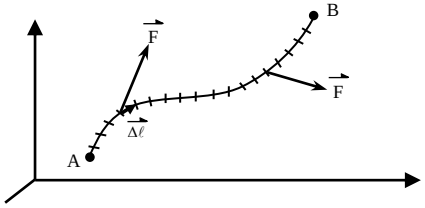
$$W_{AB} = F \cdot \ell = \vec{F} \cdot \vec{\ell}$$

Força constante, mas não no sentido do deslocamento.



$$W_{AB} = F \cos\theta \, \ell = \vec{F} \cdot \vec{\ell}$$

Força variável / trajetória curvilínea



$$\Delta W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{\ell}$$

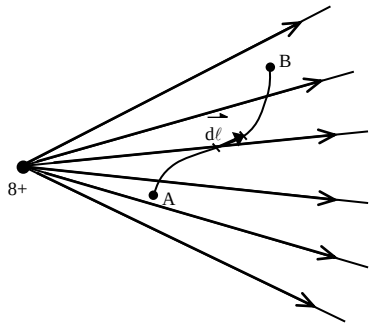
$$W_{AB} \cong \sum \vec{F} \cdot \Delta\vec{\ell}$$

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{\ell}, \quad \Delta\ell \to 0$$

Agora que já sabemos como calcular o trabalho, vejamos como encontrar a ddp (tensão ou voltagem) para algumas distribuições de carga.

Trabalho em um campo radial

Calcular o trabalho, por unidade de carga, realizado pela força elétrica devido a uma carga pontual (suposta positiva) sobre uma carga de prova q_o que se desloca entre dois pontos A e B de um campo elétrico **E**.



$$W_{AB} = \int_A^B \mathbf{F}_{ele} \cdot d\ell = q_0 \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\ell$$

$$W_{AB} = q_0 \int_A^B (kq/r^2)\,(\mathbf{r}/r) \cdot d\ell$$

Pode-se mostrar (ver adiante) que a integral acima se reduz à seguinte integral:

$$W_{AB} = q_0 \int_{r_A}^{r_B} (kq/r^2)\, dr = q_0 \left[-kq/r\right]_{r_A}^{r_B}$$

$$W_{AB} = q_0 \left[(-kq/r_B) + (kq/r_A)\right] \qquad \textbf{[eq. 1]}$$

Note que W_{AB} não depende da trajetória; só depende da distância dos pontos A e B à carga q_+.

Diferença de potencial

Se na equação [1] fizermos $kq/r_A=V_A$ e $kr/r_B=V_B$, e denominarmos V_A e V_B de potencial nos pontos A e B, respectivamente, podemos escrever:

$$W_{AB} = q_o \left[V_A - V_B\right]$$

ou, equivalentemente,

$$V_B - V_A = -W_{AB}/q_o = (kq/r_B) - (kq/r_A) \qquad \textbf{[eq. 2]}$$

Definição:

Em termos mais precisos, o desnível elétrico é chamado de diferença de potencial e a [eq. 2] sugere a seguinte definição de d.d.p.:

> **a diferença de potencial entre os pontos A e B é o *negativo do trabalho por unidade de carga realizado pelo campo elétrico no deslocamento da carga de prova entre esse pontos:***
>
> $$V_B - V_A = W_{AB}/q_0 = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\ell$$

Significado da expressão V = kq/r

Embora apenas variação de potencial tenha significado físico, é conveniente escolher uma posição de referência em que o potencial seja definido como zero.

Na identificação acima ($kq/r_A = V_A$ e $kq/r_B = V_B$), vemos que V(r)=kq/r nos dá o potencial elétrico para uma distância r de q. Isto corresponde a fazer V=0 em $r \rightarrow \infty$, na eq. [2],

$V_B - V_A = (kq/r_B) - (kq/r_A) \rightarrow V = kq/r$

Logo, para o caso de uma carga pontual (campo radial),

V(r)=kq/r,

Quando q for uma carga negativa, o valor de V=kq/r será negativo.

Sistema de mais de uma carga pontual

Se o campo é devido não a uma carga pontual, mas a duas ou mais cargas pontuais então:

$$V_B - V_A = -W_{AB}/q_0 = -\int_A^B \mathbf{E}_{res} \cdot d\boldsymbol{\ell} = -\int_A^B (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \ldots) \cdot d\boldsymbol{\ell} =$$

$$= \left(-\int_A^B \mathbf{E}_1 \cdot d\boldsymbol{\ell}\right) + \left(-\int_A^B \mathbf{E}_2 \cdot d\boldsymbol{\ell}\right) + \ldots$$

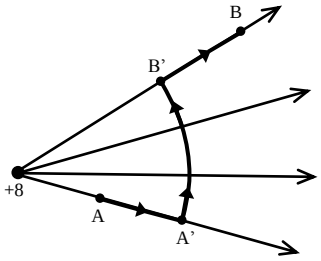
logo:

$V = V_1 + V_2 + \ldots = kq_1/r_1 + kq_2/r_2 + \ldots$

Se a distribuição de cargas for contínua: $V = \int k\, dq / r$

Apêndice sobre a resolução da integral $W_{AB} = q_0 \int (kq/r^2)\,(\mathbf{r}/r)\cdot d\ell$

Para facilitar o entendimento, consideremos inicialmente uma trajetória mais simples como a indicada na figura. Neste caso:



$$W_{AB} = q_0 \int_A^B (kq/r^2)(\mathbf{r}/r)\cdot d\ell =$$

$$= q_0 \int_A^{A^i} (kq/r^2)\,(\mathbf{r}/r)\cdot d\ell + q_0 \int_{A^i}^{B^i} (kq/r^2)\,(\mathbf{r}/r)\cdot d\ell + \quad (0)$$

$$q_0 \int_{B^i}^{B} (kq/r^2)\,(\mathbf{r}/r)\cdot d\ell \rightarrow$$

$$W_{AB} = q_0 \int_{r_A}^{r_{A^i}} (kq/r^2)\,dr + q_0 \int_{r_{B^i}}^{r_B} (kq/r^2)\,dr \rightarrow$$

como $r_{A^i} = r_{B^i}$ $\qquad W_{AB} = q_0 \int_{r_A}^{r_B} (kq/r^2)\,dr$

Este resultado é válido para qualquer número de **segmentos radiais** e **em arco** porque os termos que envolvem distâncias que não r_A e r_B sempre se cancelam. Isto nos permite concluir que este resultado é válido para uma trajetória qualquer, conforme queríamos demonstrar.

Da Mecânica: $\qquad W_{AB} = \Delta K = -\Delta U = -(U_B - U_A)$

Na ausência de outras forças conservativas, temos, das equações 1 e 2:

$$-W_{AB}/q_o = (kq/r_B) - (kq/r_A) \quad \rightarrow \quad -W_{AB} = (kqq_o/r_B) - (kqq_o/r_A)$$

$W_{AB} = -(U_B - U_A)$ com $U = kqq_o/r$ (energia potencial)

Pelo teorema trabalho-energia: $W_{\text{força resultante}} = \Delta K$

logo

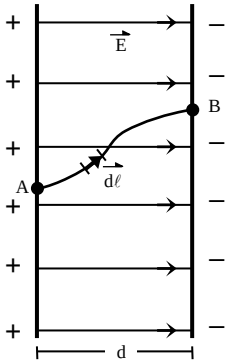
$$\Delta K + \Delta U = 0 \qquad \rightarrow \qquad K_f - K_i + U_f - U_i = 0$$

ou

$K_i + U_i = K_f + U_f = E$ onde *E* é uma constante, chamada energia mecânica

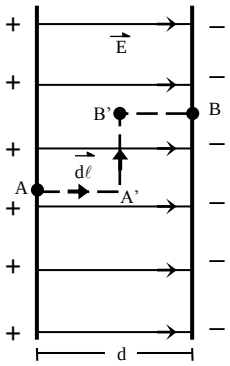
Diferença de potencial num campo elétrico uniforme

Calcular o trabalho por unidade de carga realizado pelo campo elétrico existente entre duas placas paralelas e carregadas com cargas de sinais contrário.



$$W_{AB} = \int_A^B F_{ele} \cdot d\ell = q_0 \int_A^B E \cdot d\ell$$

Como o campo é conservativo, podemos escolher o caminho AA' – A'B' – BA', mostrado na figura abaixo:



$$W_{AB} = q_0 \int_A^{A'} \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\ell} + q_0 \int_{A'}^{B'} \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\ell} + q_0 \int_{B'}^{B} \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\ell}$$

ou

$$W_{AB} = q_0 \int_{\ell_A}^{\ell_{A'}} E \cdot d\ell \cos\theta^o + q_0 \int_{\ell_{B'}}^{\ell_B} E \cdot d\ell \cos\theta^o$$

Como $\ell_{A'} = \ell_{B'}$, então

$$W_{AB} / q_0 = \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\ell} = \int_{\ell_A=0}^{\ell_B=d} E d\ell = Ed$$

Da definição de d.d.p.:

$$W_{AB}/q_o = V_A - V_B = V_{AB} = E\,d \qquad \text{ou} \qquad E = V_{AB} / d$$

O que, neste caso, nos permite determinar a intensidade do campo elétrico com um voltímetro e uma régua.

Apêndice 3 – Texto Complementar 5

"FORÇA ELETROMOTRIZ" – ASPECTOS HISTÓRICOS E CONCEITUAIS

J. F. M. Rocha

No início do século XIX, o estudo dos efeitos produzidos pela corrente constante da bateria era denominado *Galvanismo* (hoje poderia ser chamado de eletrocinética). Como **já foi dito e** o próprio nome indica, o *Galvanismo* teve sua origem nos trabalhos do cientista Luigi Galvani e foi marcado definitivamente pelas contribuições de Alessandro Volta, em torno de 1800. No seu artigo fundamental enviado à *Royal Society* de Londres em março de 1800, Volta descreveu o "aparelho" que hoje é conhecido como "pilha de Volta". Nessa época, embora a eletrocinética ainda estivesse engatinhando, a eletrostática já estava bem estabelecida e se encontrava na fase de formalização matemática. ([23])

A descoberta fundamental de Volta de que dois metais diferentes imersos numa solução eletrolítica podiam ser eletrizados com cargas de sinais opostos e permanecer eletrizados, mesmo fazendo parte de um circuito elétrico fechado, deixou surpresos os cientistas da época. Este fenômeno violava claramente as regras da eletrostática, onde já era bem estabelecido que cargas opostas só se manteriam separadas se não houvesse um meio condutor ao longo do qual poderiam mover-se em busca do equilíbrio eletrostático. Para explicar o fenômeno que descobrira, Volta foi levado a declarar que uma nova classe de "força" ou capacidade, a que ele chamou de "força eletromotriz", atuava sobre as cargas, separando-as e mantendo-as separadas.

Nas duas décadas que se seguiram, a ideia de "força eletromotriz" não foi mais do que a capacidade que tinham alguns corpos de gerar eletricidade em outros ou de separar cargas e mantê-las separado (o que, naturalmente, não está de acordo com a noção atual de "força eletromotriz" ou *fem*). Mas em meados da década de 1820 novas descobertas induziram o aparecimento de novos modelos explicativos da condução elétrica, como foi o caso daqueles propostos por Ohm.

Em 1827, George Ohm publicou na Alemanha seu livro intitulado "O circuito galvânico investigado matematicamente" com os resultados conclusivos dos trabalhos que vinha desenvolvendo, desde janeiro de 1925, e publicando na forma de artigos, os quais podem ser considerados a primeira teoria coerente da condução elétrica. Ohm foi motivado para o estudo da condução elétrica nos materiais após tomar conhecimento dos trabalhos de Fourier sobre a propagação do calor, publicados no livro *Théorie analytique de la chaleur*, em 1822, Nesta obra, Fourier tinha considerado que o fluxo térmico entre duas partes adjacentes de um sistema era proporcional à diferença de temperatura entre as mesmas. Inspirando-se nessas ideias de Fourier, Ohm comparou o fluxo de eletricidade ao fluxo de calor e atribuiu à

[23] Coulomb marcou o início dessa fase ao medir a "quantidade de eletricidade" ou carga elétrica, em 1785. Em meados do século XVIII, B. Franklin já havia introduzido o conceito de "quantidade de substância elétrica", mas nem ele nem seus sucessores tinham sido capazes de medi-la. Isto foi feito primeiramente por Coulomb.

densidade superficial de cargas o mesmo papel que desempenhava a temperatura na teoria do calor. Esta comparação inspirou Ohm a introduzir a grandeza física "força eletroscópica" – como ele a denominou – cujo comportamento nos problemas elétricos seria análogo ao da temperatura na teoria do calor e a diferença nos valores dessa quantidade em dois pontos de um circuito deveria dar a medida da "força motriz" atuando sobre a eletricidade ou cargas elétricas entre esses pontos. Como Ohm media essa grandeza fazendo uso de instrumentos eletrostáticos – da mesma forma que um termômetro mede a temperatura – o modelo descritivo de Ohm naturalmente ainda se encontrava dentro do quadro teórico da eletrostática ou do chamado paradigma eletrostático.

Deve ser esclarecido que a ideia de "força eletroscópica" foi introduzida por Ohm para substituir e aclarar o conceito de "tensão" que havia sido introduzido pelo cientista norte-americano B. Franklin em seus trabalhos sobre fluido elétrico, realizados entre 1747 e 1749. Ohm definiu "tensão" em uma porção do circuito como a diferença de valores das "forças eletroscópicas" em seus extremos, não tendo feito uso do conceito de diferença de potencial. Ele e seus contemporâneos não compreendiam corretamente a relação entre as concepções galvânicas e as funções eletrostáticas de Poisson. ([24]) As ideias de Ohm não foram bem aceitas de imediato, mas, apesar dos desentendimentos ou incompreensões que as acompanharam, os trabalhos de Ohm significaram um grande avanço no estudo da eletricidade, pois não demorou muito para se compreender que a "força eletroscópica" de Ohm era o elo ou elemento de ligação entre a teoria das correntes (*Galvanismo*) e a velha teoria da eletrostática.

Vinte anos depois de Ohm, em 1847, as propriedades dos circuitos elétricos foram estudadas detalhadamente por G. Kirchhoff. Nessa época, a distância entre eletricidade e galvanismo havia diminuído, especialmente na Alemanha, onde o paradigma coulombiano não era o que prevalecia. Nos seus estudos, Kirchhoff submeteu a uma análise crítica não só as leis de Ohm da condução como também os trabalhos de Kohlrausch, que diziam respeito à medida das tensões em condensadores. Foi a partir dessa análise que Kirchhoff identificou a "força eletroscópica" de Ohm com a diferença de potencial. ([25]) Kirchhoff realizou tal avanço introduzindo o conceito de energia no estudo dos circuitos elétricos, o que permitiu uma interpretação geral das propriedades dos mesmos. A importância desses trabalhos de Kirchhoff pode ser avaliada quando se recorda que o próprio Helmholtz utilizou os trabalhos de Kirchhoff em suas elaborações últimas sobre o princípio de conservação de energia, publicado em 1847.

Os modelos explicativos da corrente elétrica receberam novos impulsos com os trabalhos de Faraday (teoria de campo de Faraday), fundamentada matematicamente por Maxwell em torno de 1865. É dentro deste novo quadro, onde o paradigma eletrostático é substituído pelo paradigma energético e de campo, que os conceitos de potencial elétrico e *fem* (força eletromotriz) são definidos atualmente. Devemos notar, entretanto, que embora estejam intimamente relacionados, estes conceitos representam ideias físicas distintas.

Distinção entre *fem* e diferença de potencial elétrico

Com Kirchhoff, a "força eletromotriz" – responsável pela separação das cargas na pilha – passou ser entendida de forma diferente daquela que pensava Volta e outros cientistas das primeiras décadas do século XIX, isto é, passou a ser entendida como a medida da energia que se dá a unidade de carga que circula pelo circuito.

---

[24] O conceito de potencial, que tinha sido introduzido inicialmente para a gravitação por Lagrange (1777) e Laplace (1782), foi estendido por Poisson para a eletricidade e magnetismo, em 1813 e 1824, respectivamente, e foi generalizado por George Green, em 1828.

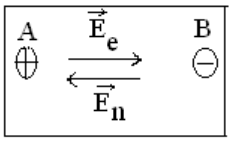
[25] Jenaro Guisasola, Antonio Monteiro e Manuel Fernádez, *La historia del concepto de força electromotriz en circuitos elétricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo.* Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, no. 1, 1604 (2008).

Mas o que realmente distingue a "força eletromotriz" da diferença de potencial?

Para facilitar o esclarecimento desta questão, limitaremos inicialmente nossa discussão ao caso de circuitos elétricos de corrente contínua estacionária, isto é, constituído por uma pilha, fios e resistências. Nesse caso, podemos dizer que a "força eletromotriz", *fem*, dá a medida da energia que a **pilha** fornece à unidade de carga que atravessa qualquer seção do circuito. As ações realizadas por uma pilha resultam de uma série de reações químicas, e são geralmente denominadas "ações não conservativas"**.** A "força eletromotriz" é a causa da separação de cargas de sinais diferentes entre os eletrodos e, portanto, é a causa da diferença de potencial entre os mesmos.

Consideremos agora uma pilha em circuito aberto. Sendo $\boldsymbol{E}_{\mathrm{e}}$ o campo eletrostático e $\boldsymbol{E}_n$ o campo não eletrostático que atua entre os pontos *A* e B, então:

$$\boldsymbol{E}_e + \boldsymbol{E}_n = 0$$



Donde $$\int_A^B (\mathbf{E}_e + \mathbf{E}_n) \cdot \mathrm{d}\ell = 0$$

ou $$\int_A^B \mathbf{E}_e \cdot \mathrm{d}\ell = -\int_A^B \mathbf{E}_n \cdot \mathrm{d}\ell \rightarrow$$

$$\int_A^B \mathbf{E}_e \cdot \mathrm{d}\ell = \int_B^A \mathbf{E}_n \cdot \mathrm{d}\ell \rightarrow$$

$$-(V_B - V_A) = V_{AB} = W_{AB}/q = \mathcal{E}$$

ou seja, $$V_{AB} = \mathcal{E}$$

onde $$V_B - V_A = -\int_A^B \mathbf{E}_e \cdot \mathrm{d}\ell$$

e $$\mathcal{E} = fem = \int_B^A \mathrm{E}_n \cdot \mathrm{d}\ell$$

Quando uma carga positiva é deslocada no interior da pilha de *B* para *A* (sentido contrário ao da força eletrostática), a energia potencial associada à carga cresce.

Podemos interpretar o resultado obtido acima dizendo que, neste caso, a *fem* é numericamente igual à ddp, mas tem natureza diferente desta. A *fem* resulta de forças não eletrostáticas, enquanto a ddp resulta de forças eletrostáticas.

Na prática, as fontes de *fem* são representadas não só por pilhas, mas também por baterias, geradores etc., de forma que a força eletromotriz poderá ser associada a qualquer agente responsável pela manutenção de uma corrente elétrica.

Se a integral for calculada ao longo de um caminho fechado a força eletromotriz será dada por $$fem = \mathcal{E} = \oint_C \mathbf{E} \cdot \mathrm{d}\ell$$

onde $\boldsymbol{E}$ pode incluir um campo eletrostático.

Concluindo, podemos dizer que a força eletromotriz, apesar de seu nome, representa o trabalho, por unidade de carga, realizado pelas forças da fonte na transformação de uma forma qualquer de energia em energia elétrica.

Apêndice 3 – Texto Complementar 6

EFEITO SEEBECK E EFEITO PELTIER – DISCUSSÃO

J. F. M. Rocha

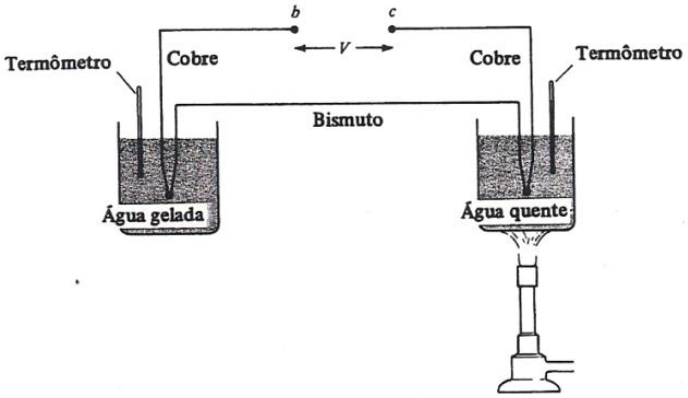
Denomina-se termopar ao conjunto de dois metais diferentes com uma junção. As junções podem ser feitas por aperto ou solda. Os termopares funcionam como um gerador de potência elétrica (efeito Seebeck) ou como uma bomba de calor (efeito Peltier) a depender do arranjo experimental.

O efeito Seebeck foi observado pela primeira vez pelo físico estoniano-germano Thomas J. Seebeck, em 1821, e o efeito Peltier foi descoberto 13 anos depois, em 1834, pelo físico francês J. Peltier, quando estudavam fenômenos termoelétricos.

Na suas experiências realizadas em torno de 1826, George Ohm, por sugestão do físico alemão Johann Poggendorff, fez uso também do efeito Seebeck para conseguir tensões elétricas mais estáveis que aquelas conseguidas com a pilha de Volta.

Força eletromotriz (*fem*) de Seebeck

Considere dois condutores metálicos diferentes ligados de modo a formarem duas junções. Se estas forem mantidas a diferentes temperaturas, a difusão de elétrons nas junções ocorrerá a taxas diferentes. Haverá um movimento resultante de elétrons (corrente elétrica) como se estes estivessem sendo movidos por ação de um campo não eletrostático.



A *fem* de Seebeck origina-se do fato de que as densidades de elétrons livres diferem de condutor para condutor e de que em um dado condutor dependem da temperatura.

Força eletromotriz (*fem*) de Thomson

Mesmo em um único fio cujas extremidades estejam a temperaturas diferentes, a densidade de elétrons livres varia de ponto para ponto dando origem a uma *fem* nas suas extremidades. Este efeito foi estudado por William Thomson (Lord Kelvin), após os trabalhos de Peltier.

Calor de Peltier

O efeito Peltier é o contrário do efeito Seebeck. Peltier o descobriu fazendo passar uma corrente por um termopar de antimônio e bismuto. Se dois materiais forem ligados para formarem apenas uma junção e se uma corrente for enviada através da junção ocorrerá um fluxo de calor entre a junção e o meio ambiente. Se a corrente for invertida, inverte-se o fluxo. Uma única junção é uma fonte dentro da qual energia elétrica é convertida em calor e calor em energia elétrica.

Aplicações

Um termopar pode ser usado como termômetro, em indústrias (dois metais soldados um ao outro). A diferença de temperatura é medida através de um voltímetro calibrado para este fim.

Pastilhas termoelétricas são usadas como componentes de alguns bebedouros modernos que resfriam água para consumo humano. As chamadas pastilhas Peltier são constituídas por uma série de pares termoelétricos de material semicondutor (ver a seguir).

Segue abaixo um esquema de uma pastilha termoelétrica constituída de pares de semicondutores (tipo P e tipo N) “sanduichada” por placas cerâmicas

Referência: http://efeitopeltier.blogspot.com/2008/05/no-que-consiste-o-efeito-peltier.html

Figura I

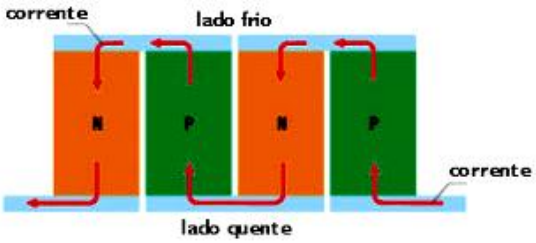


Figura 2

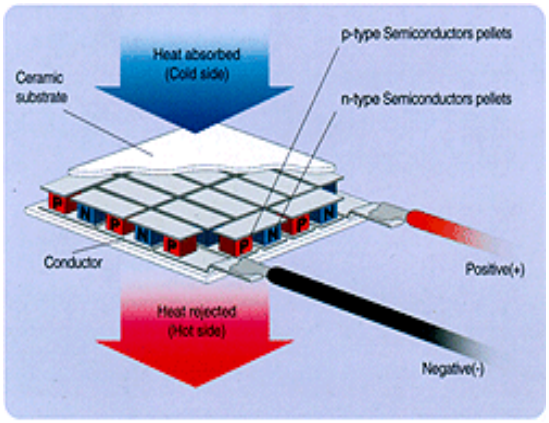


Ver também – História da descoberta do efeito Seebeck:

http://www.bassalo.com.br/cf10_curiosidade198.pdf

Laboratório – E*feito Seebeck e efeito Peltier*

(Endereço na Internet: admin@watronixinc.com)



Laboratório – *Efeito Seebeck e efeito Peltier*

1. Mostrar o efeito Seebeck fazendo uso de um termopar de cobre e ferro (termoelemento positivo Fe 99,5%; termoelemento negativo Cu55%Ni45% – contantan) comprados nas casas comerciais do ramo). Com um voltímetro de fundo de escala na faixa de milivolts, ligar os terminais do termopar ao voltímetro. Com a chama de uma vela aquecer a junção do termopar. Verificar a voltagem indicada no voltímetro, após 10 segundos de aquecimento.





2. Mostrar o funcionamento de uma pastilha termoelétrica (conjunto de células termoelétricas) que opera com base no efeito Peltier. Aplicar 12 V de tensão contínua aos terminais da pastilha mostrada na figura. Basta alguns segundos para o efeito aparecer (pastilhas desse tipo podem ser adquiridas através da Internet, por exemplo).

> A pastilha usada contém uma série de elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n, agrupados em pares, que agem, neste caso, da mesma forma que dois condutores metálicos agiriam.
>
> Estes elementos semicondutores são soldados entre duas placas cerâmicas. Isto é feito de forma que do ponto de vista elétrico estejam em série e do ponto de vista térmico estejam em paralelo.
>
> Fazendo uma corrente contínua passar por um ou mais pares há uma redução da temperatura da junta (lado frio) resultando em uma absorção do calor do ambiente que é transferido pela pastilha por meio de elétrons e emitido do outro lado (quente).

Apêndice 3 – Texto Complementar 7

A LEI DE JOULE E A DETERMINAÇÃO DO *EQUIVALENTE MECÂNICO* POR PROCESSOS ELÉTRICOS

J. F. M. Rocha

Contexto da Descoberta

James P. Joule (1818-1889) nasceu na Inglaterra e era filho de um proprietário de uma cervejaria. Quando jovem recebeu aulas particulares do cientista John Dalton. Em 1837, com 19 anos, tornou-se interessado na nova ciência do eletromagnetismo e dedicou muito tempo ao desenvolvimento de máquinas eletromagnéticas (motores elétricos), com a ideia de que estas máquinas poderiam ser mais eficientes que as máquinas a vapor. Ele logo se convenceu de que este não era o caso, mas seu esforço não foi de todo perdido, pois lhe deu a noção de que calor sempre tinha um papel importante na produção dos efeitos mecânicos da eletricidade.

Por volta de 1840, ele passou a estudar a produção de calor por correntes elétricas e não demorou muito para descobrir a famosa lei conhecida com o seu nome, isto é, a taxa de produção de calor num condutor conduzindo corrente é proporcional ao produto da resistência e o quadrado da corrente (ver também *Philosophical Magazine*, 19, 1841).

$$P = Ri^2$$

Os experimentos iniciais de Joule tornaram-no cético quanto à teoria do calórico e ele começou a suspeitar (por volta de 1842) que deveria existir uma relação definida entre o efeito mecânico necessário para produzir corrente elétrica por um gerador eletromagnético e o calor total resultante do fluxo daquela corrente. Isto o levou ao primeiro dos seus grandes experimentos do ponto de vista da energia, cujos resultados foram anunciados com o título "*On the Calorific Effects of Magneto-Electricity and on the Mechanical Value of Heat"* (Sobre os efeitos caloríficos da Magneto-Eletricidade e sobre o Valor Mecânico do Calor). O valor para o equivalente mecânico medido por Joule, nessa época, estava entre 4,5 e 5,46 J/cal. Somente depois ele conseguiu medidas mais precisas.

Nessa altura, Joule resolveu aprimorar seus experimentos para confirmar seus resultados e isto o levou a inventar sua famosa "caixa de pá" na qual o trabalho feito pelo giro da pá contra a resistência da água na caixa é convertido em calor. Os resultados obtidos neste experimento foram tão próximos dos resultados anteriores que Joule os considerou suficientes para justificar a conclusão de que o equivalente mecânico do calor é uma constante física definida e significativa. Ele terminou conseguindo 4,2 J/cal, próximo ao valor de hoje, em experimentos friccionais cada vez mais precisos.

No artigo "*On Matter, Living Force and Heat*", publicado no jornal "Courier" (Correio) de Manchester, em 1847, Joule sumariza sua visão geral resultante de seus experimentos sobre o calor e a "força" a que nós chamamos hoje energia (o termo "força", na época, era usado de forma imprecisa).

O primeiro princípio da Termodinâmica tinha sido enunciado pelo médico alemão Mayer, antes de 1843, mas isto foi feito de maneira pouco clara. Foi Joule o primeiro a esclarecer o significado daquele princípio e teve o grande mérito de ter sido o primeiro cientista a medir o valor da relação constante entre o trabalho e o calor.

Podemos concluir dizendo que a generalização do conceito de energia foi conseguida após Mayer ter calculado e Joule ter determinado experimentalmente o valor do equivalente mecânico do calor.

Tabela extraída do artigo de J. Joule, de 1843, intitulado
"*On the Calorific Effects of Magneto-Electricity and on the Mechanical Value of Heat*"

Os dados experimentais da Tabela I (2ª segunda coluna e 5ª coluna) mostram a proporcionalidade existente entre a elevação da temperatura de uma massa de água e o quadrado da corrente elétrica empregada para produzi-la. Estes resultados foram obtidos por James Joule, em 1843.

Table I

Series of Experiments.	Current Magneto-electricity.	Heat actually evolved.	Correction for Currents in the Iron.	Corrected Heat.	Squares of Numbers proportional* to those in column 2.	Heated to Voltaire Current of the intensities given in column 2.	The Numbers of column 7 multiplied v $\frac{4}{3}$.
Nº 1	0.177	0.10	0.02	0.08	0.062	0.040	0.053
Nº 2	0.902	1.84	0.28	1.56	1.614	1.040	1.386
Nº 3	0.418	0.45	0.09	0.36	0.346	0.224	0.299
Nº 4	1.019	2.39	0.28	2.11	2.060	1.327	1.769
Nº 5	0.236	0.10	0	0.10	0.109	0.071	0.091
Nº 6	0.340	0.21	0	0.21	0.229	0.148	0.197
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.

A tabela abaixo foi construída com base nos dados da tabela do artigo de Joule mostrada acima.

Exp. nº	2	3	4	5	6
ΔT (ºF)	1,56	0,36	2,11	0,10	0,21
i (*)	0,902	0,418	1,019	0,236	0,340
$\Delta T / i^2$	**1,91**	**2,06**	**2,03**	**1,80**	**1,82**

(*) as unidades de corrente não foram especificadas no trabalho. Porém, o fato das medidas terem sido feitas com o mesmo galvanômetro torna-as comparáveis entre si. O tempo de passagem da corrente foi fixado em quinze minutos. A massa d'água foi mantida igual e constante em todas as experiências.

"Os dados mostram que a passagem da corrente elétrica corresponde a um aumento de temperatura entendido por Joule como resultado da produção de calor. Embora os dados não sejam muito precisos (a experiência foi posteriormente aprimorada) é possível estabelecer a relação quantitativa entre a variação de temperatura da água e a corrente elétrica: $\Delta T = 1{,}92\ i^2$, em média […]"

"A interpretação teórica dada a esta correspondência entre eletricidade e calor é que as duas formas de energia envolvidas na experiência são equivalentes, ou seja: a energia elétrica converteu-se integralmente em calor."

(Ver "Um ensino facilitador da aprendizagem significativa da termodinâmica básica" - Prof. J. Luiz de Paula Barros Silva – Dissertação de Mestrado. Instituto de Física da UFBA, 1999**)**

Apêndice 3 – Texto Complementar 8

ELETRÓLISE

J. F. M. Rocha

Eletrólise (reação química provocada pela corrente elétrica contínua)

> A eletrólise foi produzida pela primeira vez ainda em 1800 pelos ingleses Willian Nicholson e Antonhy Carlisle ao fazerem passar uma corrente elétrica produzida por uma pilha (certamente conheciam a descoberta de Volta) através de um recipiente contendo água, observando o desprendimento de hidrogênio e oxigênio. Em 1833, Faraday redescobriu a eletrólise (nome cunhado por Faraday) ao observar que na passagem de uma corrente elétrica através de soluções de nitrato de prata, sulfato de cobre e cloreto de alumínio os metais de tais soluções se depositavam nas barras metálicas introduzidas nessas soluções.

A água destilada não sofre eletrólise, pois o número de íons resultante da ionização da água é muito pequeno e insuficiente para conduzir corrente em um determinado nível. Assim este tipo de eletrólise só ocorrerá em certas condições. Poderíamos dissolver em água, algumas gotas de um ácido (ácido clorídico, por exemplo), fazer passar corrente elétrica pela solução e observar o que ocorreria. Não faremos isto neste laboratório.

Observação: Note que o fenômeno da eletrólise é complicado por causa das reações químicas secundárias que podem ocorrer entre a água e as substâncias que se depositam nos eletrodos por efeito da decomposição eletrolítica.

APLICAÇÕES DA ELETRÓLISE

Determinação da massa de um átomo de cobre

Como você poderia usar a eletrólise para medir a massa de um átomo de um determinado elemento químico, a exemplo do cobre ou da prata? (**ver leis da eletrólise de Faraday**)

As massas dos átomos são medidas por processos indiretos e a eletrólise fornece um desses processos. Para isso, fazemos a eletrólise de um ácido, base ou sal em cuja composição entre o elemento que queremos medir a massa. Vejamos o caso do cobre.

> Antes de uma substância se depositar num dos eletrodos ela existe na solução na forma de íons. Depois de chegar ao eletrodo o íon cede ou recebe elétrons para se transformar num átomo da substância.
>
> Seja v a valência do íon de um determinado elemento. A carga elétrica desse íon será: e.v. Seja n o número desses íons que chegam ao eletrodo durante um certo tempo t. Durante este tempo a carga elétrica que chaga ao eletrodo é
>
> $$Q = n \cdot e \cdot v$$
>
> No eletrodo se formam tantos átomos quantos são os íons que chegam, isto é, no tempo t se formam n átomos. Sendo m_a a massa de um átomo, a massa do elemento depositada durante o tempo t é:
>
> $$M_{\text{total depositada}} = m_a \cdot n \quad \text{e isto implica em} \quad M_{\text{total depositada}} = m_a \cdot Q / e \cdot v$$
>
> A carga Q depositada será obtida pelo produto da intensidade da corrente, I, no tempo, t.

Para realizar a experiência, introduza numa solução aquosa de sulfato de cobre ($CuSO_4$) dois eletrodos: uma placa de cobre e, por exemplo, uma chave de porta (com uma balança de precisão, pese antes a chave bem limpa, de preferência já previamente cobreada). Aplique, durante algum tempo (talvez 60 minutos, com I igual a 0,5A), uma diferença de potencial entre a placa de cobre e a chave, utilizando uma tensão contínua de aproximadamente 10 V e uma resistência de proteção no circuito. (O polo positivo da associação deve ser ligado à placa de cobre). Verifique se apareceu uma camada de cobre sobre a chave. Pese novamente a chave para determinar a massa do elemento depositada, $M_{\text{total depositada}}$. A valência do Cu, v, é igual a 2. Discuta criticamente esta maneira de medir a massa de um átomo.

(Confira: A massa atômica do Cu é 63,5 u; a massa molar é 63,5 g e a constante de Avogadro = $6{,}02\times10^{23}$).

De acordo com a teoria de Arrenius, quando um sal (sulfato de cobre, $CuSO_4$) é dissolvido em água os íons se separam em íons positivos e negativos. Ao introduzirmos nesta solução iônica dois eletrodos, os íons positivos Cu^{++} se deslocarão para o eletrodo negativo (chave) e os íons SO_4^{--} se deslocarão para o eletrodo positivo, isto é, a placa de cobre. Reagindo com a placa de Cu, os íons SO_4^{--} regeneram o $CuSO_4$ com o Cu da placa passando para a solução. Através desse processo o Cu vai sendo transferido para a chave!

Apêndice 3 – Texto Complementar 9

MATERIAIS MAGNÉTICOS

J. F. M. Rocha

Do ponto de vista de suas propriedades magnéticas, os materiais são geralmente classificados como *paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos*

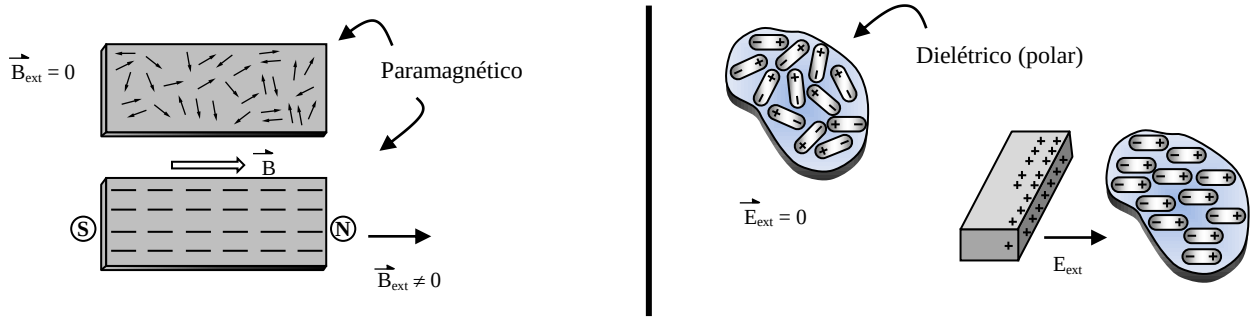
O magnetismo que conhecemos da experiência cotidiana é o *ferromagnetismo*.

(existem ainda o ferrimagnetismo e o antiferromagnetismo; ver *ferrita* – óxidos de Ni, Co e Zn e outros –; constituintes de componentes eletrônicos)

Paramagnéticos: **são os materiais atraídos fracamente (!!!) pelos imãs**. Seus átomos e moléculas apresentam-se como dipolos magnéticos (possuem momento de **dipolo magnético** permanente) – **Al**, K, Mg,…

Só apresentam efeitos magnéticos na presença de campos externos.

Podem ser comparados aos **materiais dielétricos** com moléculas **polares,** (aquelas que apresentam momento de **dipolo elétrico** permanente).



A presença de um campo externo produz sobre os átomos ou moléculas dos materiais chamados **paramagnéticos** efeitos opostos aos que são produzidos sobre os diamagnéticos.

Diamagnéticos: **são repelidos fracamente (!!!) pelos imãs**. A rigor, todos os materiais são diamagnéticos, mas o efeito é praticamente imperceptível. (Nos materiais paramagnéticos o efeito diamagnético normalmente fica encoberto pelo efeito paramagnético) – **Bi**, **Ag**, **Cu**,…

(O diamagnetismo foi descoberto por Faraday, no Bi, em 1846. Já tinha sido observado pelo físico holandês Antoon Brugmans, em 1778, através da ação de imãs sobre o bismuto metálico flutuando sobre água ou mercúrio contido num recipiente).

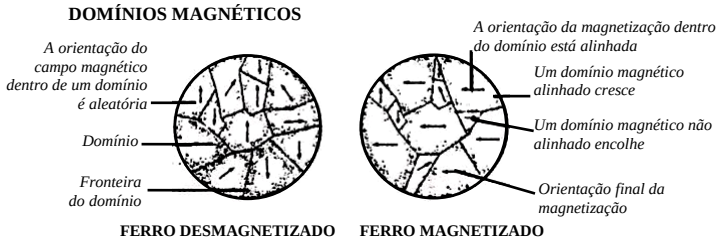
Poderiam ser comparados aos **materiais dielétricos** com moléculas **apolares**, MAS a ação do campo magnético externo sobre os **materiais diamagnéticos** provoca **repulsão** da amostra diamagnética, enquanto a ação do campo elétrico externo sobre **materiais dielétricos** provoca **atração**!

Ferromagnéticos: **são atraídos fortemente pelos imãs**: Fe, Ni, Co, Gd e Dy e algumas ligas desses elementos.

O ferromagnetismo é um caso particular do paramagnetismo. Só ocorre nas substâncias com momento de dipolo permanente.

Resulta de uma magnetização espontânea em pequenas regiões de um material (*domínios* magnéticos) e que resiste mesmo na ausência de um campo externo.

A magnetização espontânea ocorre em razão da forte interação entre os átomos que alinham os momentos de dipolo magnéticos atômicos nesses materiais (tornando energeticamente favoráveis a formação da estrutura de domínios).



Material Ferromagnético	Temperatura de Transição
Dy	–168
Gd	16
Ni-Cr	300
Ni	358
Magnetita	584
Fe	770
Co	1140

i) Imãs permanentes:

Feitos de materiais magnéticos *duros* (que retêm o magnetismo). Ligas de aço-carbono (ou liga ALNICO 5), são fabricadas desde a década de 1920 (ao que parece, na sua composição entra Fe, Al, Ni, Cu e Co).

A magnetita (F_4O_3) é o imã que se encontra na natureza.

A persistência da **estrutura de domínios** (remanescência magnética) depende da composição química, da estrutura do cristal e dos mecanismos de tensão interna (fenômeno ainda não totalmente esclarecido).

Fabricação – uma amostra é colocada dentro de um enrolamento pelo qual passa um pulso muito grande de corrente elétrica, geralmente durante 0,01 a 0,1s. O campo magnético produzido excede normalmente o necessário para saturar a magnetização. Quando o campo externo é retirado os domínios retêm parte do alinhamento!

ii) Imãs temporários:

Feitos de materiais magnéticos *moles* (não retêm o magnetismo): ferro doce (puro) e aço doce. São usados em transformadores para aumentar a indução magnética **B** sem provocar grandes perdas de energia.

iii) **Contra exemplo** – certos aços inoxidáveis não são ferromagnéticos apesar de serem constituídos de

18% de Cr, 8% de Ni e 74% de Fe.

iv) **CrO_2** – o cromo e o O_2, quando isolados, não têm magnetismo permanente *forte* podem adquiri-lo quando seus elementos constituintes se combinam.

No que diz respeito aos átomos e íons –

Para a **maioria dos átomos e íons** os efeitos magnéticos dos elétrons se cancelam (incluindo os devidos ao *spin* e ao movimento orbital).

> **Exemplos:** Ne, Ar, Cu^+ (de que é feito o cobre comum) etc. Não confundir com Cu. (ver também modelo atômico de Bohr)

Para **outros átomos e íons**, isto não ocorre, o que faz com que determinados materiais apresentem propriedades paramagnéticas ou ferromagnéticas.

> **Observação** – o próton e o nêutron também têm momento de dipolo magnético! O magnetismo dos núcleos atômicos é muitas ordens de grandeza menor que o atômico. Mercúrio e Júpiter também têm campo magnético. O Sol e a nossa galáxia têm campo magnético! A Lua não tem núcleo derretido e, portanto, não tem campo magnético.

Questão: Será que é possível explicar a existência do momento de dipolo magnético do nêutron (com carga total nula) apenas com base no eletromagnetismo clássico?

Apêndice 3 – Texto Complementar 10

CONTEXTO DA DESCOBERTA DE BIOT E SAVART

J. F. M. Rocha

Antes de se compreender que as interações magnéticas tinham origem em cargas em movimento (o que só viria a ocorrer após a descoberta de Oersted, de 1820), cientistas do século XVIII procuraram determinar a força entre polos de imãs a exemplo de John Mitchell e A. Coulomb. As primeiras investigações quantitativas de tais interações foram feitas por John Mitchell, por volta de 1750, usando uma balança de torção com a qual determinou a força de atração ou de repulsão entre polos magnéticos e verificou que esta força variava diretamente com o produto das intensidades dos polos (q_m,.q_m') e inversamente com o quadrado da distância entre eles ($F=k_m q_m q_m'/ r^2$).

Em 1820, com a descoberta fundamental de Oersted dos efeitos magnéticos da corrente elétrica (anunciada em uma *Memória* de 21/07/1820), um novo campo de estudo das interações magnéticas foi aberto. Em 11 de setembro de 1820, a Academia de Ciências de Paris tomou conhecimento da descoberta de Oersted, através de uma exposição de François Arago, que havia retornado de Genebra, na Suíça, onde tinha tomado conhecimento do artigo de Oersted. Imediatamente após essa palestra, vários dos membros da Academia, entre os quais A. M. Ampère e J. Biot iniciaram uma intensa atividade de pesquisa nesta área e, já em 18 de setembro, Ampère apresentava sua primeira contribuição para o eletromagnetismo (ele já era respeitado por seus trabalhos em matemática e em química) com sua *Memória relativa aos novos fenômenos galvano-elétricos*, onde descreve um aparelho capaz de medir o efeito eletromagnético da corrente elétrica – o galvanômetro.

A partir das publicações semanais que se seguiram, podemos verificar que um dos principais objetivos daqueles cientistas era medir a intensidade dos efeitos magnéticos a uma certa distância de um fio percorrido por uma corrente, seja sobre um imã, como foi o caso de J. Biot e F. Savart, seja sobre outro fio percorrido também por uma corrente, como fez Ampère.

Em 25/9, uma semana depois de sua primeira *Memória*, Ampère apresentou outro trabalho denominado *Memória sobre os efeitos da pilha*, onde mostrava que duas correntes se atraem quando se movem paralelamente, no mesmo sentido" e "se repelem quando se movem paralelamente, em sentidos contrários", sendo que a força é inversamente proporcional à distância entre elas ($F=const.\ i.i'/r$). Mas Ampère não parou por aí. A partir de então, ele passou a fazer estudos mais detalhados que culminaram com um artigo fundamental lido na Academia de Ciências de Paris, em 1825.

Ainda em 30 de outubro de 1820, Biot e seu auxiliar Savart anunciaram os resultados de suas medições de forças sobre um polo de um imã ("molécula de magnetismo boreal ou austral") colocado a uma distância ℓ de um "fio cilíndrico fino e longo", medida perpendicularmente ao fio. Na montagem mostrada na Figura 1.a, a agulha (imã) *AB* é suspensa por um fio tênue e a corrente passa pelo fio de cobre *CZ*. O efeito do magnetismo terrestre

(indesejável, neste caso) sobre o imã de prova é anulado pelo o imã *B'A'*.

Figura 1.a

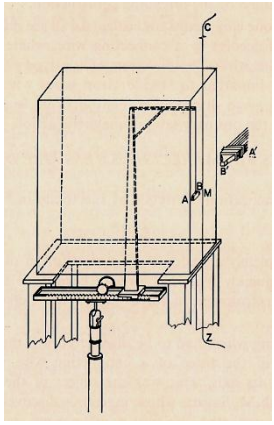
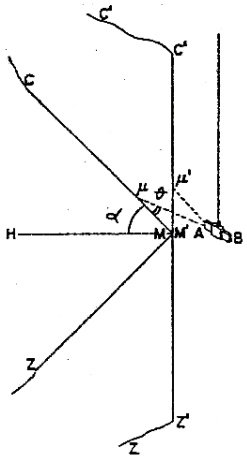


Figura 1.b



Para a obtenção de seus resultados, Biot e Savart fizeram medidas da força (isto é, dos efeitos magnéticos produzidos pela corrente do fio) sobre o imã, pelo mesmo procedimento usado por Biot e Gay-Lussac em 1804, quando subiram de balão para medir os efeitos do magnetismo da Terra a grandes altitudes (ver Figura 2). Isto foi feito do seguinte modo. Após a agulha ou o imã orientar-se na direção da *declinação magnética* do lugar, Biot forçava um pequeno giro na agulha e contava quantas oscilações a mesma dava num intervalo de tempo. É fácil observar em laboratório que quanto maior for a intensidade magnética a que uma bússola estiver submetida, mais rápidas serão suas oscilações.

Biot e Savart anunciaram inicialmente os seguintes resultados:



Figura 2 – Subida do balão científico realizada por Biot (à direita) e Gay-Lussac (à esquerda) para mostrar que o magnetismo terrestre e a corrente em uma pilha voltaica não diminuem com a altura. Eles alcancaram a altura de 4 km.

> "[Representa-se] rigorosamente a ação sofrida por uma **molécula de magnetismo austral ou boreal,** quando colocada a alguma distância de um fio cilíndrico fino e longo, o qual se torna magnético devido à corrente elétrica. Traçando uma perpendicular ao eixo do fio, passando pelo ponto que encontra a molécula magnética, a força influenciando a molécula é perpendicular a esta linha e ao eixo do fio. Sua intensidade é inversamente proporcional à distância".
>
> Citado por O. Pessoa, *História da Física no Século XIX*.

A força a que se referem Biot e Savart pode ser expressa matematicamente, em módulo, da seguinte forma:

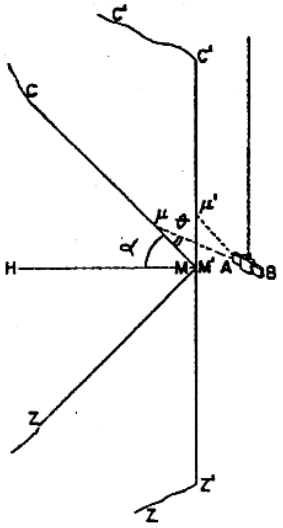
$F=cte.\ i\ /\ r$ orientada perpendicularmente ao plano definido pelo fio e pela linha que liga o fio a "molécula magnética"

Na forma vetorial a força poderia ser expressa por $\boldsymbol{F}=cte.i\boldsymbol{n}x\boldsymbol{r}/r^2$ (onde **n** é um versor na direção da corrente) e foi a partir desses resultados que Laplace mostrou que a força entre um elemento infinitesimal do fio, $d\ell$, e um polo magnético diminuía com $1/r^2$.

Com vistas a encontrar a forma exata da lei de força entre um elemento infinitesimal do fio e o imã, Biot e Savart passaram então a investigar a dependência da força com o ângulo θ entre a direção da corrente (dada por $d\ell$) e a linha ligando o elemento de corrente ($id\ell$) ao imã (distância *r)*. Como naturalmente é impossível isolar um elemento de corrente, eles passaram a estudar a força exercida no polo de "magnetismo boreal ou austral" **por um** fio inclinado, conforme **Figura 1.b**. Como a corrente precisava de um fio para fluir, somente um fio inteiro permitia medir diretamente a lei de força, **mas os resultados obtidos para o fio inteiro poderiam ser comparados com predições teóricas deduzidas a partir da lei para elementos do fio.**

A partir de resultados assim obtidos, publicados no livro *Précis Elementaire de Physique*, Biot concluiu que a lei experimental para o fio inteiro mostrava uma força diretamente proporcional ao ângulo α, mostrado na **Figura 1.b** reproduzida adiante: $dF=cte.(i\alpha/r)$. (Posteriormente, a partir de uma crítica de Ampère, houve uma correção para $tg(\alpha/2)$. Este resultados foram usados como confirmação da chamada *lei de Biot-Savart*, a qual, expressa em módulo, afirma que a força é proporcional ao seno do ângulo θ (ver O. Pessoa, *História da Física no Século XIX*):

$$dF= cte.\ (id\ell\ sen\theta / r^2)$$



Na linguagem moderna de campo, esta lei afirma que o *campo magnético* devido a um elemento de corrente é proporcional ao produto vetorial de $d\ell$ e ***r:***

$$d\boldsymbol{B}=(\mu_o/4\pi)\ id\boldsymbol{\ell}\ x\ \boldsymbol{r}\ /\ r^3 \qquad \text{(no S.I.)}$$

Esta expressão pode ser obtida também das experiências de Ampère, conforme veremos posteriormente. Mas note que o conceito de campo não era adotado nem por Biot nem por Ampère, já que, na forma proposta por Faraday e Maxwell, tal conceito foi introduzido na Física após os trabalhos daqueles cientistas. Ampère era adepto de uma outra ideia, qual seja, da ideia newtoniana de que

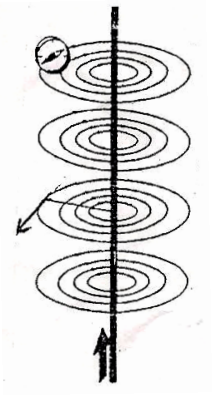
> "todos os movimentos que a natureza nos oferece devem ser reduzidos pelo cálculo a forças agindo sempre entre duas partículas materiais seguindo a reta que as une, de maneira que a ação exercida por uma delas sobre a outra seja igual e oposta à ação que esta última [partícula] exerce ao mesmo tempo sobre a primeira".

Mas, assim como Newton não conseguiu encontrar um mecanismo físico convincente para explicar a interação entre partículas materiais, Ampère também não conseguiu encontrar um mecanismo físico convincente para explicar a interação entre dois elementos de corrente. Para Ampère, o mecanismo físico responsável pela força entre circuitos era o movimento de fluidos elétricos, positivo e negativo, causado pela corrente elétrica, e tais fluidos seriam os constituintes do éter.

Na época de Ampère era comum os cientistas recorrerem aos conceitos de fluidos elétricos e fluidos magnéticos para explicar fenômenos físicos elétricos e magnéticos, respectivamente. Ampère, como vemos, usou também a ideia de fluidos elétricos, mas não a de fluidos magnéticos. Ele conseguiu eliminar a necessidade de fluidos magnéticos, adotando a ideia de que o magnetismo seria gerado por circuitos elétricos fechados, microscópicos, de forma que a investigação das ações entre correntes unificaria a teoria eletromagnética.

A *lei circuital de Ampère* a partir de resultados experimentais

— as linhas de campo magnético associadas a um fio retilíneo percorrido por uma corrente constante, i, são círculos concêntricos em torno do fio (ver figura).



Dispondo deste resultado, vamos calcular a integral do produto escalar $\boldsymbol{B}\cdot d\ell$ ao longo do caminho fechado *C*, indicado na figura. Neste cálculo, faremos uso também do resultado experimental obtido por Biot e Savart em 30.10.1820, hoje expresso por $B=const.\ i/r$:

$$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \int_C B\cdot d\ell = \oint_C const.\ (i/r)d\ell = const.(i/r)\int_C d\ell$$

Sabendo que a integral de $d\ell$, ao longo do caminho *C* é igual a $2\pi r$ e que no Sistema Internacional de Unidades a const. de proporcionalidade é igual a $\mu_o/2\pi$, então

$$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = (\mu_o/2\pi)\ (i/r)\ 2\pi r = \mu_o i\ ,$$

$$ou\ seja,\ \oint_C \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_o i \qquad\qquad CQD$$

Apesar de essa lei ter sido aqui obtida para o caso particular de um caminho circular, ela tem validade para o caso de uma trajetória qualquer.

Essa lei circuital de Ampère é parte da *lei de Ampère-Maxwell* (**uma das equações de Maxwell**) que, na forma integral, é expressa como segue:

$$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_o i + \mu_o\varepsilon_o d\phi_E/dt$$

No seu "*Treatise on Electricy and Magnetism*", publicado em 1873, Maxwell não apresentou as chamadas *equações de Maxwell* na forma em que as conhecemos hoje. Foi Oliver Heaviside, descrito às vezes como "um desempregado, um telegrafista autodidata" quem o fez, ainda na década de 1870.

A lei circuital de Ampère pode ser deduzida tanto da lei de Biot-Savart quanto da *lei de força de Ampère* levando-se em conta a equação de **conservação de cargas**.

(ver A. K. T. Assis, *Eletrodinâmica de Weber*). (Mais adiante voltaremos à lei de Ampère-Maxwell).

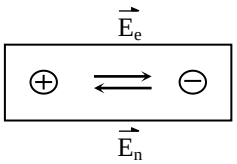
A lei de força de Ampère será obtida adiante, diretamente dos experimentos de Ampère.

Apêndice 3 – Texto Complementar 11

A LEI DE FARADAY E AS EQUAÇÕES DE MAXWELL

J. F. M. Rocha

1. No estudo da *fem* (força eletromotriz) produzida por um gerador eletroquímico, vimos que para o **caso do circuito aberto vale**:



$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_n + \boldsymbol{E}_e = 0$$

o que nos permitiu mostrar que a *fem* resultante do trabalho por unidade de carga de um campo não eletrostático:

$$V_B - V_A = -\int_A^B \boldsymbol{E}_e \cdot d\boldsymbol{\ell} \qquad\qquad \varepsilon = \int_B^A \mathrm{E_n} \cdot d\boldsymbol{\ell}$$

2. Em analogia com o conceito de fluxo elétrico vimos que o fluxo magnético podia ser escrito na forma

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\mathbf{S}$$

3. **No caso de um circuito fechado**, entretanto, a força eletromotriz é dada por

$$\varepsilon = \oint_C \mathbf{E}_n \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{\ell}$$

ou $\varepsilon = \oint_C \mathrm{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{\ell}$ onde $\mathbf{E} = \mathbf{E}_n + \mathbf{E}_e$

e $\oint_C \mathbf{E}_e \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{\ell} = 0$

4. Mas, de acordo com Faraday

$$\varepsilon = \oint_C \mathbf{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{\ell} = -\,\mathrm{d}\Phi_B/\mathrm{dt}$$

ou $$\oint_C \mathbf{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{\ell} = -\,(\mathrm{d}/\mathrm{dt}) \int \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\mathbf{S}$$

Apêndice 3 – Texto Complementar 12

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS – PRODUÇÃO E CAPTAÇÃO

J. F. M. Rocha

Na década de 1860, Maxwell mostrou que sempre que houver cargas elétricas aceleradas (oscilando, como numa corrente alternada, por exemplo), haverá produção de ondas eletromagnéticas e o tipo de onda (luminosa, raios-x etc.) dependerá do valor da aceleração da carga.

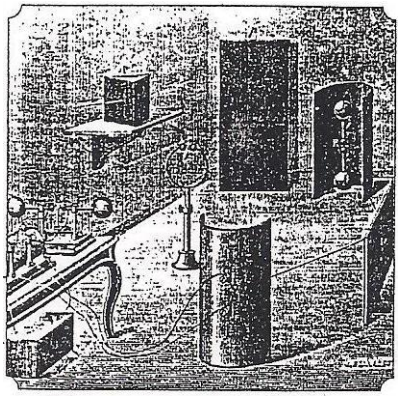
> **Observação:** A previsão teórica da existência das ondas eletromagnéticas foi feita por Maxwell após o mesmo, entre outras contribuições importantes, fazer uma correção à lei de Ampère (conforme veremos adiante), introduzindo um segundo termo no lado direito dessa lei (aqui escrito na forma $\mu_o \varepsilon_o d\phi_E/dt$).
>
> $$\oint_C \vec{B}.d\vec{\ell} = \mu_o i + \mu_o \varepsilon_o \, d\phi_E/dt \qquad \text{(lei de Ampère-Maxwell)}$$
>
> Note que a lei de Ampère, sem a correção devida a Maxwell, só vale para corrente constante.

Para entendermos melhor o problema da produção e captação de ondas eletromagnéticas, vamos voltar ao estudo da Lei de Faraday, onde vimos como produzir correntes alternadas (e, consequentemente, radiação eletromagnética) a baixas frequências.

Consideremos então um gerador de corrente alternada de uma usina hidroelétrica, por exemplo. Vimos que nesses geradores, as frequências das oscilações das correntes dependem da velocidade de rotação e do número de polos do eletroimã. A frequência de 60 Hz obtida com esses geradores é muito baixa e não se mostra útil para fins de comunicação. Isto porque o alcance do sinal, isto é, a distância em que se pode captar o sinal produzido, depende da frequência (além de depender da potência).

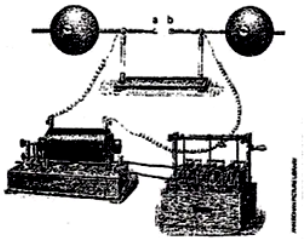
Estas considerações nos põem diante do seguinte problema:

> Como produzir corrente alternada de alta frequência de forma que a radiação eletromagnética por ela produzida possa ser captada por uma antena a grandes distâncias do emissor?



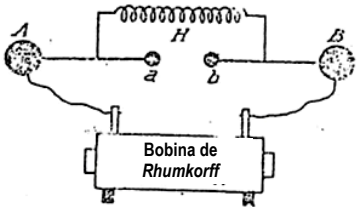
Primeiro devemos dizer que já em 1887, Heinrich R. Hertz conseguiu gerar ondas eletromagnéticas com frequência da ordem de 1000 MHz (comprimento de onda de 66 cm ou da ordem de 1m), pois $c=\lambda f=300.000$ km/s) e conseguiu captá-las a uma distância de 20 metros da fonte, com os dispositivos mostrados na **figura**. Ao prosseguir com seus trabalhos, ele observou que estas ondas refletiam, refratavam, difratavam, interferiam e podiam ser polarizadas, como qualquer onda transversal. Conseguiu, inclusive, medir

a velocidade dessas ondas, constatando que era a mesma da velocidade da luz, o que já tinha sido previsto por Maxwell.



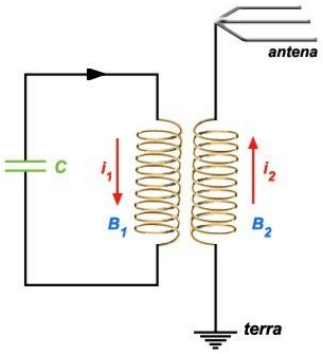
Equipamento original de Hertz. Dos terminais **a** e **b** saltam faíscas, resultantes da alta tensão fornecida por uma fonte formada por dois dispositivos associados. No detector localizado a distância (que não aparece na figura) é produzida outra faísca pela ação do pulso eletromagnético originário dos terminais **a** e **b**.

O OSCILADOR DE HERTZ – 1887



Hertz foi, portanto, o primeiro a transmitir e captar ondas eletromagnéticas (ondas de rádio, no caso), mas foi o jovem italiano Guglielmo Marconi o primeiro a transmitir sinais de radiofrequência a grandes distâncias. Entre 1894 e 1901, Marconi desenvolveu equipamentos cada vez mais potentes, capazes de enviar sinais eletromagnéticos a distâncias cada vez maiores (e captá-los) e em 12 de dezembro de 1901 ele conseguiu a façanha de ouvir no seu aparelho receptor, instalado no Canadá, um sinal enviado do seu potente transmissor instalado na Inglaterra. Uma de suas primeiras invenções foi patenteada em 2/6/1896.

Os rádios-transmissores

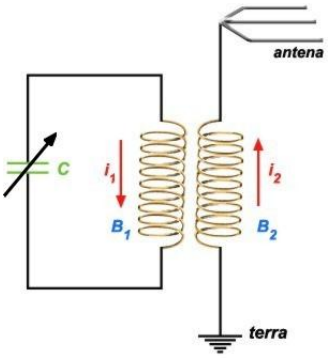


As ondas eletromagnéticas produzidas pelas estações de rádio são denominadas *ondas de radio* ou onda de radiofrequência. A faixa de frequência em que estas ondas são produzidas está entre 100 kHz e 300.000 kHz. Neste intervalo, existe uma faixa conhecida como ondas médias que vai de 500 kHz a 1.500 kHz, aproximadamente, e que pode ser vista facilmente no mostrador de um rádio comercial (AM: 530-1700 kHz e FM: 88-108 MHz, por exemplo).

A parte principal de um transmissor de ondas de rádio é um circuito oscilador (ver **figura**) constituído por um capacitor, *C*, e uma bobina B_1, o qual funciona com base no princípio de *autoindução*. Acoplada eletromagneticamente a este circuito é colocada uma bobina, B_2, com uma extremidade ligada à Terra e a outra ligada a um condutor exposto ao ar, chamado *antena*.

É necessária a presença da bobina B_2 e do fio retilíneo pelo fato do circuito oscilante quase não criar ondas ao seu redor, porque as variações dos campos elétricos e magnéticos ocorrem no interior do capacitor e da bobina. Quando se pretende criar ondas intensas é necessário produzi-las no espaço aberto.

Os rádios-receptores



Os rádios-receptores, como o rádio-galena ou como os que temos em nossas residências, são construídos de forma a captar as ondas eletromagnéticas emitidas pelas estações de rádio.

A parte principal de um receptor de ondas de rádio é semelhante à do rádio transmissor, mas funciona de modo diferente. Uma antena é ligada a uma das extremidades de uma bobina B_2 que tem a outra extremidade ligada à Terra. Esta bobina é acoplada a um

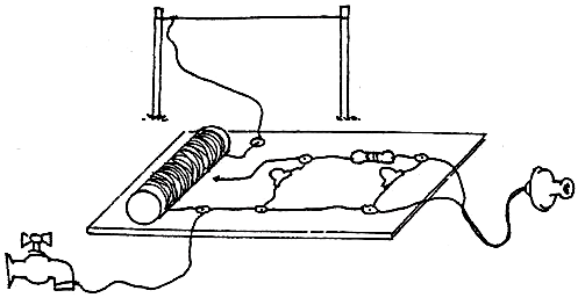
circuito oscilador constituído por um capacitor de capacitância variável, *C*, e uma bobina B_1 como pode ser visto na figura.

A capacitância variável permite ajustar a frequência de recepção (característica deste circuito) para o valor da frequência do circuito emissor, fazendo com que a corrente do circuito receptor (por se encontrar, neste caso, na mesma frequência do emissor) oscile com amplitude máxima (entra em ressonância), captando a máxima energia disponível, permitindo-nos ouvir a mensagem através de um fone.

O rádio-galena é um receptor rudimentar capaz de captar ondas eletromagnéticas e reproduzi-las por um fone de ouvido, utilizando-se incrivelmente apenas a energia que elas mesmas transportam. Funciona sem pilha!

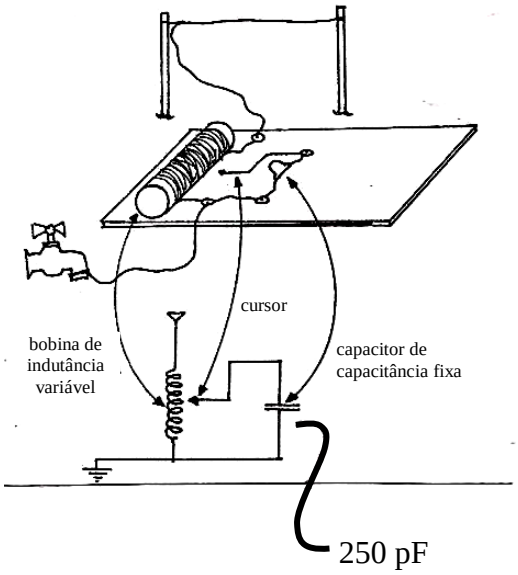
O nome "rádio-galena" decorre do fato de que na construção dos primeiros rádios, a partir do início do século XX, o elemento do rádio que funcionava como retificador (permitindo a passagem da corrente elétrica num sentido e impedindo no outro) não era ainda um diodo como os atuais e sim um cristal de galena (um cristal semicondutor de chumbo e enxofre – sulfeto de chumbo), o qual que terminou deixando seu nome ligado aos rádios simples, mesmo sem a presença do semicondutor de galena. A descoberta de que cristais de sulfetos metálicos, como o de galena, conduziam a corrente num só sentido foi feita pelo físico alemão Karl F. Braun, em 1874, mas a mesma não teve aplicação prática imediata. Só em 1906 é que esta propriedade desses cristais foi utilizada pelo engenheiro elétrico norte-americano Greenleaf W. Pickard em um receptor de rádio, ao perceber que o contato entre um fio metálico e a superfície do cristal retificam correntes alternadas de altas frequências.

O circuito básico do rádio-galena é mostrado na figura:



Ver Aníbal Figueiredo e Eduardo Terrazan, *Revista de Ensino de Ciências*, FUNBEC, nº 17, março/87, seção "O laboratório em casa". Ver também GREF, v. 3 p. 385.

A sintonia do rádio-galena proposto aqui é feita através da variação da indutância do indutor (bobina) e não da capacitância (variando o número de espiras), conforme indicado na figura.



Frequência própria

Assim como o capacitor, a bobina é um elemento fundamental na construção de um oscilador elétrico.

Vimos que um capacitor é um dispositivo tal que se colocarmos uma carga *q* nas suas placas, aparecerá uma ddp, *V*, entre as mesmas e a capacitância *C* será dada por

$$C = q/V$$

Da mesma forma que o capacitor, um indutor (uma bobina é um indutor, ou seja, é um dispositivo capaz de gerar um campo magnético numa região específica) é um dispositivo tal que se você fizer passar uma corrente, *i,* através de suas espiras, um fluxo magnético atravessará cada uma das espiras e a indutância *L* será dada por

$$L = N\Phi/i$$

e isto significa que o fluxo é diretamente proporcional à corrente ($N\Phi=Li$), sendo *L* a constante de proporcionalidade. Na situação mais geral *L* é função da corrente *i*: $L=L(i)$.

As grandezas físicas *C* e *L* dependem fundamentalmente das características geométricas destes dispositivos. No caso do capacitor, *C* depende da área da placa e da distância entre as placas. No caso da bobina, *L* depende do comprimento, do número de espiras e da área da seção transversal.

Para o circuito oscilante chamado *LC*, seja do tipo série ou paralelo, é possível mostrar que a *frequência própria* do circuito é dada por:

$$f = 1/ 2\pi\sqrt{(LC)}$$ (ver cálculo abaixo)

É claro que quando variamos a área das placas do capacitor ou o número de espiras do indutor, estamos variando a *frequência própria* do circuito oscilante, o que nos permite sintonizar os sinais da emissora de rádio (através do fenômeno de ressonância).

Obtendo a frequência por cálculo:

No caso do circuito LC série a demonstração pode ser feita facilmente usando o princípio de conservação da energia. Em qualquer instante, a energia total *U* presente num circuito *LC* (de resistência desprezível) é dada por:

$$U = U_C + U_L = \tfrac{1}{2}q^2/C + \tfrac{1}{2}Li^2$$

Como *U* é aqui uma constante, então $dU/dt = 0$ e

$$q / C + L\, d^2q/dt^2 = 0 \qquad (i=dq/dt)$$

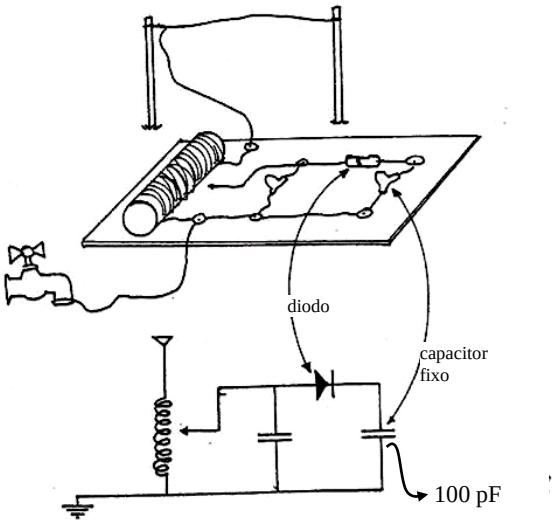
ou $$d^2q/dt^2 + (1/LC)\, q = 0$$

que é uma equação análoga à equação do sistema massa-mola: $d^2x/dt^2 + (k/m)\, x = 0$, em que $\omega=2\pi f=\sqrt{(k/m)}$

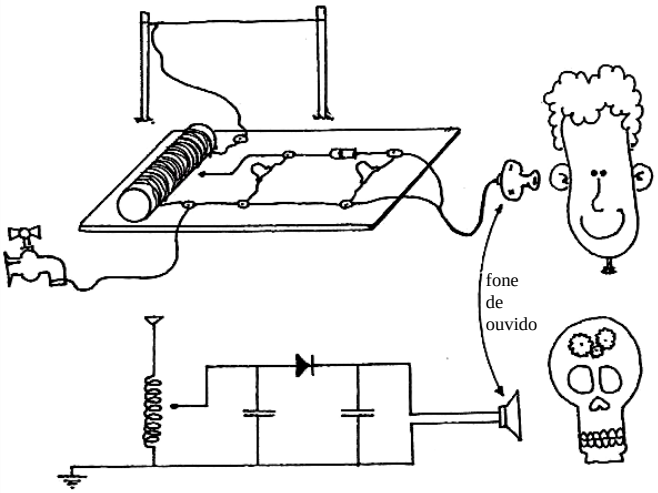
Resolvendo-se a equação diferencial do circuito, obtém-se: $f = 1/ 2\pi\sqrt{(LC)}$

No caso de circuito LC paralelo (suposto sem resistência), a dedução da expressão da frequência de ressonância não é tão simples, mas o resultado é o mesmo.

O circuito de detecção é composto de um diodo e um capacitor. A função do diodo é retificar ou transformar a corrente alternada em contínua e a do capacitor é filtrar os sinais de radiofrequência (que é conduzido à terra) e impedir a passagem do sinal de audiofrequência (que é enviado ao fone).



A recepção é feita através do fone ligado ao circuito de detecção.



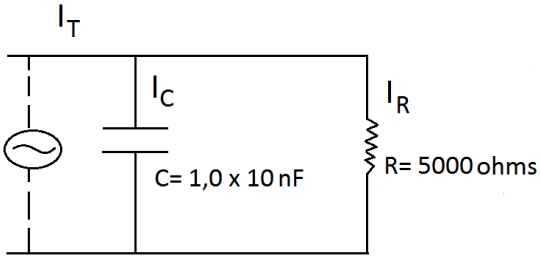
Mostrar que um circuito de corrente alternada, como o apresentado na figura abaixo, permite a passagem de sinais de audiofrequência pelo resistor e impede a passagem de sinais de radiofrequência.

Considere:

a) V = 50 V; f = 1.5 Hz

b) V = 50 V; f = 1

V ≡ Valor eficaz



Circuito denominado filtro “passa-baixo”.

Resposta para o item a: Para sinais de audiofrequência: f = 1.5 Hz

$I_R = V/R = 50/5000 = 10$ mA

$I_C = V/X_C = 50/(1/wC) = 50.2.\pi / (1/f\ C) = 100\ \pi / (1/1.5 \times 10^3 \times 10^{-9}) = 0,47$ mA

(Ver demonstrações na página seguinte)

Como I_R e I_C estão defasadas de 90º:



$I_T = \sqrt{(I_R^2 + I_C^2)} = 10,01$ mA

(Ver demonstrações na página seguinte)

$(I_R / I_T).100 = 10 / 10,01 \ . \ 100 = 99,9$ %

Praticamente toda a corrente de sinal de áudio passa pelo resistor

Resposta para o item b: Para sinais de radiofrequência: f = 1 MHz

$I_R = V/R = 10$ mA

$I_C = V/X_C = 100\ \pi / (1/1.5 \times 10^3 \times 10^{-9}) = 314.5$ mA

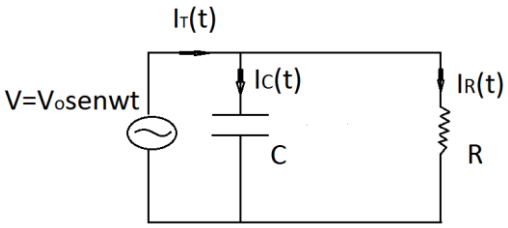
$I_T = \sqrt{(I_R \text{ e } I_C)} = 314,7$ mA

$(I_R / I_C) \cdot 100 = (10/314,7) \cdot 100 = 3,2$ %

Somente 3,2% do sinal de rádio, com frequência de 1 MHz passa pelo resistor.

Demonstrações:

Considere o circuito anterior. Qual a amplitude da corrente total, $I_T(t)$, no circuito acima, em termos de V_0, w, C e R?



Resposta: Da figura, temos:

$$I_T(t) = I_C(t) + I_R(t) \qquad (1)$$

onde

$$I_R(t) = V(t)/R = (V_0/R)\ \text{senwt} \qquad (2)$$

e

$$I_C(t) = C\,(dV(t)/d\,t) = wCV_0\ \text{coswt} \qquad (3)$$

Substituindo (2) e (3) em (1), temos

$$I_T(t) = (V_0/R)\ \text{senwt} + wCV_0\ \text{coswt}$$

Se $I_T \cos\theta = V_0/R$ e $I_T \operatorname{sen}\theta = V_0/(1/wC)$ então

$$I_T(t) = I_T\ \text{senwt}\cos\theta + I_T\ \text{coswt}\ \operatorname{sen}\theta$$

$$I_T(t) = I_T\ \operatorname{sen}(wt+\theta); \qquad \theta = tg^{-1}(1/RwC)$$

e

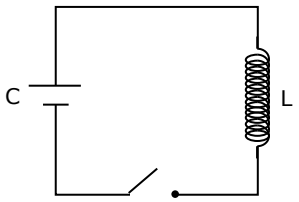
$$I_T^{\,2}\cos^2\theta + I_T^{\,2}\operatorname{sen}^2\theta = (V_0/R)^2 + (V_0/1/wC)^2$$

$$I_T = \sqrt{\{(V_0/R)^2 + [V_0/(1/wC)]^2\}} = \sqrt{(I_R^{\,2} + I_C^{\,2})} \qquad \text{CQD}$$

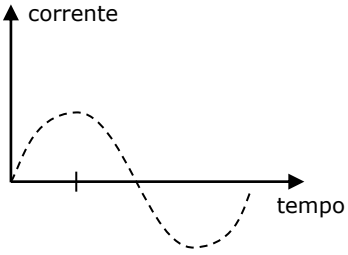
O oscilador

O fenômeno físico responsável pelo funcionamento do oscilador *LC* (ver oscilador de Hertz) é o fenômeno de *autoindução* (fenômeno descoberto por Henry, em 1832). Vejamos como circuito funciona.

Considere o circuito da figura ao lado.



Se inicialmente o capacitor estiver carregado (energia toda elétrica) e o circuito for fechado, uma corrente elétrica aparecerá no circuito devido ao movimento dos elétrons livres em direção à placa positiva. Se não existisse o fenômeno de autoindução, o excesso de cargas negativas de uma das placas rapidamente neutralizaria o excesso de cargas positivas da outra placa e o fenômeno se encerraria. Mas existe o fenômeno de autoindução! O que ocorre então de fato?



Note inicialmente que a corrente que surge no circuito não o faz instantaneamente e sim varia (cresce) rapidamente a partir de um valor nulo. Uma corrente variável, entretanto, tem a ela associado um campo magnético variável, que pela lei de Faraday-Lenz induzirá um campo elétrico no próprio circuito, sobretudo na bobina. Tal campo se oporá às variações (aumento) da corrente inicial, fenômeno denominado *autoindução*. Nestas condições, a intensidade de corrente do processo de descarga aumentará mais lentamente até atingir um valor máximo, instante em que o capacitor esgota sua carga (e a energia é toda magnética). Nesse instante q será zero, mas dq/dt será diferente de zero, isto é, terá valor máximo, quando tenderá a decrescer. Se $q=q_m\cos(\omega t+\varphi)$, $dq/dt=-wq_m\text{sen}(\omega t+\varphi)$.

Quando a corrente começa a decrescer (em razão das placas estarem agora sendo carregadas com cargas de sinais opostos aos da situação anterior – o que faz aparecer um campo elétrico oposto ao campo inicial das cargas da placa), o campo induzido mudará sua orientação no sentido de evitar o decréscimo da corrente (lei de Faraday-Lenz). O efeito de autoindução não impede que a corrente continue a decrescer, mas diminui a rapidez com que isto **poderia ocorrer** na ausência de sua atuação. A corrente diminui de intensidade mais lentamente até que o capacitor se recarregue, quando então a corrente será nula.

Vemos assim que da placa negativa são extraídos mais elétrons do que seriam extraídos se não houvesse autoindução; e mais elétrons que o necessário para neutralizá-la chegarão à placa positiva. A placa antes positiva passa agora a ter excesso de cargas negativas e a placa antes negativa passa a ter excesso de cargas positivas. Com o capacitor recarregado, o processo se repete. Na presença de uma resistência as oscilações serão amortecidas, sendo necessário o fornecimento de energia ao circuito para que o processo se mantenha.

Uma analogia com o sistema mecânico massa-mola nos ajuda a compreender este processo. Nesse caso, a energia potencial da mola é "equivalente" à energia elétrica do capacitor e a energia cinética do corpo é "equivalente" à energia magnética do indutor.

Apêndice 3 – Texto Complementar 13

MAXWELL E AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

J. F. M. Rocha

Como Maxwell chegou às suas ondas eletromagnéticas?

O caminho percorrido por Maxwell foi longo. Começou formalmente entre 1855 e 1856, período em que ele comunicou à *Cambridge Philosophical Society* (Sociedade Filosófica de Cambridge) o que podemos considerar sua primeira tentativa de formalizar uma concepção mecânica do eletromagnetismo. Devemos lembrar, entretanto, que as primeiras ideias de Maxwell sobre uma teoria eletromagnética foram apresentadas em carta escrita a W. Thompson (Lord Kelvin), antes dessa data.

Para melhor entendermos o caminho seguido por Maxwell desde 1855 até a época da descoberta das ondas eletromagnéticas, devemos dizer inicialmente que já no artigo *Sobre as linhas de força de Faraday*, de 1855 [ver *Projecto Física*, *Coleção Harvard*, v. 4, p. 108], ele se propôs a

> *"mostrar como é que, a partir da aplicação estrita das ideias e métodos de Faraday, a relação entre diferentes tipos de fenômenos por ele descoberto se podia exprimir claramente em linguagem matemática".*

De acordo com J. Bassalo, em 1857 Maxwell enviou seu trabalho sobre as "linhas de força de Faraday" ao próprio Faraday (1891-1867), que em resposta escreveu:

> *"Seu trabalho me agradou bastante e me dá um grande apoio. A princípio me assustei quando vi esta formulação matemática aplicada ao assunto; porém depois, me surpreendi vendo que o assunto resistiu bem à mesma".*

Após esses primeiros estudos, Maxwell passou 5 anos sem publicar novos trabalhos sobre este tema. Em 1861 e 1862 Maxwell voltou ao assunto eletromagnetismo, publicando um artigo intitulado *Sobre as linhas de força*, dividido em 4 partes.[26] É neste artigo que Maxwell apresenta seu modelo mecânico dos chamados vórtices moleculares para o campo eletromagnético. Nesse modelo, as forças magnéticas eram explicadas pelas rotações do meio e as forças elétricas pelas deformações elásticas do mesmo. Como qualquer meio elástico transmite ondas, Maxwell foi capaz de demonstrar que a velocidade das suas ondas estava relacionada à razão entre a força elétrica e a força magnética. Fazendo uso de números provenientes de uma experiência de G. Kohlraush e W. Weber, realizada em 1856, Maxwell descobriu com assombro, que a velocidade de propagação de suas ondas era igual à velocidade da luz.

[26] Maxwell costumava trabalhar sucessivamente em temas variados. Entre 1856 e 1861, Maxwell fez contribuições importantes sobre visão das cores, a teoria cinética dos gases, entre outras.

Tendo feito esta grande descoberta, Maxwell logo abandonou seu modelo mecânico e formulou um sistema de equações eletromagnéticas (as chamadas *equações de Maxwell*) de onde deduziu a existência das hoje chamadas ondas eletromagnéticas, que se propagariam no espaço com a velocidade da luz. Este sistema de equações era, portanto, uma teoria eletromagnética da luz em contraste com a teoria mecânica que a precedeu. A teoria eletromagnética foi exposta em dois artigos, de 1865 e 1868 e, na sua forma mais geral, foi publicada no *Treatise on Eletricity and Magnetism*, de 1873.

O trabalho desenvolvido por Maxwell ao longo desse período continha uma ideia inteiramente nova e de grande significado, qual seja: *um campo elétrico variável no tempo induz um campo magnético*. É sobre isto que falaremos a seguir.

A corrente de deslocamento

A corrente de deslocamento é o resultado dos esforços desenvolvidos por Maxwell ao longo da década de 1860 com o objetivo de estender para **materiais isolantes** dois princípios físicos que antes desse período eram aplicados aos campos elétricos e magnéticos existentes nos **condutores.** Tais princípios tinham sido enunciados como resultado dos trabalhos de Oersted, Ampère, Henry e Faraday. Os dois princípios referidos são enunciados como seguem:

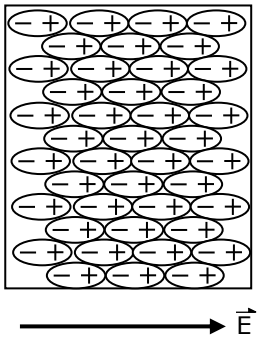
1. *Uma corrente elétrica num condutor produz linhas de força magnéticas que envolvem o condutor;*
2. *Quando um condutor se move através de linhas de força magnéticas que se criaram por meios exteriores ao condutor, induz-se uma corrente no condutor.*

Para melhor compreendermos a descoberta de Maxwell de que *campo elétrico variável no tempo tem a ele associado um campo magnético* podemos partir das seguintes considerações.

Considere um isolante num campo elétrico (mica num capacitor carregado, por exemplo). Nesta situação haverá no dielétrico uma polarização de cargas (cargas ligadas). As cargas positivas serão forçadas no sentido do campo e as negativas em sentido contrário. Ao estudar os dielétricos, anteriormente, verificamos que, contrariamente ao que ocorre num condutor, as cargas ligadas podem se deslocar somente a distâncias curtas até que as forças de reação do isolante equilibrem a força do campo aplicado. Se a intensidade do campo aumentar, o deslocamento das cargas ligadas será maior. Este deslocamento variável das cargas associado a um campo elétrico variável num isolante produz uma corrente (corrente de deslocamento) e Maxwell considerou que esta corrente de deslocamento que se estabelece num isolante vai rodear-se de um campo magnético.

Um novo problema se apresenta agora: Como definir a corrente de deslocamento?

Bem, num meio isolante a corrente de deslocamento define-se como sendo a taxa de variação de deslocamento de cargas. **Esta taxa é diretamente proporcional à taxa com que o campo elétrico varia com o tempo**. Assim, o campo magnético que rodeia a corrente de deslocamento pode ser considerado como uma consequência da variação no tempo do campo elétrico.



O módulo do vetor *B* depende da taxa de variação de *E*, $\Delta E/\Delta t$. Este resultado pode ser incorporado à lei de Ampère, acrescentando-se à mesma o termo $\mu_o(\varepsilon_o d\phi_E/dt)$.

$$\oint_C \boldsymbol{B}\cdot d\ell = \mu_o i + \mu_o \varepsilon_o \, d\phi_E/dt = \mu_o \, (i_C + i_D) \qquad \text{(lei de Ampère-Maxwell, no S.I.)}$$

onde $\varepsilon_o d\phi_E/dt = i_D$ é a *corrente de deslocamento* e i_C é a *corrente de condução*.

Com esta generalização, um outro princípio conhecido antes de Maxwell tomou um novo significado, uma vez que é simétrico ao obtido por Maxwell, qual seja: *um campo magnético no espaço produz um campo elétrico.*

Surge agora uma questão: Este modelo pode ser aplicado ao espaço sem matéria? Maxwell considerou que sim! Esta hipótese, entretanto, precisaria ser testada.

As ideias de Maxwell não foram todas testadas diretamente, de imediato. Elas foram testadas indiretamente através da previsão da existência de ondas eletromagnéticas. As primeiras confirmações de tal previsão vieram através das experiências realizadas por H. Hertz, a partir de 1887.

Mais uma questão é agora posta: O que determina a velocidade de uma onda eletromagnética?

Da Mecânica [ver *Física*, Tipler, *v.1b, p. 392*], sabemos que a velocidade de uma onda depende das propriedades elásticas do meio (tensão, para uma onda numa corda; o módulo de elasticidade, para ondas de compressão e rarefação) e de uma propriedade inercial do meio (densidade de massa ou densidade volumétrica), isto é, depende da rigidez e da densidade do meio:

$$v = c = \sqrt{\ (rigidez/densidade)}$$

Para o Eletromagnetismo, Maxwell considerou que uma relação semelhante entre a "rigidez e densidade" se aplicaria às ondas eletromagnéticas e procurou calcular aquilo que considerava ser a "rigidez" e a "densidade" dos campos elétricos e magnéticos cujas alterações se propagariam através de um éter hipotético em forma de onda. Considerou o éter como o suporte das suas ondas e, neste modelo, a rigidez relacionava-se com o campo elétrico e a densidade com o campo magnético. Em seguida provou matematicamente que a *razão* entre estes dois fatores, que deveria representar a velocidade da luz, era a mesma para todas as intensidades dos campos. Finalmente, Maxwell mostrou que a velocidade das ondas é uma quantidade precisa que pode ser medida em laboratório.

$$v = c = \sqrt{(K_e/K_m)} = 1/\sqrt{(\varepsilon_o \mu_o)} \qquad \text{(no vácuo; S.I.)}$$

As Equações do Campo Eletromagnético, de Maxwell[27]

Lei de Gauss (para a Eletricidade)	$\varepsilon_o \oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{S} = q$ descreve o campo elétrico de cargas em repouso ou em movimento (Curso de Física de Berkeley, v. 2, pág. 143)	Quando não há variação do fluxo magnético com o tempo, isto é, quando $d\phi_B/dt$ é nulo, ou mais precisamente, quando **B** é nulo, a Lei de Gauss para a Eletricidade (particularizada para cargas paradas) e a equação $\oint \mathbf{E}\cdot d\ell=0$, consideradas em conjunto, são as equações de Maxwell para a **Eletrostática**, as quais, complementadas pela força de Lorentz (**F**=q**E**+q**vxB;** com **B**=0), são equivalentes à Lei de Coulomb $\mathbf{F}=q\mathbf{E}$ com $\mathbf{E}=kQ\mathbf{r}/r^2$. A Lei de Coulomb aparece nos livros didáticos de nível médio com o módulo da força dado por $F = kQq/r^2$.
Lei de Gauss para o Magnetismo	$\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{S} = 0$ descreve o campo magnético	Resultados experimentais indicam ser impossível pelo menos até agora, a ocorrência de polos magnéticos isolados, diferentemente do caso elétrico.
Lei de Ampère-Maxwell	$\oint \mathbf{B}\cdot d\ell = \mu_o\varepsilon_o d\phi_E/dt + \mu_o i$ descreve o efeito magnético de um campo elétrico variável ou de uma corrente	Quando não há variação do fluxo elétrico com o tempo, isto é, quando o termo devido a Maxwell $\mu_o\varepsilon_o d\phi_E/dt$ é nulo, ou melhor, quando $\mu_o\varepsilon_o\partial\mathbf{E}/\partial t$ é nulo, a Lei de Ampère (particularizada para correntes estacionárias) e a Lei de Gauss para o Magnetismo, consideradas em conjunto, são as equações de Maxwell para a **Magnetostática**, as quais são equivalentes à Lei de Biot/Savart. A **Magnetostática** contém também a força de Lorentz particularizada: **F** = q**v**x**B**. A Lei de Biot/Savart (para um *elemento* de corrente $i\Delta l$) aparece em alguns livros didáticos de nível médio na forma: $\Delta B = \mu_o\, i\, \Delta l\, \mathrm{sen}\theta / 4\pi r^2$. No Magnetismo a Lei de Biot/Savart cumpre um papel semelhante ao da Lei de Coulomb na Eletricidade.
Lei da Indução de Faraday	$\oint \mathbf{E}\cdot d\ell = -d\phi_B/dt$ descreve o efeito elétrico de um campo magnético variável.	Esta lei aparece nos livros didáticos de nível médio geralmente na forma $\varepsilon = -\Delta\phi_B/\Delta t$, onde ϕ_B, o fluxo magnético, é dado por $\phi_B = BA\cos\theta$. Escrita na forma $\varepsilon = -d\phi_B/dt$, a lei do fluxo não corresponde precisamente ao conteúdo físico da lei de Faraday. A *fem* associada à lei de Faraday é aquela cuja origem é devida à variação temporal de **B** numa certa região do espaço**.** Mais adequado seria escrever: $\varepsilon = -\phi_{dB/dt}$ ou $\oint \mathbf{E}\cdot d\ell = -\int \partial\mathbf{B}/\partial t \cdot d\mathbf{S}$ As *fems* originadas do movimento ou deformação do circuito são explicadas pela força de Lorentz.[28]

[27] Supõem-se meios onde não existam materiais magnéticos ou dielétricos. Estas equações são apresentadas aqui na forma integral. Elas podem ser escritas, equivalentemente, na forma diferencial. Em princípio, o conjunto das quatro equações de Maxwell mais a equação da força de Lorentz (1895) é capaz de explicar qualquer fenômeno do eletromagnetismo clássico. A chamada Eletrodinâmica clássica é composta pelas 4 equações de Maxwell, a força de Lorentz e as leis da Mecânica Clássica.

[28] A lei (ou regra) do fluxo, descoberta por Faraday, deve ser vista da seguinte maneira. A força por unidade de carga é dada, em geral, por $\mathbf{F}/q = \mathbf{E} + \mathbf{v}\mathrm{x}\mathbf{B}$**.** Note que num fio movendo-se num campo magnético existe sobre ele a força do segundo termo (**v**x**B**). Também existe um campo **E** se existe um campo magnético variando. Estes são efeitos independentes (dois fenômenos diferentes), mas o *valor* da *fem* induzida num circuito fechado (uma espira girando num campo magnético estático, por exemplo) é sempre igual a taxa de variação do fluxo magnético através dele.

Relação entre o fenômeno descoberto por Oersted e a Teoria Eletromagnética Clássica

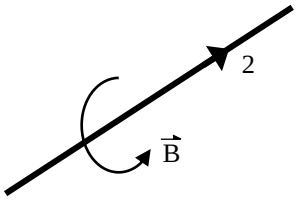
O fenômeno descoberto por Oersted e as contribuições de Biot-Savart (e também Ampère) podem ser relacionados às equações de Maxwell do seguinte modo

Fenômeno descoberto por Oersted:

Uma corrente elétrica passando por um condutor produz um campo magnético ao redor do condutor como se fosse um imã.

Contribuições de Biot-Savart

$d\boldsymbol{B} = (\mu_o/4\pi)\ [i d\boldsymbol{l} \times \boldsymbol{r} / r^3]$ com $\boldsymbol{B} = \int_C d\boldsymbol{B}$,



Equações de Maxwell na forma integral (no vácuo)

$$\oint_S \mathbf{E}\cdot d\mathbf{S} = q/\varepsilon_o$$

$$\oint_S \mathbf{B}\cdot d\mathbf{S} = 0$$

$$\oint_C \mathbf{B}\cdot d\ell = \mu_o i + \mu_o\varepsilon_o d\phi_E/dt$$

$$\oint_C \mathbf{E}\cdot d\ell = -d\Phi_B/dt$$

Vimos, anteriormente, que as linhas de indução não se originam nem terminam em um ponto e expressamos tal resultado na forma

$\Phi_{\boldsymbol{B}} = 0$ **ou** $\oint_S \mathbf{B}\cdot d\mathbf{S} = 0$ Lei de Maxwell para o Magnetismo, **uma das equações de Maxwell**

Este resultado também pode ser obtido da lei de Biot-Savart

$$d\boldsymbol{B} = (\mu_o/4\pi)\ (i d\boldsymbol{l} \times \boldsymbol{r} / r^3)$$

calculando a integral de $d\boldsymbol{B}$ ao longo do circuito fechado C e fazendo-se uso do *teorema da divergência*.

A Lei de Gauss para a Eletricidade

O Conceito de Fluxo Elétrico

Um dos conceitos embutidos na chamada Lei de Gauss para a Eletricidade é o conceito de *fluxo elétrico*. Para melhor compreendermos a lei de Gauss, vamos, inicialmente, revisar o conceito de fluxo elétrico.

1) Vimos que a ideia de *linhas de força*, introduzida por Faraday, é bastante útil para descrever fenômenos elétricos. O traçado destas linhas deve obedecer algumas regras:
   a) As linhas de força originam-se nas cargas positivas e terminam nas cargas negativas;
   a) As linhas de força são contínuas exceto nas fontes (+) e sorvedouros (–);
   b) O número de linhas de força é proporcional ao valor absoluto das cargas;
   c) O sentido das linhas de força é, em todos os pontos, o mesmo do campo elétrico;
   d) A densidade de linhas é uma medida da intensidade do campo elétrico.

2) Outra ideia muito útil no estudo do Eletromagnetismo é a de *carga pontual* (ou *puntiforme*). Esta ideia foi usada na apresentação da lei de Coulomb e do vetor intensidade de campo elétrico.

3) Agora serão também bastante úteis as noções de linhas de força e de carga pontual. A noção de linhas de força facilitará a introdução de um novo conceito, essencial para os nossos propósitos: o conceito de *fluxo elétrico*.

4) Para o estudo quantitativo das linhas de força, atribui-se um certo valor ao número de linhas de força que se origina na unidade positiva de carga. Digamos que este valor seja N. Da condição "e":

   $E \alpha$ densidade; $E_{perpend.} \alpha N/A$ ou $E_{perpend.}.A \alpha N$

   Se o campo elétrico **E** não estiver na direção perpendicular à superfície (plana) de área A, a componente E cosθ estará (θ é o ângulo entre **E** e a normal). Neste caso:

   $A\ E \cos\theta \alpha N$ ou $\mathbf{E}\cdot\mathbf{A} \alpha N$

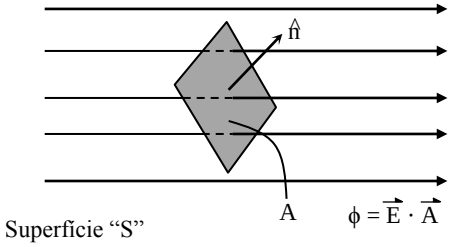
   O produto **E.A** se mostra uma grandeza muito interessante e é chamado fluxo elétrico ϕ_E.

$\phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} \alpha N$

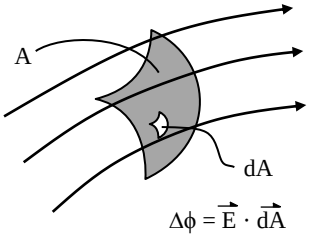
Por analogia:

$\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} \alpha N$

Fluxo magnético



Superfície "S" da área A



As funções proporcionais ao inverso do quadrado da distância

A validade da chamada lei de Gauss se assenta no fato do campo elétrico variar com o inverso do quadrado da distância, conforme ficará claro logo a seguir. É esta propriedade do campo elétrico que nos possibilita traçar um número **fixo** de linhas de força a partir de uma certa carga e fazer a densidade de linhas proporcional a intensidade do campo.

A chamada lei de Gauss foi inicialmente apresentada como uma alternativa à lei da gravitação universal, que em símbolos matemáticos pode ser expressa por:

$$\boldsymbol{F} = G\, m\, m'\, \boldsymbol{r} / r^3$$

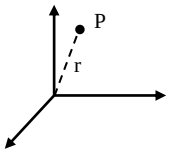
O nosso interesse aqui é apresentar a lei de Gauss como uma alternativa à lei de Coulomb. Esta é uma lei experimental e, como vimos, foi obtida por Charles A. Coulomb, em 1785, usando uma balança de torção. Do ponto de vista matemático, ela é análoga à lei da gravitação e pode ser expressa na forma:

$$\boldsymbol{F} = (1/4\pi\varepsilon_o)\, q\, q'\, \boldsymbol{r} / r^3$$

Maxwell chegou aq hoje chamada Lei de Gauss para a Eletricidade, quando resolveu calcular a integral de superfície da "indução elétrica" (nome dado por Faraday ao que chamamos hoje campo elétrico) através de uma superfície que envolvia "centros de força singulares" (hoje conhecidos como *cargas elétricas puntiformes*), encontrando para esta integral a somatória algébrica das quantidades de eletricidade daqueles centros de força. Ao estender essa demonstração às distribuições contínuas de cargas, representadas pela função densidade volumétrica ρ, e fazendo uso do teorema de Gauss-Ostrogradsky, Maxwell chegou à referida lei na forma diferencial (ver Bassalo, *Crônicas da Física*, Tomo I, p.291).

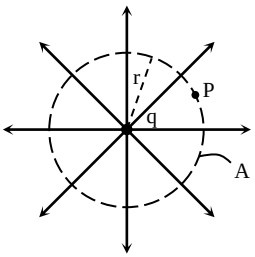
A Lei de Gauss para a Eletricidade

Da lei de Coulomb podemos definir o vetor campo elétrico, ***E,*** associado a uma carga pontual, do seguinte modo:



$$\boldsymbol{F}/q' = \boldsymbol{E} = (1/4\pi\varepsilon_o)\, q\, \boldsymbol{r} / r^3$$

A expressão acima nos dá o campo elétrico num ponto *P*, a uma distância da carga pontual *q*, conforme indicado na figura. Se considerarmos agora uma *superfície matemática,* esférica, de raio *r*, contendo o ponto *P*, centrada no ponto em que se encontra esta carga, poderemos reescrever o módulo da expressão do campo elétrico na forma:



$$E\, A = q/\varepsilon_o$$

Note que o produto *E.A* não depende de *r.* Isto é consequência de ***E*** decrescer com r^2 e a área crescer com r^2. O fato do produto *E.A* não depender de *r* é bastante significativo e nos estimula a dirigir nossa atenção para a grandeza física denominada fluxo elétrico, Φ_E, definida anteriormente.

Para que possamos fazer uso da expressão do fluxo elétrico definida no item anterior é necessário subdividirmos a área da esfera em elementos de área, *dA*. Com este procedimento, o produto ***E.dA*** (definição de fluxo) nos dará o fluxo elementar do vetor campo elétrico através da área *dA*:

$$d\Phi_E = \boldsymbol{E}.d\boldsymbol{A}$$

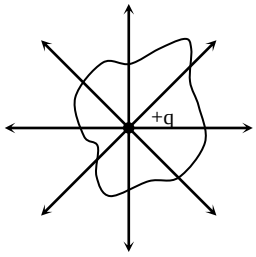
e o fluxo total será a integral dos fluxos elementares: $\Phi_E = \int d\Phi_E = \int \boldsymbol{E}.d\boldsymbol{A}$

Se, além disso, a superfície for fechada então $\Phi_E = \oint \boldsymbol{E}.d\boldsymbol{A}$

Após estas considerações, podemos equivalentemente escrever a expressão $E.A=q/\varepsilon_o$ da seguinte forma

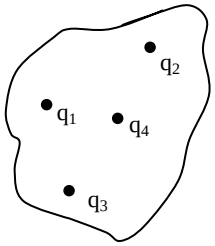
$\Phi_E = \oint \boldsymbol{E}.d\boldsymbol{A} = q/\varepsilon_o$ válida (por enquanto) para este caso particular de uma carga pontual *q*, envolvida por uma superfície esférica de raio *r*, centrada em *q*.

Questão: E se a superfície envolvendo a carga *q* não for esférica?



Para responder a esta questão, consideremos a figura ao lado. Se relembrarmos que o fluxo elétrico é proporcional ao número de linhas de força que atravessa a área considerada e se relembrarmos que, para a mesma carga, o número de linhas de força não muda conforme se pode ver na figura, concluiremos que a expressão acima vale não só para o caso de uma superfície esférica mas para uma superfície de forma qualquer.

Questão: E se a superfície envolver *n* cargas pontuais?



Esta questão é facilmente respondida se levarmos em conta o princípio da superposição dos campos (devido a cada carga pontual). Neste caso escrevemos:

$$\Phi_E = \oint \boldsymbol{E}.d\boldsymbol{A}$$

$$= \oint (\boldsymbol{E}_1 + \boldsymbol{E}_2 + \ldots).d\boldsymbol{A} = \oint \boldsymbol{E}_1.d\boldsymbol{A} + \int_S \boldsymbol{E}_2.d\boldsymbol{A} + \ldots$$

$$\Phi_E = q_1/\varepsilon_o + q_2/\varepsilon_o + \ldots = \sum q_i / \varepsilon_o$$

Finalmente $\Phi_E = \oint \boldsymbol{E}.d\boldsymbol{A} = \sum q_i / \varepsilon_o$ (lei de Gauss para a Eletricidade)

A lei de Gauss só se refere a superfícies fechadas. A figura central dessa lei é uma superfície hipotética fechada, chamada superfície gaussiana. A lei de Gauss e a lei de Coulomb são equivalentes no caso de cargas estacionárias ou que se movem lentamente. A lei de Gauss, entretanto, é mais geral, vale também para os casos de cargas que se movem rapidamente. É uma das quatro equações de Maxwell.

Lei de Gauss: *O fluxo elétrico total devido a qualquer distribuição de cargas através de qualquer superfície fechada S, está relacionado a carga total (líquida) dentro da superfície.*

APÊNDICE 4

Apêndice 4 – Texto Complementar 1

A DESCOBERTA DE ROEMER

J. F. M. Rocha

Em meados da década de 1670, observações minuciosas dos satélites de Júpiter, realizadas em Paris, revelavam irregularidades incompreensíveis nos intervalos de tempo medidos entre os eclipses sucessivos desses satélites. O astrônomo dinamarquês Ole Roemer, que nessa época morava em Paris, foi o primeiro compreender as causas dessas irregularidades. Ele descobriu que esses resultados não esperados decorriam do fato de a velocidade da luz ser finita. Vejamos como se deu essa descoberta.

Em setembro de 1676, Roemer previu para membros da Academia Francesa de Ciências (*Académie Royale des Sciences*), que no dia 9 de novembro daquele ano, um dos satélites de Júpiter (Io) emergiria 10 minutos depois do esperado pelos demais astrônomos, que faziam previsões para o seu movimento com base no procedimento padrão da Academia. As previsões de Roemer foram plenamente confirmadas naquela data. Pouco depois, para uma audiência de astrônomos surpresos, Roemer **explicou que a hora do eclipse prevista fora calculada com base em observações feitas quando a Terra se encontrava perto da Júpiter**, mas como, naqueles meses (setembro-novembro), devido ao seu movimento de translação, a Terra estava se distanciando de Júpiter, o atraso do eclipse se devia ao fato de a luz proveniente de Júpiter demorar um tempo adicional para chegar à Terra. Roemer foi capaz, inclusive, de calcular que a luz levava aproximadamente 22 minutos para atravessar a órbita da Terra em volta do Sol.

Um resumo dos trabalhos de Roemer pode ser encontrado nas memórias da Academia Francesa de Ciências (*Mémoires de l'Académie dês Science*, 1730, ver referência [Magie, W. F, *A Source Book in Physics*, p. 335], e nesse citado resumo podemos ler:

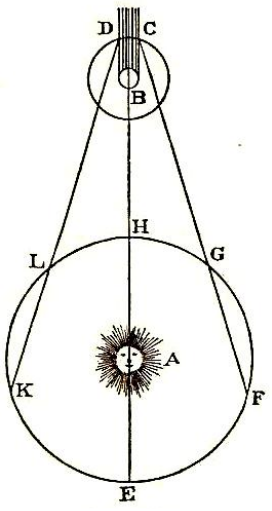


Figura 1 – Esquema, de 1739, representando o experimento de Roemer. *Mémoires de l'Académie dês Science*, 1730. Reproduzido por Magie, W. F., *A Source Book in Physics*,*Harvard* University Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.

"Por longo tempo filósofos têm se esforçado para decidir por algum experimento se a ação da luz é transmitida instantaneamente a qualquer distância, ou se requer tempo. O Sr. Roemer, da Academia Real de Ciências, pensou numa maneira de fazer isto, baseado na observação do primeiro satélite de Júpiter […].

Seja *A* (Fig. 1) o Sol, *B*, Júpiter, *C*, o primeiro satélite quando ele entra na sombra de Júpiter para sair em *D*, e seja *EFGHLK* a Terra a diferentes distâncias de Júpiter. Agora suponha que quando a Terra está em *L*, na segunda quadratura de Júpiter, o primeiro satélite foi visto exatamente na sua emergência da sombra em *D*; e que cerca de 42,5 horas depois, isto é, após uma revolução do satélite, a Terra então estando em *K*, ele é visto novamente quando retorna a *D*. É então claro que se a luz leva um tempo para atravessar a distância *LK*,

o satélite parecerá retornar a *D* depois do que ele teria de fazê-lo **se a Terra tivesse permanecido em *K***, de maneira que a revolução desse satélite, determinada pela sua emergência, será feita depois, por tanto tempo quanto o que a luz gastaria para passar de *L* a *K*, e que, de modo contrário, na outra quadratura *FG*, na qual a Terra está aproximando-se ou indo na direção da luz, as revoluções determinadas pelas imersões aparecerão diminuídas tanto quanto aquelas determinadas pelas emergências apareceram aumentadas; …"

Dito de outro modo, tabelas construídas a partir de medições dos *intervalos de tempo entre os sucessivos eclipses* de um dos satélites de Júpiter, realizadas com a Terra em pontos distintos nas vizinhanças do ponto *H*, indicavam ocorrências de eclipses antes do que realmente acontecia, quando a Terra se afastava de *H* na direção do ponto *E*. O tempo para nova emergência do satélite aumentava quando a Terra se afastava do ponto *H*, de forma que a soma de todos os incrementos no deslocamento da Terra de *H* para *E*, totalizava um atraso de aproximadamente 22 minutos. Roemer descobriu que os intervalos "são menores quando a Terra se move em direção a Júpiter e mais longos quando ela se afasta" e que "a luz gasta cerca de 10 minutos para percorrer a distância do Sol à Terra; ela não viaja instantaneamente, como afirma o Sr. Descartes".

De acordo com Armando Gilbert [Gilbert, W. *Origens Históricas da Física Moderna*, p. 96], com um valor grosseiro de 305 milhões de quilômetros e outros erros, Roemer estimou pela primeira vez uma velocidade da luz, obtendo um valor da ordem de 350.000 km/s. Pouco depois de Roemer, o físico holandês, C. Huygens, com base em suas próprias estimativas do diâmetro da órbita da Terra, calculou a velocidade da luz utilizando os dados de Roemer e encontrou um valor de aproximadamente 200.000 km/s, em unidades atuais. Somente em 1727 é que uma segunda medição da velocidade da luz viria a ser feita pelo astrônomo inglês James Bradley, com base nas medidas da *aberração da luz* das estrelas.

Apêndice 4 – Texto Complementar 2

A PROPAGAÇÃO RETILÍNEA DA LUZ SEGUNDO OS MODELOS DE PARTÍCULA E DE ONDA

J. F. M. Rocha

A luz se propaga em linha reta em meios homogêneos. ([29]) Se a propagação da luz em meios homogêneos é em linha reta, que modelo teórico descreveria melhor o comportamento da luz, um modelo corpuscular ou um modelo ondulatório? Os defensores de uma teoria corpuscular certamente não teriam dificuldades para explicar a propagação retilínea da luz. Os defensores de uma teoria ondulatória, entretanto, estariam diante de uma tarefa complexa. Huygens foi um dos primeiro a dar uma explicação ondulatória para a propagação retilínea da luz e ele o faz através do seu famoso Princípio, que hoje é enunciado do seguinte modo: *cada ponto de uma frente de onda primária constitui uma fonte puntiforme para ondas esféricas secundárias*, e a posição da frente de onda primária depois de um certo tempo *t* é determinada pela envoltória de todas estas ondas secundárias que se propagam com velocidade igual à da onda primária (a envoltória tangencia todas as superfícies da família de ondas secundárias).

A ideia básica de Huygens para explicar a propagação retilínea e a formação de sombras de objetos é a de que cada onda secundária só produz efeito na envoltória, indicada por *CE* na Figura 2, porque sobre a envoltória muitas ondas secundárias vizinhas se reforçam. A envoltória *CE* é gerada apenas pelos pontos de *HI* não obstruídos e, por isso, fica limitada pelos raios extremos *AC* e *AE* que passam pela abertura. Embora exista penetração de ondas secundárias na região de sombra, a envoltória é interrompida em *C* e *E*, e ondas secundárias sem envoltória, segundo Huygens, são fracas demais para serem percebidas.



Figura 1 – Propagação retilínea da luz. A hipótese de que a luz segue uma trajetória retilínea é geralmente válida em razão de seu comprimento de onda ser muito pequeno. Vemos propagação retilínea quando examinamos a formação da sombra dos objetos, ou quando observamos um feixe de luz no interior de um quarto empoeirado. As ondas sonoras não mostram este mesmo comportamento. Podemos ouvir uma pessoa falar do lado de fora de uma casa, mesmo ela estando fora da linha de visão.

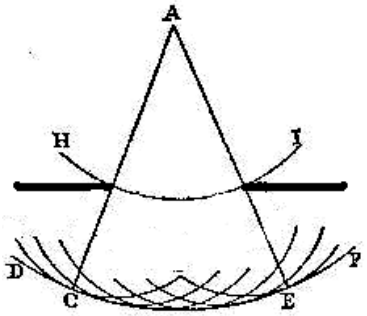


Figura 2 – Adaptada da Fig. 58 do livro "Tratado sobre a Luz,", de C. Huygens, escrito por volta de 1679 e publicado em 1690.

[29] A propagação retilínea só ocorre em meios homogêneos e infinitos. Se um obstáculo for colocado em seu percurso, observam-se desvios em relação a direção de propagação retilínea. Conforme pode ser visto no texto, Huygens perecia desconhecer ou não acreditar no fenômeno de difração (desvios em relação à direção de propagação retilínea). É de notar que após o advento dos lasers foi possível obter-se manchas luminosas de até um metro de diâmetro, orientando-se um feixe de luz, altamente colimado, para a superfície lunar.

É instrutivo ver como o próprio Huygens apresentou o que chamamos hoje Princípio de Huygens, através do qual ele explicou a propagação retilínea da luz e a formação de sombras de objetos, num contexto de um éter onipresente [Huygens, C., "Tratado sobre a luz". Publicado em: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência.* Suplemento 4 / 1986. Tradução de Roberto de A. Martins. Citação na p. 22]:

"Deve-se ainda considerar na emanação dessas ondas que cada partícula de matéria ([30]) *atingida por uma onda não deve comunicar seu movimento apenas à partícula próxima que está na linha reta traçada do ponto luminoso; mas que ela também o comunica necessariamente a todas as outras que a tocam, e que se opõem a seu movimento. De modo que deve ocorrer que em torno de cada partícula se produza uma onda da qual essa partícula esteja no centro. "Assim, se DCF é uma onda emanada de um ponto luminoso A, que é seu centro, a partícula B, uma das que estão compreendidas na esfera DCF, produzirá sua onda particular KCL, que tocará a onda DCF em C no mesmo momento em que a onda principal, emanada do ponto A tenha chegado a DCF. É claro que a onda KCL tocará a onda DCF apenas no lugar C, que está na reta traçada por A e B. Da mesma forma as outras partículas compreendidas na esfera CDF como bb, dd, etc., terão cada uma produzido sua onda. Mas cada uma dessas ondas não pode ser senão infinitamente fraca comparada à onda DCF, para cuja composição todas as outras contribuem pelas partes de suas superfícies que estão mais afastadas do centro A".*

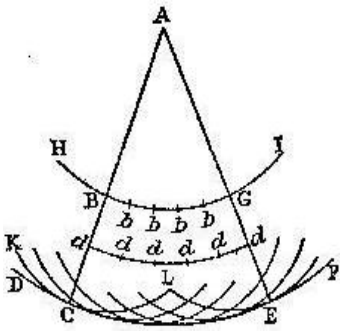


Figura 3 – Extraída do livro "Tratado sobre a Luz,", de C. Huygens.

Vê-se, além disso, que a onda DCF é determinada pela extremidade do movimento que saiu do ponto A em certo espaço de tempo, não havendo movimento além dessa onda, embora o haja no espaço por ela contido, ou seja, nas partes das ondas particulares que não toquem a esfera DCF. […]

"Para chegar às propriedades da luz, notemos primeiramente que cada parte da onda deve se propagar de modo que as extremidades estejam sempre compreendidas entre as mesmas retas traçadas do ponto luminoso. Assim a parte da onda BG, que tem o ponto luminoso A por centro, se propagará no arco CE, terminado pelas retas ABC, AGE. Embora as ondas particulares produzidas pelas partículas compreendidas pelo espaço CAE se espalhem também fora desse espaço, elas só concorrem no mesmo instante para compor juntas uma onda que limite o movimento da circunferência CE que é sua tangente comum.

"Daqui se vê a razão pela qual a luz não se espalha senão em linhas retas a menos que seus raios sejam refletidos ou rompidos – de modo que ela não ilumina um objeto a não ser quando o caminho desde sua fonte até esse objeto está aberto segundo tais linhas. Caso, por exemplo, houver uma abertura BG, limitada por corpos BH, GI, a onda de luz que sai do ponto A terminará sempre pelas retas AC, AE, como acabamos de demonstrar. As partes das ondas particulares que se propagam fora do espaço ACE são fracas demais para aí produzir luz.

[30] "Se agora examinarmos qual pode ser essa matéria em que se propaga o movimento que vem dos corpos luminosos, e que eu chamo de etérea, ver-se-á que não é a mesma que serve para a propagação do som" […] matéria em que se propaga o movimento que vem dos corpos luminosos, e que chamo de *etérea*". [Huygens, p. 17] "Deve-se também saber que, embora as partículas do éter não sejam alinhadas em retas, como em nossa fila de bolas, mas confusamente, de modo que uma toque várias outras, isto não impede que elas transportem seu movimento e que elas o propagem sempre para a frente." [Huygens, p. 19].

O último parágrafo da citação acima indica que Huygens não acreditava ou desconhecia o fenômeno de difração descoberto em 1665, por Grimaldi, já que neste a luz se desvia em relação à direção de propagação retilínea, penetrando fracamente na região de sombra.

Huygens diz ainda que essas ideias acima apresentadas não eram do conhecimento de Hooke e do Padre Pardiès e, segundo ele, essa seria a razão pela qual estes não conseguiram explicar a reflexão e a refração com base no modelo ondulatório. Numa carta que Leibniz lhe escreveu em junho de 1694, este reconhece que o passo fundamental dado por Huygens para explicar a reflexão e a refração foi o que chamamos hoje *Princípio de Huygens*: "Certamente o Sr. Hooke e o Padre Pardiès não podiam chegar à explicação das leis da refração pelos pensamentos que possuíam sobre ondulações. Tudo consiste no modo que vós utilizastes de considerar cada ponto do raio como irradiante, e de compor uma onda geral com todas essas ondas auxiliares" (Citado por R. Martins, nota de rodapé da referência [Huygens, C., "Tratado sobre a luz". Publicado em: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência.* Suplemento 4 / 1986. Tradução de Roberto de A. Martins, p. 35]).

Apesar de mais avançado do que os modelos de Hooke e de Pardiès, o modelo ondulatório de Huygens não era o de ondas periódicas (perturbações rítmicas, regulares) e sim de *pulsos* independentes (termo usado por Hooke) ([31]). Com seu modelo, Huygens teria dificuldade para explicar quantitativamente as relações de intensidade da luz, tais como a lei do inverso do quadrado da distância ao centro, pois a maior parte das ondas emitidas por cada ponto não contribui para a formação da onda principal.

Há ainda a comentar o fato das fontes puntiformes gerarem ondas em todas as direções. Huygens afirma que cada ponto da frente de onda é uma fonte puntiforme e isto implica em admitir ondas propagando-se para trás. Ele apenas ignorou essas ondas. O princípio de Huygens foi aperfeiçoado no século XIX por Fresnel e depois por Kirchhoff que mostrou que tal princípio decorre diretamente da equação de onda clássica. Kirchhoff relacionou a intensidade das ondas secundárias com um ângulo e a intensidade da mesma é nula quando se propaga para trás.

No seu *Tratado sobre a Luz* Huygens diz que (nele) foram "explicadas as causas daquilo que lhe acontece na reflexão e na refração e particularmente na estranha refração do cristal da Islândia". Mas ele tinha consciência de que seu trabalho não estava completo:

> *"Espero também que existam aqueles que, seguindo este início, entrarão nesse assunto mais profundamente do que eu fui capaz, pois falta muito para ele ser esgotado. Isto aparece nos lugares que indiquei, onde deixo as dificuldades sem resolução; e ainda mais pelas coisas que nem mesmo toquei, como os corpos brilhantes de vários tipos, e tudo o que se refere às cores – campo em que ninguém até agora pôde se vangloriar de haver obtido sucesso. Resta enfim muito a pesquisar sobre a natureza da luz, que não pretendo haver descoberto, e ficarei muito devedor àquele que possa simplesmente suplementar aquilo que aqui me falta de conhecimento".* (Huygens, Prefácio do *Tratado sobre a Luz*).

[31] "Como as percussões no centro dessas ondas não possuem uma sequência regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam umas às outras por distâncias iguais […]". [Huygens, p. 21]

Apêndice 4 – Texto Complementar 3

A REFLEXÃO DA LUZ

J. F. M. Rocha

Aspectos históricos e experimentais

A reflexão da luz é um fenômeno caracterizado pela mudança de direção do feixe de luz ao encontrar uma superfície que delimita dois meios diferentes, sem que o feixe mude de meio (Figura 1). Se a superfície for polida, como a de um espelho, teremos a reflexão regular ou especular; nesse caso, haverá um feixe unidirecional refletido. Se a superfície for irregular, como a de uma folha de papel, teremos a reflexão difusa; aqui, cada pequeno trecho da superfície terá inclinação diferente e os raios refletidos se espalharão em todas as direções. Em qualquer caso, entretanto, a lei da reflexão será válida. A existência de um feixe unidirecional refletido está condicionada também às dimensões transversais do objeto refletor; caso estas não sejam muito maiores que o chamado comprimento de onda da luz incidente, não haverá um feixe unidirecional bem definido. As exigências de que as superfícies sejam *lisas e grandes* também se aplicam à formação de feixes refratados, a serem discutidos mais adiante.

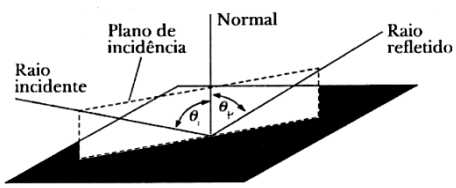


Figura 1 – Reflexão da luz

Foram os filósofos da Antiguidade os primeiros a se preocupar com as propriedades refletoras das superfícies espelhantes planas e curvas e também os primeiros a descobrir que a luz se propaga em linha reta (num meio homogêneo). Assim, já no início do século III a.C., os estudos destas e de outras propriedades, apesar de pouco desenvolvidos, estavam sistematizados em dois ramos distintos: o da *Óptica* e o da *Catóptrica*. A *Óptica*, nessa época, estudava a teoria geométrica da percepção visual do espaço e dos objetos nele situados. A *Catóptrica* estudava principalmente a teoria dos espelhos e ainda outros fenômenos relacionados com a refração. Os primeiros tratados com esta denominação parecem ter sido escritos pelo matemático grego Euclides de Alexandria (323-285 a.C.). Em seu trabalho denominado *Catóptrica*, Euclides descreveu o comportamento do feixe luminoso refletido por espelhos planos, côncavos e convexos e, admitindo trajetória retilínea para este feixe, demonstrou a *Lei de Reflexão da Luz*: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (Bassalo, Tomo 5, p. 13). No seu livro Óptica, para saber quão grande é uma dada elevação (Figura 2), Euclides escreve [Óptica de Euclides, Traduzido por Harry Edwin Burton, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 35, pp. 357 a 372 (1945)]:

"Seja uma certa elevação, AB, e seja o olho G […] Agora, desde que o raio GL tenha incidido e o raio LA tenha se refletido, eles são refletidos a iguais ângulos, como foi dito no Catóptica, então o ângulo GLT é igual ao ângulo ALB. Mas também o ângulo ABL é igual ao ângulo GTL; e o ângulo remanescente LGT é igual ao ângulo remanescente LAB. Então os triângulos ALB e GLT têm ângulos iguais. […]"

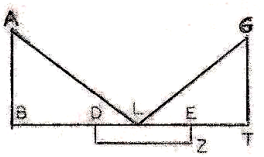


Figura 2 – Figura extraída do Óptica de Euclides.

Esta lei só viria a ser completada mais de mil anos depois, por volta de 1038 d.C., pelo físico e matemático iraquiano Abu-Ali Al-Hasan Ibn Al Haythan (Al-Hazen), ao enfatizar que o raio incidente, o raio refletido e a normal estão no mesmo plano. Al-Hazen rejeitou a ideia de "raios visuais" dos gregos, a qual já tinha sido questionada por Aristóteles que então indagava: "Se a visão tivesse efeito quando a luz saísse do olho, como de uma lâmpada, por que não seria igualmente possível a visão no escuro?"

No que diz respeito aos aspectos experimentais, o fenômeno da reflexão é verificado através de uma dezena de experimentos simples relacionados no Apêndice. A partir destes experimentos, encontra-se a lei da reflexão da luz e obtêm-se um método de traçar os raios para a localização de imagens formadas por associação de superfícies refletoras, como no caso de dois espelhos mutuamente perpendiculares. Deve-se notar que uma propriedade importante das imagens formadas por superfícies refletoras (ou refratoras) é a de que uma imagem pode servir de objeto para a formação de outra imagem para uma segunda superfície ou dispositivo óptico, ideia que é de importância fundamental na Óptica geométrica.

No que segue, deduz-se teoricamente da lei de reflexão da luz a partir de modelos teóricos diferentes. Primeiro, tratando a luz como constituída de partículas; depois, tratando a luz como onda e, finalmente, deduz-se a lei da reflexão tomando como ponto de partida o princípio do *tempo mínimo*, de Fermat.

A lei da reflexão da luz e o modelo de partícula

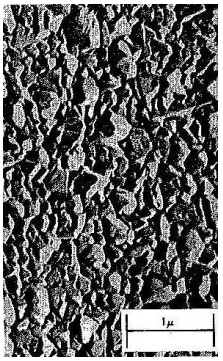


Figura 3 – Superfície de vidro vista através de um microscópio eletrônico. Figura extraída de *Projecto Física*, Unidade 4, Fundação C. Gulbenkian.

Na dedução matemática da lei da reflexão (e não só da lei da reflexão), é importante considerar a noção de *raio de luz.* Deve-se então perguntar: O que é um raio de luz? O que um raio de luz representaria em cada modelo? Num modelo de partícula, um raio de luz representa a trajetória de um corpúsculo de luz; representa a direção segundo a qual as partículas de luz se deslocam. No modelo de onda, entretanto, um raio é traçado perpendicularmente à linha das cristas das ondas em cada ponto e representa a direção de propagação da onda naquele ponto. Mas apesar da representação visual de um raio de luz ser muito útil, o mesmo não tem existência real[32].

Qualquer que seja o modelo, entretanto, há de se considerar as características das superfícies. Superfícies consideradas *lisas* (como de um vidro polido) aparecem bastante rugosas, quando vistas através de um

[32] Newton entendia por um raio de luz "as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas" [Newton, Óptica, p. 39, *Definição I*]. Na página 202 do *Óptica*, Newton afirma: "Os raios de luz, sejam eles corpúsculos projetados ou apenas movimento ou força propagados, se movem em linhas retas; e sempre que um raio de luz se desvia de seu caminho retilíneo devido a qualquer obstáculo, ele nunca retornará pelo mesmo caminho retilíneo, a não ser talvez por uma grande casualidade". Em geral, um raio de luz é definido como sendo uma linha traçada no espaço com a direção de propagação do fluxo de energia radiante. […] Nos meios homogêneos e isotrópicos os raios de luz são linhas retas uma vez que, por razões de simetria não se podem curvar para nenhuma direção preferencial, que não existe sequer. [Hercht, E, *Óptica*, p. 92].

microscópio eletrônico (Figura 3). Se considerarmos a hipótese de que as partículas de luz são semelhantes a pequenas esferas de matéria, um feixe dessas partículas incidindo numa superfície como a do vidro, não seria refletido unidirecionalmente e se dispersaria em todas as direções. Newton já considerava este tipo de dificuldade e acreditava que deveria existir alguma propriedade do corpo, distribuída uniformemente pela superfície e que atuaria sobre o raio sem contato direto, para que houvesse a reflexão regular. [Newton, I. *Óptica*, São Paulo. Edusp, 1996, p. 201. Tradução de André Koch Torres Assis]:

> *"A reflexão de um raio é efetuada não por um ponto único do corpo refletor, mas por algum poder do corpo que está espalhado uniformemente por toda sua superfície e pela qual ele age sobre o raio sem contato imediato. Pois que as partes dos corpos agem sobre a luz a distância será mostrado daqui por diante".*

O modelo mais simples para representar este "poder do corpo" é o de uma força perpendicular à superfície. À medida que a partícula se aproximasse de um outro meio, poderia sofrer reflexão pela ação de uma força repulsiva. Para haver a refração, primeiro a partícula teria de vencer a força repulsiva e, se conseguisse, encontraria uma força atrativa, com a velocidade aumentando no meio mais denso (geralmente mais refringente).

Por razões pedagógicas, consideremos então a hipótese da luz como partícula, com quantidade de movimento $\boldsymbol{p}_i$, sobre a qual, em algum instante, atua uma força exercida perpendicularmente pela superfície (Figura 4). O raio incidente faz um ângulo θ_i com a normal à superfície. Para mostrar que o modelo de partícula permite deduzir a lei da reflexão, comecemos por escrever as componentes do momento da partícula incidente:

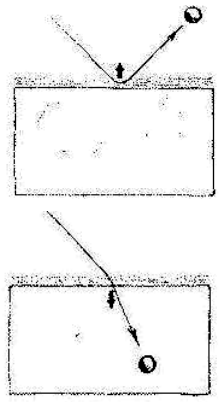


Figura 4 – O raio incidente faz um ângulo θ_i com a normal.

$$\boldsymbol{p_i} = p_i \operatorname{sen}\theta_i \,\mathbf{i} - p_i \cos\,\theta_f \,\mathbf{j}$$

As componentes do momento desta partícula, após a reflexão, são:

$$\boldsymbol{p_f} = p_f \operatorname{sen}\theta_i \,\mathbf{i} + p_f \cos\theta_f \,\mathbf{j}$$

A força repulsiva devido à superfície refletora é perpendicular à direção da componente *x* do momento da partícula incidente, isto é,

$$\boldsymbol{F}_{\text{superfície refletora}} \quad \perp \quad \boldsymbol{p}_x$$

Sendo assim, a componente *x*, do momento da partícula $\boldsymbol{p}_x$, é conservada (a componente *y*, $\boldsymbol{p}_y$, não é conservada), o que implica em:

$$\boldsymbol{p}_{xi} = \boldsymbol{p}_{xf} \qquad \text{ou seja:} \qquad p_i \operatorname{sen}\theta_i = p_f \operatorname{sen}\theta_f$$

Consideremos agora este ultimo resultado de dois modos diferentes. Primeiro, suponhamos, apenas por interesse pedagógico, que o momento da partícula de luz seja dado pela expressão clássica do momento de uma partícula de massa *m* ($\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}$) ([33]), e que a força

---

[33] Logo após publicar seu primeiro trabalho em Óptica, Newton sofreu severas críticas de R. Hooke por ter defendido a corporeidade da luz (luz como substância material). Como já citamos, em um artigo de 1672, em resposta às críticas de Hooke, Newton admite a corporeidade da luz, mas o faz, conforme ele diz, sem uma certeza absoluta: "É verdade que, em minha teoria, defendo a corporeidade da luz; mas eu o faço sem uma certeza absoluta, como a palavra talvez dá a entender; e o faço como não mais que uma consequência muito plausível da teoria não como uma suposição fundamental …" [Newton I., *Phil. Trans.* 18, 5084 (1672)], [Silva, F. W. O. da, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n 1, 1601 (2009), p. 4]. No *Óptica*, publicado em 1704, Newton não defendeu abertamente a materialidade da luz. Nas chamadas *Questões*, e em outras partes, apresentou discussões conceituais sobre a interação da luz com outros corpos por forças agindo à distância. Na *¨Questão 1*", ele diz*: Não atuam os corpos sobre a luz à distância, e pela sua ação encurvam os seus raios, e não é esta ação (caeteris paribus) mais forte quando a distância é menor?* Em 1919, algumas

repulsiva devido à superfície refletora não efetua trabalho sobre a partícula. Neste caso, a energia cinética da mesma se conserva e obtemos $p_i = p_f$ (Na verdade, $p_i = \pm p_f$, mas o sinal negativo não tem significado aqui. (Ver exercício 13.7 da coleção *Harvard Project Physics*, Unidade 4). Com este resultado, podemos escrever:

$$\text{sen}\theta_i = \text{sen}\theta_f \qquad \text{o que implica em} \qquad \theta_i = \theta_f \qquad \text{CQD}$$

De um modo diferente, mas ainda por razões pedagógicas, consideremos agora a partícula de luz possuindo um momento dado pela expressão $p=h/\lambda$. Neste caso, podemos fazer as seguintes considerações. Suponhamos que esta partícula seja uma dos bilhões de fótons que constituem o feixe (laser, por exemplo). De resultados experimentais, sabemos que é possível transmitir o momento de um feixe luminoso para um meio material[34]. Tendo em conta que a componente x do momento, $\boldsymbol{p}_x$, é conservada (como obtido anteriormente), então podemos escrever:

$$\boldsymbol{p}_{xi} = \boldsymbol{p}_{xf} \qquad \text{ou} \qquad p_i \,\text{sen}\theta_i = p_f \,\text{sen}\theta_f$$

Como

$$\lambda_i = \lambda_f \qquad \text{então} \qquad p_i = p_f$$

Logo, $\quad \text{sen}\theta_i = \text{sen}\theta_f \quad \rightarrow \quad \theta_i = \theta_f$

É claro que esta abordagem é demasiado simples e, como já foi dito, tem valor apenas pedagógico. Além disso, não foi feita aqui nenhuma referência à probabilidade que um fóton tem de seguir uma dada trajetória. (Ver também referência [Hecht, E., *Óptica*. Lisboa. Fundação C. Gulbenkian. 1991, p. 130].

A lei de reflexão e o modelo de onda

Na dedução da lei de reflexão da luz segundo o modelo ondulatório, vamos proceder conforme Huygens o fez. Com isto teremos a oportunidade de revelar qual era a metodologia de exposição utilizada por Huygens. Na maior parte do livro, ele usou uma metodologia geométrica, um estilo de trabalho muito utilizado na época, e apenas no final aplicou um pouco de álgebra. Como suas ondas não eram ondas periódicas, em nenhum momento do seu raciocínio ele faz referência ao comprimento de onda da luz, o que, como veremos a seguir, também não é necessário para deduzir o comprimento de onda da luz.

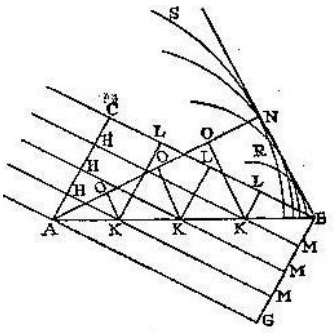


Figura 5 – Reflexão da luz. Figura extraída do livro "Tratado sobre a luz" de Huygens.

semanas depois, da reunião de 6 de novembro, na qual foi anunciado o resultado das medidas da deflexão da luz em Sobral e Ilha de Príncipe, Joseph John Thonsom que estava na mesa da reunião conjunta da Royal Society e Royal Astronomical Society, declarou: [Pais, A, *"Sutil é o Senhor" – A Ciência e a Vida de Albert Einstein*, p. 361]. *A deflexão da luz pela matéria sugerida por Newton na primeira de suas questões, seria, por si só, um resultado de importância científica de primeira ordem, é ainda mais importante quando este valor está de acordo com a lei da gravitação proposta por Einstein.* No livro *"Sutil é o Senhor…": a ciência e a vida de Albert Einstein*, Abraham Pais diz que "Ocasionalmente, tem-se especulado que o fóton pode ter uma massa pequena, não nula. Portanto a informação experimental direta sobre a massa do fóton é uma questão de interesse. A melhor determinação desta massa provém de observações astronômicas. O limite superior atual é de $8\text{x}10^{-49}$g" [Pais, p. 482].

[34] Em 1901**,** Pyotr Lebedev e, independentemente, E. Nichols e G. Hull, em 1903, mediram a *pressão da radiação.* Se admitirmos como válida a lei da conservação do momento (quantidade de movimento), a pressão da radiação é para ser interpretada como uma comprovação de que a radiação possui uma quantidade de movimento.

Considere então a Figura 5, onde "a linha *AC* inclinada em relação a *AB* representa a parte da onda de luz cujo centro está tão longe que a parte *AC* pode ser considerada uma linha reta", isto é, *AC* é uma frente de onda de uma onda plana. De acordo com Huygens:

> *"O ponto C da onda AC, em um certo tempo, avançará para o ponto B no plano AB, ao longo da linha CB, que supõe-se vindo da centro luminoso e que consequentemente é perpendicular a AC. Ora,* ***nesse mesmo espaço de tempo****, o ponto A da mesma onda, que foi impedido de comunicar seu movimento para além do plano AB, pelo menos em parte,* ***deve ter continuado seu movimento na matéria que está acima desse plano, e isso em um alcance igual a CB, produzindo sua onda esférica particular de acordo com o que foi dito acima****."*
>
> *Ao mesmo tempo****, a parte A da mesma onda que foi impedida, ao menos em parte, de comunicar o seu movimento ao corpo abaixo do plano AB, deverá ter continuado seu movimento no meio que está acima deste plano, através de uma distância igual a CB****, produzindo sua onda esférica particular de acordo com o que tem sido já dito. Esta onda é representada aqui pela circunferência SNR cujo centro é A e cujo semidiâmetro NA é igual a CB".*
>
> *Considerando-se em seguida os outros pontos H da onda AC, nota-se que eles não apenas terão chegado à superfície AB por retas HK paralelas a CB, mas além disso terão gerado ondas esféricas particulares do centro K, no diáfano, representadas aqui pelas circunferências cujos semidiâmetros são iguais a KM, quer dizer, às continuações de HK até a reta BG paralela a AC".*

Em seguida Huygens argumenta:

> *"Mas todas as circunferências têm por tangente comum a linha reta BN, isto é, a linha que é tangente de B ao primeiro desses círculos, do qual A é o centro e NA o raio igual a BC, como é fácil de ver.*
>
> *A linha BN (compreendida entre B e o ponto N onde cai a perpendicular do ponto A) é, por assim dizer, formada por todas essas circunferências, e limita o movimento que se faz pela reflexão da onda AC; e é também o lugar onde esse movimento se encontra em quantidade bem maior do que em qualquer outro. É por isso, segundo o que foi explicado, que BN é a propagação da onda AC no momento em que o ponto C estiver chegado a B. Pois não existe outra linha que, como BN, seja tangente comum a todos os acima citados círculos, a não ser BG, abaixo do plano AB – a qual seria a propagação da onda se o movimento tivesse podido propagar-se em uma maneira homogênea à qual está acima do plano. […].*

Finalmente, Huygens conclui:

> *Ora daqui surge que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. Pois sendo os triângulos ACB e BNA retângulos, e tendo o lado AB comum e o lado CB igual a NA, segue-se que os ângulos opostos a esses lados serão iguais, e portanto também os ângulos CBA e NAB. Mas como CB, perpendicular a CA, indica a direção do raio incidente, também NA, perpendicular à onda BN, marca a direção do raio refletido; portanto, esses raios estão igualmente inclinados em relação ao plano AB."*

Huygens conclui dizendo que os raios incidentes e refletidos estão igualmente inclinados em relação ao plano *AB*. Neste caso eles estarão também igualmente inclinados em relação à normal ao plano e, portanto, o ângulo θ_1 que o raio incidente faz com a normal é igual ao ângulo θ_1' que o raio refletido faz também com a normal, ou seja:

$$\theta_1 = \theta_1' \qquad \textit{lei da reflexão}$$

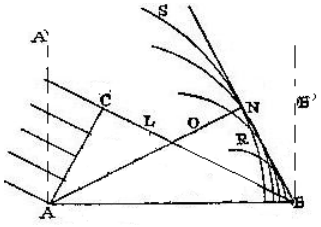


Figura 6 – Reflexão da luz. Adaptação da figura anterior.

Em seguida, Huygens mostra também que os raios incidente e refletido estão sempre no mesmo plano perpendicular ao plano refletor, ou seja, o raio refletido está contido no plano formado pelo raio incidente e a normal. Podemos nos convencer disto usando argumentos de simetria ou se lembrarmos que a construção de Huygens é tridimensional e que os arcos representam segmentos de superfícies esféricas.

A lei da reflexão e o princípio do percurso mínimo (ou da trajetória mais curta)

Uma maneira completamente diferente de se obter a lei da reflexão, e cuja importância será discutida mais adiante, juntamente com o princípio de Fermat e de Maupertuis, é aquela proposta por Heron de Alexandria, que viveu entre 150 a.C e 250 d.C (provavelmente no século II a.C.). De acordo com a ideia de Heron, "um raio de luz que passa por dois pontos, havendo-se refletido entre eles, o faz de tal modo que o trajeto seja o mais curto possível" [Schurmann, P. F., *Historia de la Fisica*, v. 1], para o qual o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Vejamos o que diz o próprio Heron, no seu *Catóptrica* [Yousgrau, W. and Mandesltam, S., *Variational Principles in Dynamics and Quantum Teorie*. New York. Dover Publications. 1968, p. 5]:

> *"Praticamente todos os que escreveram sobre dióptrica e óptica estavam em dúvida porque os raios provenientes de nossos olhos são refletidos por espelhos e porque as reflexões são em ângulos iguais. Agora, a proposição de que nossa visão se dirige em linhas retas provenientes dos olhos pode ser justificada da seguinte forma. Qualquer coisa que se mova com velocidade contínua move-se em linha reta.... Em razão da força propulsora, o objeto em movimento luta para percorrer a distância mais curta possível, pois ele não tem tempo para movimento mais lento, isto é, para movimento numa trajetória mais longa. A força propulsora não permite tal retardo. E assim, em razão de sua velocidade, o objeto tende a mover-se na trajetória mais curta. Mas a mais curta de todas as linhas, tendo o mesmo ponto final, é a linha reta.***…. Agora pela mesma razão, isto é, por uma consideração da velocidade da incidência e da reflexão, nós provaremos que estes raios são refletidos a iguais ângulos no caso dos espelhos plano e esférico. Para nossa prova, devemos novamente fazer uso das linhas de mínimo.*** **(Tradução livre)**

Na época de Heron, o método usado pelos filósofos para fazer demonstrações teóricas era o método geométrico, o que perdurou até pelo menos o século XVII. A metodologia usada por Huygens, por exemplo, no seu *Tratado sobre a luz*, como dissemos, foi ainda essencialmente geométrica. Se, entretanto, usarmos os recursos do cálculo diferencial e integral, inventado no século XVII, veremos que a lei da reflexão pode ser obtida do princípio de Heron de forma extremamente simples. Para isto, considere a Figura 7 onde se vê um raio ligando dois pontos *A* e *B* passando pelo ponto *P*. O comprimento total do trajeto entre os pontos *A* e *B* é expresso por:

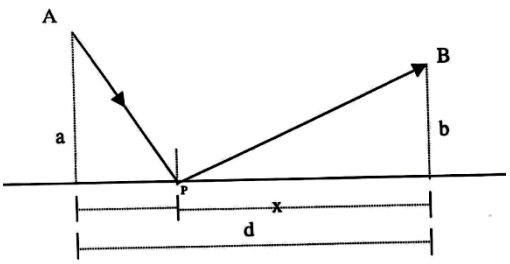


Figura 7 – Percurso mínimo e a reflexão da luz

$$l = \sqrt{(a^2 + x^2)} + \sqrt{[b^2 + (d\text{-}x)^2]}$$

De acordo com Heron, *P* terá uma posição tal que o tempo de percurso seja mínimo, ou seja, *l* deve ser um mínimo. Derivando a expressão para *l* e igualando a zero (condição de para achar o extremo da função) ficamos com:

$$x/\sqrt{(a^2 + x^2)} = (d - x) / \sqrt{[b^2 + (d - x)^2]}$$

Este resultado pode ser expresso também em termos dos ângulos θ_1 e θ_2, que os raios incidentes e refletidos, respectivamente, fazem com a normal ao plano:

$$\text{sen}\theta_1 = \text{sen}\theta_2 \qquad \rightarrow \qquad \theta_1 = \theta_2 \qquad \text{que é a lei da reflexão}$$

Como já foi dito, uma discussão mais extensa, introdutória, dos **princípios variacionais** será feita posteriormente, mas acreditamos que a dedução da lei da reflexão da luz pelo princípio de Heron, neste momento, permite uma melhor comparação dos métodos usados até aqui. É claro que este resultado poderia ter sido obtido igualmente a partir princípio do tempo mínimo, de Fermat, já que poderíamos ter minimizado o tempo, e não o percurso, escrevendo: $t=l/c$. É importante salientar, entretanto, que a condição de percurso mínimo, de Heron, não fornecerá a lei da refração. Para isto será necessário o princípio do tempo mínimo de Fermat, conforme veremos adiante.

Apêndice 4 – Texto Complementar 4

A LEI DA REFRAÇÃO

J. F. M. Rocha

Aspectos históricos e experimentais

A refração, em Óptica, é um fenômeno que resulta da mudança da velocidade da luz quando esta atravessa a superfície de separação de dois meios transparentes de propriedades ópticas diferentes. Se a incidência for oblíqua e os meios isotrópicos, o fenômeno de refração evidencia-se por um desvio sofrido pela luz ao atravessar tal superfície de separação. Se um dos meios não for isotrópico (como é o caso da calcita), a luz pode não mudar de direção mesmo com incidência oblíqua e pode mudar de direção mesmo com incidência normal. Os meios isotrópicos são aqueles em que as propriedades físicas ou físico-químicas independem da direção em que são observadas. O termo "refratar" tem origem na palavra latina *refractu* que significa "quebrado".

A refração da luz era pouco conhecida pelos antigos. Platão, em *A República* (Livro X: "E os mesmos objetos parecem tortos ou inteiros consoante os olhamos na água ou fora dela,…"), e também Aristóteles, ambos no século IV a.C., mencionam o quebrar aparente de objetos parcialmente imersos em água, mas não explicam o fenômeno. Outros, como os matemáticos Euclides (século III a.C.), Heron de Alexandria (século II a.C.) e o filósofo, nascido na Síria, Posidonio Rodio (133-49 a.C.) fazem também referências à refração da luz. Parece, entretanto, ter sido o astrônomo e filósofo grego Cleomedes (século I a.C.) o primeiro a estudar seriamente o fenômeno da refração. Ele se refere, por exemplo, ao já conhecido experimento da moeda. Neste experimento, quando uma moeda é colocada no fundo de um recipiente vazio e olhada por uma das bordas deste recipiente, de modo que fique oculta para um observador, tornar-se-á visível para este observador, por refração, ao se colocar água no recipiente. Cleomedes afirmava também que, por esta mesma razão (refração da luz), podemos ver o Sol, após estar abaixo do horizonte. Ele conhecia também o fato de que o feixe de luz se aproxima da perpendicular de uma superfície de separação de dois meios quando passa do meio menos denso (em geral, menos refringente) para o mais denso (em geral, mais refringente) e reciprocamente, sem, contudo, dar explicações do porquê isto acontece. É na obra de Cláudio Ptolomeu (85-165 d.C.), relativa aos fenômenos ópticos, que vamos encontrar os conceitos mais perfeitos e os cálculos mais exatos referentes à Ótica, na Antiguidade, isto, certamente, devido ao seu método basicamente experimental de abordagem

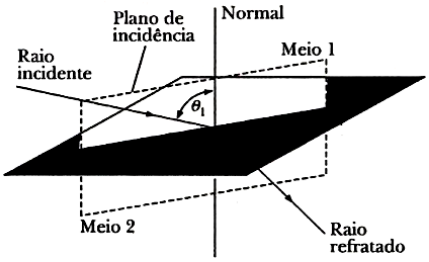


Figura 1 – Refração da luz

dos fenômenos. Ptolomeu procurou dar uma base científica à sua obra, e a física experimental da Antiguidade tem nos seus resultados, o seu ponto mais alto. Pela primeira vez, é realizada uma tentativa de se estudar analiticamente o fenômeno da refração, através da construção de tabelas de índices de refração na passagem da luz do ar para água, do ar para o vidro e da água para o vidro. Seus resultados, especialmente a sessenta graus de incidência, são bastante aproximados (vide Tabela 1, para o caso ar-água).

Ao formular suas tabelas, Ptolomeu notou também que, para ângulos pequenos, a relação entre os mesmos permanece constante, não conseguindo, entretanto, chegar à expressão correta da *lei dos senos da refração*. ([35]) Por volta de 1038 d.C., o já citado físico e matemático iraquiano Al-Hazen corrige algumas deduções de Ptolomeu, sobre refração, mas também não chega a uma expressão matemática geral para este fenômeno.

Tabela 1 – *Resultados Experimentais de Ptolomeu comparados com os valores corretos (em graus).*

Resultados de Ptolomeu		**Resultados calculados p/** n=1,33 **Lei de Snell**
Ângulo de Incidência	Ângulo de Refração	Ângulo de Refração
10	8	7,5
20	15 ½	14,9
30	22 ½	22,1
40	29	28,9
50	35	35,2
60	40 ½	40,6
70	45 ½	44,9
80	50	47,8

Em 1604, Kepler tentou estabelecer relações trigonométricas para explicar o fenômeno da refração, sem sucesso, tendo chegado, entretanto, à expressão aproximada $\theta_i - \theta_r = k_1\theta_i + k_2/\cos\theta_r$, onde k_1 e k_2 são constantes.

A lei para o fenômeno da refração só seria obtida algum tempo depois por, independentemente, Thomas Hariot, Willebrord Snell e René Descartes. Segundo Chalmers, os manuscritos discutidos por Shirley que estão no Museu Britânico mostram que o inglês Thomas Hariot descobriu experimentalmente a lei da refração por volta de 1616, embora não a houvesse divulgado. O matemático holandês Willebrord Snell também a descobriu experimentalmente, entre 1621 e 1625, pois ela foi mencionada nos seus manuscritos (hoje perdidos), mas, da mesma forma, não a divulgou, e até hoje não está muito clara a maneira como chegou à mesma. E René Descartes, a partir de seus trabalhos teóricos, foi, com certeza, o primeiro a publicar a lei dos senos, em 1637, tendo escrito esta lei na forma que a conhecemos hoje[23]. Pierre de Fermat, por volta de 1661, num trabalho teórico, anunciado numa carta a de La Chambre (Marin Cureau) ("que o senhor pode ver em folha separada"), datada de 1º de janeiro de 1662, com pressupostos conflitantes com os resultados de Descartes, também deduziu a lei dos senos, além de ter deduzido também a lei de reflexão, como já foi citado. No seu Tratado de Máximos e Mínimos, Fermat afirmou [Schurmann. P. E., *Historia de la Fisica*. Buenos Aires: Editorial Nova, 1945]:

[35] A origem da trigonometria é incerta, mas sua fundação geralmente se atribui a Hiparco de Nicéia, por volta de 140 a.C. Até o século XVI, foi usada, principalmente na Astronomia e na Geometria, só tendo sido aplicada à Óptica a partir do século XVII. O termo trigonometria significa medida das partes de um triângulo.

> *Para demonstrá-la [referindo-se à lei da refração de Descartes] tem sido necessário apoiar-se no postulado de que o movimento da luz se efetua mais facilmente e com maior velocidade nos meios densos que nos meios rarefeitos. Porém este postulado parece em contradição com o bom senso. Partindo do princípio oposto temos caído na lei de Descartes. Nossa demonstração se apoia no postulado que afirma que a natureza se conduz pelos caminhos mais fáceis e não por linhas mais curtas.*

A descoberta da chamada lei de Snell-Descartes foi um dos grandes momentos da Óptica. Sua divulgação abriu a porta para a Óptica aplicada contemporânea, ao permitir a compreensão de como os raios de luz são defletidos ao atravessar a fronteira entre dois meios, isto é, ao atravessar um dioptro. Já em 1647, o matemático italiano B. Cavalieri aplicava a lei da refração ao estudo da trajetória dos raios nos diversos tipos de lentes. A matemática existente na época já permitia demonstrar também o fenômeno de *reflexão total*, descoberto por J. Kepler, em 1611. Neste, a luz, viajando na direção de um meio de índice de refração mais baixo (do vidro para o ar, por exemplo), e incidindo na superfície entre os dois meios em ângulo oblíquo, é desviada de tal forma que nenhum raio o atravessa e são todos refletidos**.** Snell e outros, contudo, não foram capazes de explicar *por que*, na refração, a luz se desvia, o que seria feito por Christiaan Huygens ao sugerir, em 1678, que o índice de refração de qualquer meio é determinado pela velocidade com que a luz o atravessa, sendo que essa velocidade é alterada na passagem da luz de um meio para outro. O índice de refração, entretanto, não depende só das propriedades do meio, mas, também, da própria cor da luz. Sua dependência com a cor seria encontrada pelo físico inglês Isaac Newton, ao descobrir mais uma propriedade básica da luz, qual seja: a de que a luz branca é uma mistura heterogênea de todas as cores.

No que diz respeito aos aspectos experimentais, da mesma forma que no estudo da reflexão, o fenômeno da refração é ilustrado através de muitos experimentos simples, qualitativos e quantitativos, de onde se pode obter experimentalmente a lei da refração da luz.

A lei da refração e o modelo de partícula

Em 1637, Descartes obteve teoricamente a lei da refração expressa aqui na forma:

$$\text{sen}\theta_i / \text{sen}\theta_r = n = v_r / v_i$$

que prevê uma velocidade maior nos meios mais densos, ou mais refringentes. A seguir veremos como ele modelou seu problema para obter este resultado. Antes, porém, devemos dizer que a dedução teórica da lei da refração apresentada por Descartes, em 1637, traz consigo um fato curioso. Apesar de o mesmo considerar a luz como pressão propagada instantaneamente num meio sutil permeando todo o espaço (ele pensava a luz como sendo similar à pressão num líquido), a dedução da lei da refração no Discurso Segundo de sua *Dióptrica*, ele a faz a partir de um modelo corpuscular para a luz (hipótese balística ou de emissão), embora ele próprio não aceitasse essa ideia!

Na dedução de Descartes algumas hipóteses são feitas. De acordo com A. Assis, em nota de rodapé da *Óptica*, de Newton (p. 85), Descartes supõe que cada um dos

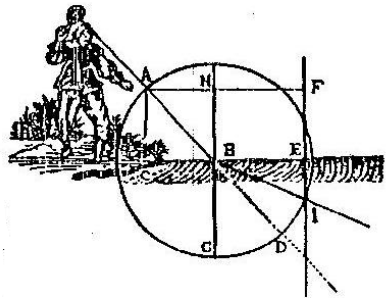


Figura 2 – No modelo corpuscular primitivo, um raio penetrando num meio com velocidade menor teria a trajetória *ABI*. Figura de *La Dioptrique*, de Descartes.

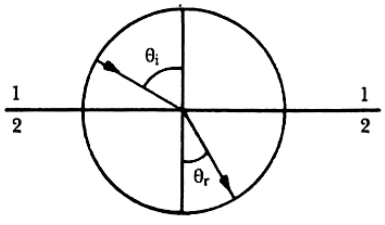


Figura 3 – Representação para o raio refratado

corpúsculos que compõem o raio, ao chegar à interface dos dois meios de densidade diferentes, é arremessado violentamente em direção ao meio mais denso por uma pancada normal à superfície de separação. Aqui Descartes fez uma analogia com uma bola de tênis, sofrendo uma raquetada abrupta. A questão a ser respondida agora é: como se alteram as componentes da velocidade, neste caso. Com base na suposição da pancada normal à superfície, podemos dizer que a componente normal da velocidade dos corpúsculos aumenta (Figura 3), mas a componente tangencial da velocidade não muda, de onde se pode concluir que $v_i \text{sen}\theta_i = v_r \text{sen}\theta_r$.

Além disso, Descartes admite que a velocidade *total* e não o componente normal da velocidade é aumentada ou diminuída numa razão constante pela pancada, para qualquer θ_i, isto é, $v_r = nv_i$, onde n é a constante característica do par de meios (o índice de refração), v_i a velocidade total antes da reflexão e v_r a velocidade total depois da refração. De acordo ainda com Assis, muitos não entenderam a dedução de Descartes e acharam que ele tivesse feito a hipótese de que a componente normal e não a velocidade total aumentasse a uma razão constante o que teria levantado a suspeita de que Descartes formulou de outro modo a lei correta da refração que havia sido obtida experimentalmente por Snell e da qual ele teria tido conhecimento.

Com essas duas hipóteses, a lei da refração de Descartes pode ser escrita da seguinte forma:

$$(\text{sen}\theta_i / \text{sen}\theta_r) = n = v_r / v_i \qquad (?)$$

A expressão $(\text{sen}\theta_i/\text{sen}\theta_r) = n$ é conhecida como lei de Snell-Descartes. Se a luz passa do meio menos denso para um mais denso, o ângulo de refração é menor que o de incidência e, neste caso, a velocidade da luz deveria ser maior nos meios mais densos: $v_r > v_i$! (Ver também *Theories of Light* de A. I. Sabra, pp 93-116 e 124)

Descartes não especificou as razões pelas quais a raquete poderia aumentar a velocidade *total* e não a componente *normal* da velocidade, numa razão constante. Esta falta de esclarecimento fez com que muitos não entendessem a sua dedução, achando que ele tinha suposto $v_r \cos\theta_r = nv_i \cos\theta_i$ e não $v_r = nv_i$, o que, naturalmente, não levaria à dedução da lei da refração.

Newton foi bastante influenciado pela *Dióptrica* de Descartes, tendo aceitado o modelo de forças normais à superfície de separação para explicar a reflexão e a refração, assim como a ideia de que a componente tangencial não se altera.

É possível modificar ligeiramente as hipóteses de Descartes para chegar ao resultado correto da lei da refração ($n = v_i/v_r$), fazendo uso ainda modelo corpuscular da luz. [Whittaker, E., *A History of the Theories of Aether and Electricity*. New York: Humanities Press, 1973]**.** A ideia é supor que seja alterada não a componente tangencial da velocidade, mas sim a componente tangencial do momento linear dos corpúsculos de luz. Além disso, é admitido que o momento linear total dos corpúsculos é aumentado ou diminuído a uma razão constante qualquer que seja θ_i, isto é, $p_r = np_i$. É claro que, fisicamente, as características dos meios seriam expressas agora pela razão entre os momentos e não mais entre as velocidades.

Portanto, se a componente tangencial do momento não é alterada, podemos escrever:

$$\text{sen}\theta_i / \text{sen}\theta_r = n = p_r / p_i$$

mas $p = h/\lambda = hf/v$

então $\text{sen}\theta_i / \text{sen}\theta_r = n = v_i / v_r$ *CQD*

No meio mais denso $\theta_i > \theta_r$ e, consequentemente, $v_i > v_r$.

Outro resultado interessante poderia ser obtido, voltando-se às equações anteriores: $p_i \operatorname{sen}\theta_i = p_f \operatorname{sen}\theta_f$ e $p=h/\lambda$. A partir destas equações podemos escrever:

$$(1/\lambda_i) \operatorname{sen}\theta_i = (1/\lambda_f) \operatorname{sen}\theta_f$$

Multiplicando ambos os membros por *c/f*, obtemos:

$$(c/f)/\lambda_i) \operatorname{sen}\theta_i = (c/f)/\lambda_f) \operatorname{sen}\theta_f$$

Como $v=\lambda f$, então

$$(n_i) \operatorname{sen}\theta_i = (n_f) \operatorname{sen}\theta_f \qquad \text{onde } (c/v_i) = n_i \text{ e } (c/v_f)=n_f$$

Combinando com a equação anterior dada por

$$p_i \operatorname{sen}\theta_i = p_f \operatorname{sen}\theta_f$$

obtemos finalmente

$$n_i / n_f = n_{fi} = p_f / p_i \quad !$$

quando $n_{fi} > 1, \qquad p_f > p_i$

Experiências diversas feitas desde a época de Foucault (1850) mostram que quando $n_{fi} > 1$, a velocidade de propagação de fato se reduz no meio de transmissão, apesar de o momento aumentar, o que sugere aumento de massa efetiva do fóton![36]. Sobre o aumento da massa efetiva do fóton ver referência Eugene Hecht, p. 130 ([Hecht, E., *Óptica*, Rio de Janeiro. Fundação G. Gubenkian, p. 130]; [Tangherlini, F. R., "On Snell's Law and the Gravitational Deflection of Light", *Am J. Phys*. 36, 1001 (1968]; e Houston, R. A., "Nature of Light". *J. Opt. Soc Am* 55, 1186 (1965)]).

Novamente devemos dizer que esta abordagem é demasiado simples e tem interesse apenas pedagógico. Além disso, não foi feita aqui nenhuma referência à probabilidade que um fóton tem de seguir uma dada trajetória [Ver também Hecht, E., *Óptica*. Lisboa. Fundação C. Gulbenkian. 1991, p. 130]. E não fez referência à estrutura atômica do meio.

A lei da refração e o modelo de onda

No seu "Tratado sobre a luz", Huygens obteve a lei da refração a partir do seu modelo ondulatório, a qual mostraremos que é expressa na forma:

$$\operatorname{sen}\theta_i / \operatorname{sen}\theta_r = n = v_i / v_r$$

No seu modelo, ele supõe uma velocidade menor nos meios mais densos, ao contrário do modelo de Descartes que prevê uma velocidade maior em meios mais densos. Veremos, a seguir, como Huygens obteve esse resultado.

Depois de discutir como concebe a **transparência** dos corpos, Huygens diz (*Tratado sobre a luz*, p. 32):

---

[36] Às partículas de luz pode ser atribuída uma massa efetiva equivalente à sua energia. A massa que é associada com as várias formas de energia tem as mesmas propriedades geralmente atribuídas à massa, tais como inércia, peso, contribuição à localização do centro de massa de um sistema, etc. Na página 127, do livro "Teoria da Relatividade Especial", R. Gazzinelli mostra, usando o princípio da conservação do momento, que a massa inercial (não a massa de repouso) correspondente à energia E de um fóton é dada por $m=h\nu/c^2$, resultado que pode ser obtido considerando um núcleo de massa M em repouso num estado excitado e que depois passa para o estado fundamental pela emissão de um raio γ. Em seguida, Gazzinelli mostra que também é consistente com a teoria da relatividade que um fóton de massa inercial m tem massa gravitacional m e que a evidência experimental confirma essa hipótese.

"Passemos agora à aplicação dos efeitos da refração, supondo, como o fizemos, a passagem de ondas de luz através dos corpos transparentes, e a diminuição de velocidade que essas ondas aí sofrem.

A principal propriedade da refração é a seguinte: se um raio de luz, como AB está no ar, e cai obliquamente sobre a superfície polida de um corpo transparente como FG, ele se quebra no ponto B de incidência, de modo que faz um ângulo CBE (com a reta DBE que corta a superfície perpendicularmente) menor do que o ângulo ABD (que fazia com a mesma reta quando estava no ar). E a medida desses ângulos é encontrada descrevendo um círculo de centro B, que corta os raios AB e BC. Pois as perpendiculares AD e CE traçadas nos pontos de intersecção sobre a reta DE (as quais são chamadas senos dos ângulos ABD e CBE) possuem entre si uma certa razão que é sempre a mesma em todas as inclinações do raio incidente, para um corpo transparente determinado. No vidro ele é muito próxima de 3 para 2, na água muito próxima de 4 para 3 e assim é diferente em outros corpos diáfanos"

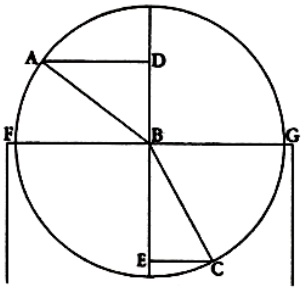


Figura 4 – Extraída do "Tratado sobre a Luz", de Huygens.

Em seguida, Huygens passa a explicar "as razões desses fenômenos", segundo seus princípios. No que segue tomaremos a Figura 5, extraída do "Tratado sobre a Luz", como referência. Nela a reta *AB* representa uma superfície plana limitando dois corpos transparentes e a reta *AC* representa uma onda plana.

Em um certo intervalo de tempo, o ponto *C* terá avançado até o plano *AB*, seguindo a reta *CB*. Ao mesmo tempo o ponto *A* chegaria a *G* pela reta *AG*, igual e paralela a *CB* e toda a parte da onda *AC* estaria em *GB*.

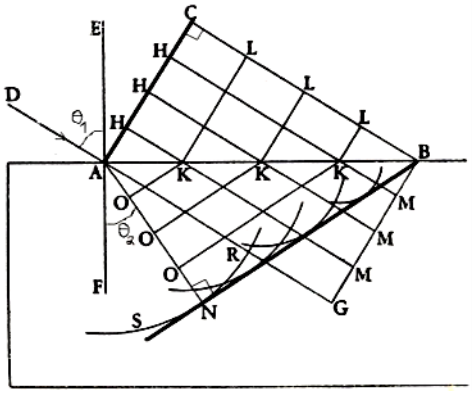


Figura 5 – Extraída do "Tratado sobre a luz", de Huygens. As linhas AC e NB foram escurecidas para destacar a mudança de direção dos raios.

Mas, como vimos, Huygens supõe que a velocidade da onda é menor no meio que se encontra abaixo de *AB*, então a onda se espalhará desde o ponto *A* por uma distância menor, proporcional a sua velocidade nesse meio ([37]). Essa onda é representada pela circunferência *SNR*, cujo centro é *A*. Se considerarmos depois outros pontos *H* da onda *AC* ocorrerá que, ao mesmo tempo em que o ponto *C* chegou a *B*, eles não somente terão chegado à superfície *AB*, mas terão gerado, dos centros *K*, ondas particulares representadas na figura por circunferências cujos raios são proporcionais a velocidade da onda no meio e todas essas circunferências possuem por tangente comum a linha reta *BN* que é a propagação da onda *AC* no momento em que seu lugar *C* chegou a *B*.

As considerações acima permitem-nos dizer que a frente de onda *AC* deu origem à frente de onda refratada *NB*. Como o tempo necessário para a luz percorrer a distância $d_1=CB$, no meio 1, é igual ao tempo para percorrer a distância $d_2=NA$, no meio 2, e se v_1 e v_2 (ou v_i e v_r) são as velocidades nos meios 1 e 2 então

$$t=d_1/v_1 = d_2/v_2$$

Mas, pela Figura 5, os triângulos *ACB* e *ANB* dão:

$$d_1=dist(AB)\ sen\theta_i \qquad \text{e} \qquad d_2 = dist(AB)\ sen\theta_r$$

[37] "[…] se a matéria do corpo transparente transmitisse esse movimento da onda tão depressa quanto o éter. Mas suponhamos que ele transmite esse movimento menos velozmente, então a onda se espalhará desde o ponto *A* por uma distância menor, proporcional a sua velocidade nesse meio." [Huygens, *Tratado sobre a Luz*].

logo

$$\text{sen}\theta_1 / \text{sen}\theta_2 = n = v_1 / v_2$$

Este resultado é diferente daquele obtido pelo modelo corpuscular, onde $n = v_r / v_i$, como já foi anunciado.

Apesar de Huygens não ter considerado ondas periódicas, vejamos que relação poderíamos estabelecer entre o comprimento de onda de uma onda periódica e a lei da refração.

No caso de ondas periódicas de comprimento de onda λ, a distância d_1 seria igual a $n\lambda_1$ e a distância d_2 seria igual a $n\lambda_2$ (sendo n um número natural) e, neste caso,

$$d_1/d_2 = n\lambda_1/ n\lambda_2 = \lambda_1/\lambda_2$$

e

$$\text{sen}\theta_1 / \text{sen}\theta_2 = n = v_1 / v_2 = \lambda_1/\lambda_2$$

ou

$$sen\theta_i / sen\theta_r = n = v_i / v_r = \lambda_i/\lambda_r$$

A penúltima equação pode ser reescrita na forma:

$$(1/v_1)\ \text{sen}\theta_1 / = (1/v2)\ \text{sen}\theta_2$$

Se multiplicarmos ambos os membros por c e definirmos o índice de refração (absoluto) por $n=c/v$, então:

$$n_1\ sen\theta_1 = n_2\ sen\theta_2$$

A Lei da refração e o princípio do tempo mínimo de Fermat

Para melhor compreender a gênese do princípio do tempo mínimo, de Fermat, vamos tomar como marco o ano de 1637, data de publicação da obra de Descartes, intitulada *La Dioptrique*, na qual está deduzida a lei refração da luz. Logo após a divulgação desse livro, Fermat fez um estudo da dedução realizada por Descartes e identificou vários pontos com os quais não concordava e os comunicou por carta ao mesmo. Descartes reagiu com vigor às críticas de Fermat[38]. Mas Fermat não ficou só nisso. Ele insistiu nas críticas trocando cartas com outros filósofos, mesmo após a morte de Descartes, em 1650. Suas correspondências revelam que ao longo de mais de duas décadas, Fermat esforçou-se para demonstrar que uma das consequências importantes da dedução de Descartes, isto é, a de que a luz viaja mais rápido nos meios mais densos, estava errada. Foi nesse processo que Fermat terminou descobrindo que a lei da refração poderia ser deduzida a partir de um novo princípio, por ele formulado, o princípio do tempo mínimo.

Fermat e outros filósofos do século XVII conheciam (mesmo que alguns não a aprovassem) a noção de que a Natureza age pelas vias mais curtas, uma ideia que remonta à Grécia antiga. Fermat percebeu que este princípio permitia obter a lei da reflexão, mas não a da refração e, visando adequá-lo para este propósito, ampliou o princípio admitindo que a natureza age pelas vias mais curtas e mais fáceis. A referência explicita ao tempo já se encontra numa carta ao filósofo cartesiano de la Chambre (Marin Cureau), datada de 1657. Diz Fermat [Barros M. A., *Uma análise histórica do princípio de Fermat e suas implicações*

[38] Nessa época, mas não só nessa época, era comum os filósofos ou cientistas se comunicarem por cartas, em razão das longas distâncias que geralmente os separavam e essas cartas terminaram por se constituir em uma rica fonte de informações sobre muitas descobertas científicas.

no ensino da reflexão e refração da luz. http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0424-1.pdf. Acesso em 01.03.2011]:

> "Com efeito, do mesmo modo que ao especular sobre os movimentos naturais dos graves, Galileu mede as razões destes tanto pelos tempos que pelo espaço, do mesmo modo, não consideraremos o espaço ou as linhas mais curtas, mas aquelas que podem ser percorridas o mais comodamente e no tempo o mais curto"

Para Fermat, portanto, a luz, ao se propagar de um ponto para outro, o faz pelo caminho para o qual o tempo de percurso é mínimo, mesmo que, para isso, tenha de desviar-se relativamente ao caminho mais curto.

Mas é em outra carta enviada a de la Chambre, em 1º de janeiro de 1602, que Fermat anuncia a dedução da lei da refração, a partir do princípio do tempo mínimo [Moreira, I. de C., *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 21, nº 1, Março, 1999, p. 175].

> *"Mas o prêmio do meu trabalho foi extraordinário, o mais imprevisto e o mais feliz que já me aconteceu. Porque, depois de ter passado por todas as equações, multiplicações, antíteses e outras operações de meu método, e de haver por fim concluído o problema – que o senhor pode ver em folha separada -, encontrei que meu princípio fornecia justa e precisamente a mesma proporção das refrações que Descartes havia estabelecido. Fiquei tão surpreso com um evento tão inesperado que a custo sai de meu espanto. Repeti minhas operações algébricas diversas vezes e sempre o sucesso foi o mesmo, ainda que minha demonstração suponha que a passagem da luz pelos corpos densos seja mais difícil que nos corpos menos densos, o que eu creio ser muito verdadeiro e indisputável, embora Descartes suponha o contrário".*

O recurso matemático usado por Fermat para sua dedução da lei da refração foi o **método de achar máximos e mínimos**, inventado por ele mesmo. Nós não reproduziremos os passos de Fermat. Faremos uso aqui do cálculo diferencial e integral, inventado logo depois da morte de Fermat, o que ocorreu em 1665. Fermat formula o problema nos seguintes termos: [Barros M. A., *Uma análise histórica do princípio de Fermat e suas implicações no ensino da reflexão e refração da luz*. [http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0424-1.pdf. Acesso em 01.03.2011].

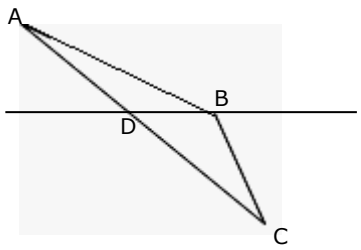


Figura 6 – Ilustração da citação de Fermat.

> "Dados dois pontos *A* e *C* e a reta *DB*, devemos encontrar um ponto na reta *DB* a qual se conduz as retas *CB* e *BA*, sendo que para minimizar o tempo, a luz busca percorrer uma trajetória maior no meio menos denso, no qual tem velocidade maior (*AB*) e inversamente percorre uma trajetória menor no meio mais denso, onde terá uma velocidade menor (*BC*). O ponto *B* encontrado pela construção deste problema será o ponto onde se fará a refração"

Considerando que o tempo para a luz viajar de *A* para *C* seja dado por (ver figura)

$$t = (l_1/v_1) + (l_2/v_2)$$

podemos usar o *princípio do tempo mínimo*, para achar o valor de x, expresso em termos dos parâmetros dados, que minimiza a função *t=t(x)* (ver figura). Devemos ter, então:

$$dt/dx = d\{(1/v_1)\sqrt{(a^2+x^2)} + [(1/v_2)\sqrt{[a^2+(d-x)^2]}\}/dx = 0$$

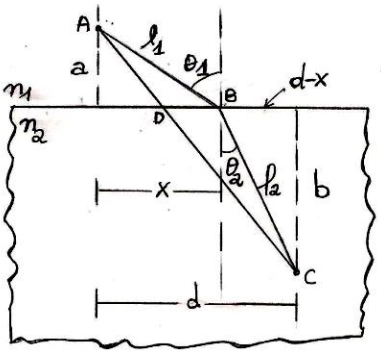


Figura 7 – Fermat e o tempo mínimo.

que resulta em:

$$(1/v_1)\,[x/\sqrt{(a^2+x^2)}] = (1/v_2)\,[(d-x)/\sqrt{[a^2+(d-x)^2]}]$$

ou, pela figura:

$$(1/v_1)\,sen\theta_1 = (1/v_2)\,sen\theta_2$$

Definindo o índice de refração absoluto por $n=c/v$, onde c é a velocidade da luz no vácuo, teremos:

$$n_1\,sen\theta_1 = n_2\,sen\theta_2 \qquad \textit{lei da refração}$$

Por outro lado, se multiplicarmos ambos os lados desta equação $t=(l_1/v_1)+(l_2/v_2)$ por c, obtemos:

$$ct = n_1\,l_1 + n_2\,l_2$$

onde o produto nl, do índice de refração pela distância percorrida, denomina-se *caminho óptico*. Como c é constante, minimizar o tempo equivale a minimizar o *caminho óptico*, e este é um resultado importante.

A dedução de Fermat recebeu severas críticas dos cartesianos, especialmente do filósofo Clerselier. Para este [Moreira, I. de C., *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 21, nº 1, Março, 1999, p. 176]**:**

> "tratar-se-ia de um princípio moral e não físico, de natureza teleológica e, portanto, inaceitável na ótica cartesiana. O princípio colocaria também a natureza em uma indecisão. Por que ela não seguiria a trajetória mais curta, a reta, se segue as vias mais curtas e simples? Qual seria o caminho mais simples: o mais rápido ou o mais curto? E como a natureza sabe o caminho a escolher? E o raio de luz, estando já no ar, como poderá saber para onde se inclinar se meios diferentes (água ou vidro) forem colocados na sua frente?"

A crítica desenvolvida por Clerselier ao princípio do tempo mínimo pode ser enquadrada dentro das críticas da época à ideia das *causas finais*, uma ideia essencialmente metafísica. A ideia de *causas finais* remonta a Grécia antiga e foi usada por Aristóteles em diversas situações, como, por exemplo, na sua cosmologia, onde a causa final do movimento de um corpo pesado seria a de chegar ao centro do universo. A ideia de causas finais em Aristóteles estava associada a um princípio de simplicidade ou economia, de acordo com o qual a natureza realiza seus fins da forma mais simples possível. A física do século XVII, entretanto, criticou e abandonou o uso da ideia de causas finais. Mas há exceções, como é o caso de G. W. Leibniz (1646-1716) que, segundo Silva e Martins [Silva, A. P. B. da e Martins, R. de A., *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, no. 4, p. 625-633, (2007)] defendia a existência de dois modos independentes de se estudar a física: através das *causas eficientes*, analisando o modo como os efeitos são produzidos; ou através das causas finais. Para Leibniz, a natureza seguiria os caminhos mais simples e econômicos, o que permitia associar a existência de máximos e mínimos às causas finais.

Finalmente, devemos salientar que desde o século XVIII (pelo menos), já se sabia que não existe um princípio de tempo mínimo. D'Alembert (1717-1783), por exemplo, escreveu na *Enciclopédia*: "Vimos no artigo *Causas finais* que o princípio do tempo mínimo falha na reflexão sobre os espelhos côncavos". De fato, o princípio de Fermat precisa ser corrigido. Note que na dedução da lei da refração feita acima anulamos a derivada e isto, por se só, não garante que o valor obtido para x seja aquele que minimiza a função; este poderia ser um mínimo, um máximo ou um ponto de inflexão. O enunciado correto do princípio de Fermat é que o caminho óptico é *estacionário* (e não mínimo) em relação a pequenas variações. Isto significa que quando comparado com caminhos próximos, os desvios são de segunda ordem, conforme pode ser inferido da expressão abaixo, obtida por desenvolvimento em série da função $f=f(x)$:

$$\Delta f = f(x_o+\Delta x) - f(x_o) = (1/2!)\,f'''(x_o)\,(\Delta x)^2 + \ldots$$

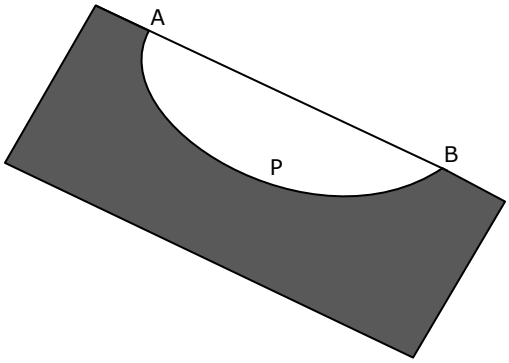
Apêndice 4 – Texto Complementar 5

A ÓPTICA E O PRINCÍPIO DE MÍNIMA AÇÃO DE MAUPERTUIS

J. F. M. Rocha

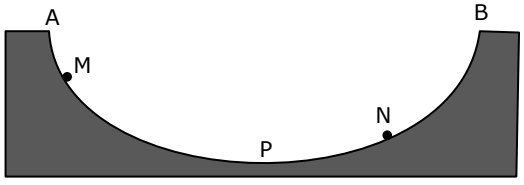
Laboratório: *A Óptica e o princípio de mínima ação, de Maupertuis*

1. ***O problema da braquistócrona.*** Usando uma peça de madeira (110 cm x 38 cm) na qual foram feitos dois caminhos (trilhos) diferentes entre os pontos A e B, conforme mostra a figura, verificar o que ocorre quando duas esferas metálicas, de mesmas características, são largadas do ponto A no mesmo instante.



Qual o caminho (curva) através do qual um corpo descendo de A para B levará o menor tempo possível?

2. ***O problema da tautócrona***. Repetir a experiência com a peça de madeira colocada agora conforme a figura abaixo e largando as esferas simultaneamente dos pontos M e N localizados em alturas diferentes.



Partindo de M e N, no mesmo instante, com velocidades iniciais iguais a zero, qual corpo chegará primeiro ao ponto P?

3. **Problema**: ***Como traçar a cicloide?*** Com a ajuda de um objeto de forma circular e um lápis, trace uma cicloide num papel.

A Óptica e o princípio da mínima ação

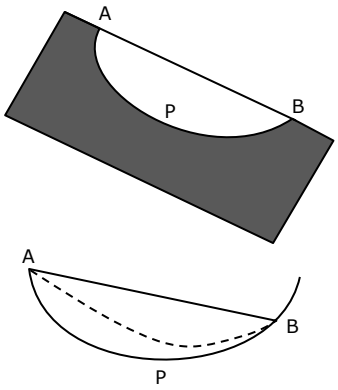


Figura 1 – Ilustração do problema da braquistócrona

Algumas vezes, as ideias de Heron e de Fermat são consideradas precursoras de um poderosíssimo princípio da Física, surgido no século XVIII, proposto pelo matemático e físico francês Pierre L. M. Maupertuis (1698-1759), conhecido como *princípio da mínima ação*, no qual se estabelece que, na natureza, a *ação*, isto é, o produto da quantidade de movimento pelo caminho percorrido é igual a um mínimo. Nosso propósito agora é mostrar a gênese e desenvolvimento desse princípio e sua relação com a óptica. Antes de fazê-lo, porém, vamos relacionar os experimentos que podem motivar a discussão desse princípio, atendendo assim o propósito inicial de um estudo com base fenomenológica. O primeiro deles é o experimento da ***braquistócrona*** (*braquisto/crono* – menor/tempo)**.** Ele consiste em verificar o que ocorre quando duas esferas metálicas, de mesmas características, são largadas de um mesmo ponto (altura) no mesmo instante. As esferas devem percorrer dois caminhos (trilhos) diferentes entre os pontos A e B, conforme mostra a Figura 1. (A peça de madeira mede 110 cm x 38 cm). A pergunta a ser respondida é: Qual o caminho (curva) através do qual um corpo descendo de A para B levará o menor tempo possível?

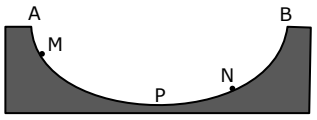


Figura 2 – Ilustração do problema da tautócrona

O segundo é o experimento da ***tautócrona*** (*tauto/crona* – igual/tempo). A experiência anterior deve ser repetida com a peça de madeira colocada agora conforme a Figura 2 e largando as esferas simultaneamente dos pontos M e N localizados em alturas diferentes. A pergunta a ser respondida agora é a seguinte: Partindo de M e N, no mesmo instante, com velocidades iniciais iguais a zero, qual corpo chegará primeiro ao ponto P?

Finalmente, é proposto o exercício de ***traçar uma cicloide*** numa folha de papel com a ajuda de um objeto de forma circular e um lápis.

Ao final dos experimentos é esclarecido que a curva através da qual um corpo descendo de A para B levará o menor tempo possível é uma cicloide, isto é, a braquistócrona deste problema é a cicloide. Ser *braquistócrona* significa ser a curva de descida mais rápida entre dois pontos A e B, a alturas diferentes, num plano vertical.

Como a cicloide tem a propriedade de ser também *tautócrona*, então os corpos chegarão ao mesmo tempo, mesmo percorrendo distâncias diferentes, partindo de alturas diferentes, conforme se observa no experimento, já que a curva APB foi construída na forma exata de uma cicloide!

A cicloide e o problema da braquistócrona – um pouco de história

A curva denominada cicloide é uma das mais famosas da Matemática. Muitas propriedades curiosas, além das já citadas, foram descobertas no século XVII. Galileu, por exemplo, foi um dos matemáticos que se interessaram pelas propriedades da cicloide. Ele tentou comparar a área de um círculo com a área determinada por um arco de cicloide e a reta sobre a qual rodou o círculo. Para isto recortou as figuras da cicloide e do círculo (que lhe deu origem) em madeira e, pesando-as, encontrou que a área da cicloide é (praticamente) 3 vezes a área do círculo – no que estava correto – mas conjeturou que tinha de ser π vezes a área do círculo. Logo em seguida, o francês Roberval e o italiano Torricelli, este discípulo de Galileu, mostraram que tal área era exatamente 3 vezes a área do círculo, para surpresa de Galileu!.

Foi Huygens que, ainda o século XVII, descobriu ter a cicloide a propriedade de ser *tautócrona.* A propriedade da cicloide de ser *braquistócrona* foi descoberta por Jehann

Bernoulli, que a anunciou através de um desafio aos matemáticos, publicado no mês de junho de 1696, na primeira revista matemática, denominada *Acta Eruditorium*, que tinha sido fundada por Leibniz. Nas próprias palavras de Jehann Bernoulli [Ozamiz, M. de G., *Aventuras Matemáticas*, Editora Gradiva, Lisboa, 1986.]**:**

> *"Convidam-se os matemáticos a resolver*
>
> *UM NOVO PROBLEMA*
>
> *Dados os pontos A e B num plano vertical, determinar para uma partícula móvel M o caminho AMB ao longo do qual, descendo pelo próprio peso, ela vai do ponto A ao ponto B no tempo mais breve possível.*
>
> *Para estimular, nos amantes de tais trabalhos, o desejo de encontrar a solução desse problema, pode assinalar-se que a questão proposta não consiste, como poderia parecer, numa mera especulação sem utilidade alguma. Contra o que se pensaria à primeira vista, tem grande utilidade noutros ramos da ciência, tais como a mecânica. Entretanto, para evitar qualquer juízo prematuro, pode fazer-se notar que, embora a linha reta AB seja com certeza a mais curta entre os pontos A e B, não é o caminho percorrido em tempo mínimo. No entanto, a curva AMB, cujo nome eu darei se ninguém o descobrir até o final deste ano, é uma curva bem conhecida dos geômetras".*

Leibniz, que era o editor dessa revista, resolveu o problema no mesmo dia, mas como outros matemáticos importantes da época não tomaram conhecimento do mesmo no prazo estipulado por Bernoulli, então Leibniz convenceu este a prolongar o prazo e enviar o problema por carta "aos matemáticos mais argutos que florescem em todo o orbe". Leibniz previu que este problema seria resolvido por Jakob Bernoulli, irmão mais velho de Johann, Newton, Huygens e pelo marquês de l'Hospital (ele não sabia que Huygens havia falecido em 1695). Ao que parece, Newton resolveu o problema também no mesmo dia em que o recebeu.

O germe do *Cálculo das Variações*

A solução dada por Johann Bernoulli ao problema da *braquistócrona* foi baseada no princípio do tempo mínimo de Fermat e foi considerada muito engenhosa. Na verdade, este problema genial formulado por Johann Bernoulli, em 1695, foi provavelmente inspirado no Princípio de Fermat e se tornou um clássico na física-matemática. Mas a solução mais profunda foi aquela dada por Jakob Bernoulli a qual se constituiu no germe de um novo ramo da análise matemática, denominado por Leonard Euler, num trabalho apresentado à Academia de Berlim, em 1756, de *cálculo das variações*, e que teve um grande papel no desenvolvimento do formalismo matemático da Mecânica (Mecânica Analítica) e da Física de modo geral.

O Princípio de Ação (ou Princípio de Ação Estacionária)

O princípio de Fermat, assim como o princípio de *percurso mínimo* de Heron, que lhe antecedeu, e o princípio de *ação mínima* de Maupertuis, que lhe sucedeu, são uma versão científica de uma espécie de *princípio de economia da natureza*, que seria própria da Natureza, conforme nos indica Rosmorduc [Rosmorduc, J., *De Tales a Einstein- História da Física e da Química*. Lisboa, Editorial Caminho, 1983].

Tal princípio de economia aparece em várias formas em Aristóteles a exemplo da afirmação: "*A natureza nada faz inutilmente"*. Aparece nos trabalhos de Leonardo da Vinci (1452-1519) e também nas obras de outros filósofos importantes. Em Leonardo da Vinci

pode-se ler: *"A natureza, para realizar um ato toma sempre o caminho mais curto"*. **[**Rosmorduc, p. 40**]** Estas são apenas duas citações, mas outras tantas existem. Tal noção de economia da natureza, entretanto, não é mais que a tradução filosófica de um certo número de observações, a exemplo da constatação de que a água corrente numa encosta segue o caminho mais curto que lhe for possível tomar.

No início do século XVIII, os cientistas tinham muitos exemplos de que a natureza otimiza algumas quantidades importantes. Havia indícios da existência de um princípio geral segundo o qual toda **dinâmica** de um sistema físico ocorre na otimização de algo: seja o tempo, a distância, a velocidade ou outras grandezas físicas. O problema passou a ser então o de investigar se havia algo **universal** cuja otimização quantitativa fosse capaz de reger todas as dinâmicas. Um dos primeiros a responder a este questionamento genérico foi o cientista francês Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) que propôs, por volta de 1744, um princípio fundamental da Física que ficou conhecido como *Princípio de Ação Mínima* o qual implica na minimização do produto da *quantidade de movimento, mv*, e a *distância percorrida, s*, ao que ele chamou de *ação, A=mvs*. Se a velocidade não for constante e o caminho percorrido for uma curva, a ação de Maupertuis é obtida pela integral

$$A=\int mvds$$

Na verdade, conforme se pode ver no seu artigo de 1744 ([39]), Maupertuis inicialmente definiu *ação* como o produto da velocidade pelo caminho percorrido e só depois é que *ação* foi escrita como o produto da quantidade de movimento pelo caminho percorrido. Vejamos o que diz Maupertuis no seu artigo de 1744:

> *"Falta explicar agora o que entendo por quantidade de ação. Quando um corpo é levado de um ponto a outro é necessário para isto uma certa ação. Esta ação depende da velocidade que o corpo tem e do espaço que percorre, mas ela não é nem a velocidade nem o espaço tomados separadamente. A quantidade de ação será tanto maior quanto maior for a velocidade do corpo e quanto maior for o caminho percorrido. Ela é proporcional a soma dos espaços multiplicados cada um pela velocidade com a qual o corpo os percorre. É essa quantidade de ação que é aqui o verdadeiro dispêndio da Natureza e o que ela economiza o mais possível no movimento da luz."*

A descoberta de Maupertuis foi inspirada certamente na polêmica que se seguiu aos trabalhos de Fermat e Descartes. Conforme salienta Whittaker [Whittaker, E., *A History of the Theories of Aether and Electricity*. New York: Humanities Press, 1973]**,** os argumentos da teoria corpuscular da luz, abraçados por Descartes e outros convenceram Maupertuis que, neste particular, Descartes estava certo, mas ele desejava preservar para a ciência o belíssimo método pelo qual Fermat deduziu seus resultados. Com este objetivo, ele modificou o princípio de Fermat para que o mesmo concordasse com a teoria corpuscular (ou física newtoniana) e, ao invés de supor que a luz segue a trajetória mais rápida ele supôs que

> *"a trajetória descrita é aquela para a qual a quantidade de ação é mínima".*

Esta ação ele definiu ser proporcional à soma dos espaços descritos, cada um multiplicado pela velocidade com que ele é atravessado. Ao invés de escrever a expressão de Fermat

$$\int dt \text{ ou } \int ds/v$$

---

[39] Maupertuis, P. L. M., *Mém. de lA'cad*. (1744), p. 417; P.L.M. Maupertuis, *Histoire de l'Académie Royale dês Sciences*, année M.DCCXLIV, avec les Memoires de Mathématique et de Physique tirez des Registres de cette Académie, 417 (1748). A tradução e análise desse trabalho foi feita por I. C. Moreira, Revista Brasileira de Ensino de Física, 21, 171 (1999)

onde ds é um elemento de trajetória, Maupertuis escreveu

$$\int v ds$$

como a quantidade que deve assumir o valor mínimo quando a trajetória de integração é a trajetória real da luz. **Note que a lei da refração pode ser deduzida a partir da expressão de Maupertuis, desde que o v de Maupertuis, que denota a velocidade da luz de acordo com a teoria corpuscular seja proporcional ao recíproco do v de Fermat, que denota a velocidade de acordo com a teoria ondulatória da luz**.[40] A lei da refração obtida por Maupertuis no citado artigo de 1744 é a mesma que a obtida por Descartes (com a velocidade maior nos meios mais densos).

Esta proposta de Maupertuis foi depois desenvolvida por ele mesmo e também por Euler e Lagrange. Ainda em 1744, Euler escreveu o princípio de ação mínima de Maupertuis na forma (m=constante)

$$\delta\int v ds = \delta\int v^2 dt = 0 \qquad \text{note que } ds=(ds/dt)dt, \text{ e } m=\text{const.}$$

Euler tem o reconhecimento de ter sido o primeiro a dar uma interpretação *dinâmica* ao princípio de Maupertuis, mas é a Lagrange que é dado o crédito de ter sido o primeiro a aplicá-lo à Mecânica. Entre 1760 e 1761, Lagrange, partindo das contribuições de Maupertuis e Euler, formulou o seu princípio de mínima ação, expresso na forma,

$$\delta\int T dt = 0 \qquad \text{com a integral sendo realizada entre os instantes } t_1 \text{ e } t_2$$

e o aplicou a um conjunto de partículas. Lagrange foi capaz inclusive de deduzir a segunda lei de Newton ao aplicar o Cálculo das Variações (desenvolvido entre 1750-1755) a seu princípio, com a condição adicional de que a energia total do sistema de partículas é constante (T+V=E).

Simeon-Denis Poisson considerava o princípio de mínima ação uma regra de caráter secundário mas, estudando as aplicações desse princípio à Mecânica, propôs uma modificação na chamada equação de Euler-Lagrange que tinha sido obtida em 1788 e que era estão escrita na forma $d/dt(\partial T/\partial(dq_i/dt) - \partial T/\partial q_i + \partial V/\partial q_i = 0$. Para isso, ele definiu a função L=T-V (algo como uma energia cinética *efetiva*), conhecida hoje como função lagrangeana, e reescreveu a equação de Euler–Lagrange em termos de L

$$d(\partial L/\partial(dq_i/dt)/dt - \partial L/\partial q_i = 0.$$

Em 1834, o físico e astrônomo irlandês Sir William Rowan Hamilton chegou à forma atual básica e mais usada do princípio variacional da Mecânica que ganhou a denominação de *princípio de Hamilton*

$$\delta A \text{ ou } \delta S = \delta\int (T-V)dt = 0 \qquad \text{entre os instantes } t_1 \text{ e } t_2$$

Tendo em conta que para alguns fenômenos na Natureza, a ação é maximizada ao invés de minimizada (o que já se sabia desde a época de Maupertuis), ele preferiu falar em p*rincípio de ação estacionária* ao invés de princípio de mínima ação.

Desde o início, Maupertuis tinha a percepção das raízes metafísicas de suas ideias e não considerava esta influência indevida, chegando a proclamar seu princípio de Lei Universal da Natureza e o considerava a primeira prova científica da existência de Deus. Outros princípios de conservação (da massa, da energia, da quantidade de movimento, etc.) também tiveram origens semelhantes, atingindo apenas gradualmente uma formulação científica clara.

Vemos, portanto, que o problema da baquistócrona foi inspirado nos princípios variacionais de tempo mínimo ou de percurso mínimo, aplicado aos fenômenos de reflexão e

[40] Na sua dedução Fermat tinha formulado a hipótese de que as resistências (o inverso da velocidade da luz) dos meios mais densos eram maiores que as dos meios menos densos. (Ver Bassalo)

refração, o que pode ser inferido do fato de Johann Bernoulli conhecer o princípio de Fermat e de tê-lo usado na solução do problema da braquistócrona. Além disso, o problema da braquistócrona está na raiz da descoberta do chamado *cálculo das variações*, o qual se constitui um instrumento indispensável para resolver os problemas mais gerais formulados com base no princípio de mínima ação. Finalmente, a analogia óptico-mecânica descoberta por Hamilton, em 1834, pode ser posta em termos dos princípios de Fermat, onde caminho óptico entre dois pontos P_o e P_1 é estacionário e expresso por $\delta\int nds=0$, e de Moupertuis, em que o análogo dessa propriedade para trajetórias na mecânica clássica é expressa por $\delta\int pds=0$.

O Princípio de Mínima Ação e a 2ª. Lei de Newton

Considere a função L (chamada lagrangeana) das variáveis de movimento de um sistema conservativo constituído por uma partícula em movimento em uma direção x, sujeita a um potencial $V(x)$.

$$L \equiv T\text{-}V, \qquad L = L(t, x(t), x_t(t)), \qquad x_t(t) \equiv dx(t)/dt$$

$$E = T+V, \qquad E = (m/2)(x_t(t))^2 + V(x(t))$$

A integral no tempo da lagrangeana do sistema entre dois instantes t_1 e t_2 é denominada ação S do sistema:

$$\mathbf{S} = \int L\, dt \qquad S = \int [(m/2)(x_t(t))^2 - V(x(t)]\, dt \qquad \text{entre } t_1 \text{ e } t_2$$

O problema de minimizar a ação S é diferente do problema de minimizar a função $f(x)$, porque o argumento da grandeza S consiste em uma função e não em número como ocorre com $f(x)$. Note que S é uma função de função, S é dito ser um funcional:

Argumento	**Função**	**Funcional**
x (número)	$f(x)$ (um número)	
$x(t)$ (função)		$S(x(t))$ (um número)

Minimização do funcional *S*

Para minimizar o funcional S, vamos partir de um fato conhecido do cálculo diferencial e integral em que a primeira derivada de uma função se anula num ponto em que tal função tem um extremo. Este resultado do cálculo, junto com teorema de Taylor, que diz como uma função analítica $f(x)$ pode ser expandida em torno de um ponto x_o, nos ajudará nesta demonstração. De acordo com este teorema:

$$f(x_o + \Delta x) = f(x_o) + (1/1!)\, f'(x_o)\, \Delta x + (1/2!)\, f''(x_o)\, \Delta x^2 + \ldots$$

Se x_{ex} é um ponto em que $f(x)$ é um extremo, então $(1/1!)\, f'(x_e)\, \Delta x = 0$ e ficamos com

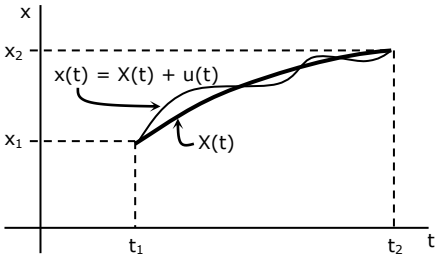
$$f(x_{ex} + \Delta x) - f(x_{ex}) = (1/2)\, f''(x_{ex})\, \Delta x^2 + \ldots$$

Este resultado é importante e ele nos diz que, quando o argumento se desloca de um valor Δx em relação a um ponto extremo, a função não sofre nenhum acréscimo da ordem de Δx, qualquer acréscimo é de segunda ordem ou ordem superior!

Similarmente ao caso do extremo da função, suporemos que a função *X(t)* que otimiza o funcional *S* seja conhecida. Neste caso, qualquer outra função

$$x(t) = X(t) + u(t)$$

que for substituída no lugar de *X(t)* tira o funcional *S* da sua situação de otimização, mas o funcional não sofrerá acréscimo proporcional à função $u(t)$. A figura seguinte mostra os movimentos possíveis da partícula.



Uma partícula sujeita a um potencial $V(x)$ está na posição x_1 no instante t_1 e x_2 no instante t_2. A função $X(x)$ que descreve o movimento é tal que a ação *S* da partícula no intervalo (t_1,t_2) é mínima.

Considere então o funcional

$$S = \int (T\text{-}V)\, dt \;=\; \int [(m/2)\,(x_t(t))^2 - V(x(t))]\, dt \qquad \text{integral entre } t_1 \text{ e } t_2$$

onde

$$T = (m/2)\, x_t^2 = (m/2) X_t^2 + m\, X_t\, u_t + (m/2)\, u_t^2$$

$$V = V(X) + V'u + V''u^2/2 + \ldots$$

Considerando que se pretende analisar apenas os incrementos proporcionais a *u*, podemos desprezar u^2 e u_t^2, o que resulta em:

$$S = S_X + \int [(m/2)\, X_t\, u_t\,]\, dt - \int V'u\, dt \qquad \text{integrais entre } t_1 \text{ e } t_2$$

onde $$S_X = \int [\,(m/2)\, X_t^2 - V'(X)\,]dt \qquad \text{integrais entre } t_1 \text{ e } t_2$$

A integral $\int [(m/2) X_t\, u_t]\, dt$ pode ser resolvida por partes (ver tabela de integrais). Logo:

$$\int [(m/2)\, X_t\, u_t]\, dt = X_t\, u - \int m\, X_{tt}\, u\, dt \qquad \text{integrais entre } t_1 \text{ e } t_2$$

Note que $X_t\, u = X_t\, u_t + X_{tt}\, u$

Mas $u(t_1)$ e $u(t_2)$ são pontos fixos, o que significa que $u(t_1) = u(t_2) = 0$. Sendo assim:

$$S = S_X - \int (X_{tt} + V')\, u\, dt \qquad \text{integral entre } t_1 \text{ e } t_2$$

Mas o termo proporcional a *u* deve ser nulo, logo qualquer que seja a forma desta função isto só será possível se

$$X_{tt} + V' = 0 \qquad \text{ou} \qquad d^2X/dt^2 = -V' = F \qquad \text{CQD}$$

Esta equação mostra que o movimento descrito por *X(t)* que otimiza a ação é exatamente a segunda lei de Newton.

Apêndice 4 – Texto Complementar 6

A VISÃO EM CORES E OS MODELOS DE ONDA E PARTÍCULA

J. F. M. Rocha

Aspectos Históricos

O problema da dicotomia onda ou partícula se estendeu também ao estudo do sentido da visão, inclusive da visão em cores, conforme mostraremos a seguir. Neste texto confrontaremos a ideia sugerida por Newton de que a luz é um corpúsculo que provoca vibrações no éter com a visão de T. Young de que a luz é uma onda no próprio éter.

A PRIMEIRA TENTATIVA de explicar o fenômeno das cores com base no modelo ondulatório da luz foi feita por Robert Hooke, na década de 1660. O modelo de Hooke, entretanto, não era o de ondas periódicas e sim o de *pulsos* (termo usado por Hooke). A primeira proposta de uma teoria ondulatória das cores, com base num modelo ondulatório periódico, foi formulada por Newton. Ele analisou a possibilidade de um modelo desse tipo ao discutir possíveis interpretações das cores do espectro e isto foi feito em um artigo publicado no *Philosophycal Transaction,* em 1672. Nesse artigo, Newton escreve ([41]):

> *"Se de alguma maneira essas* ***[vibrações do éter]*** *de diferentes grandezas forem separadas uma da outra,* ***a maior*** *[maior comprimento de onda, em nossa linguagem]* ***gerará essa sensação de uma cor vermelha, e a menor ou mais curta de um violeta profundo, e as intermediárias de cores intermediárias****, do mesmo modo que os corpos, de acordo com seus diferentes tamanhos, formas e movimentos excitam no ar vibrações de diferentes grandezas que, de acordo com essas grandezas produzem vários tons no som".*

Nesse parágrafo, como se vê, Newton considera que as vibrações do éter, de diferentes grandezas, poderiam gerar as sensações de diferentes cores. Para Newton, aspectos ondulatórios associados ao éter seriam necessários para explicar as cores e também outros fenômenos ópticos, mas a luz propriamente dita seria como corpúsculo, como está sugerido nas famosas *Questões*, apresentadas no final da *Óptica*, publicada em 1704. Para ele, haveria uma interconexão entre a luz, o éter e a matéria ordinária, sendo que o éter e suas ondas e vibrações seriam os intermediários entre a luz e a matéria.

Nas *Questões 12, 13, 16, 23 e 29*, por exemplo, Newton discute o sentido da visão e da visão em cores. Na *Questão 12*, ele sugere uma explicação para o sentido da visão a partir da hipótese de que a incidência dos **raios de luz ([42]) sobre o fundo do olho excitava vibrações**

---

[41] Newton, I. *Mr. Isaac Newton answer to some consideration upon his doctrine of light and colors*. *Philosophical Transaction*, 7:5084-103, p. 5088] [Martins, R. de A., Nota de Rodapé, p. 21 do *Tratado sobre a Luz* de Christiaan Huygens. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Suplemento 4/1986.

[42] Newton diz o que entende por raios de luz: "Entendo por raios de luz, as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas" [*Óptica*, p. 39, *Definição I*].

na retina. Essas vibrações se propagariam ao longo das fibras sólidas dos nervos ópticos para o cérebro gerando o sentido da visão. Em suas próprias palavras:

> *"**Questão 12.** Os raios de luz, ao incidir sobre o fundo dos olhos, **não excitam vibrações na túnica retina?** Vibrações essas que, propagando-se ao longo das fibras sólidas dos nervos ópticos para o cérebro, geram o sentido da visão? Pois como corpos densos conservam o seu calor por um longo tempo e os corpos mais densos conservam o seu calor por maior tempo, as vibrações das suas partes são de natureza duradoura e, portanto, podem propagar-se ao longo das fibras sólidas da matéria densa uniforme até uma grande distância para transmitir ao cérebro as impressões produzidas em todos os órgãos dos sentidos. […]"*

Na *Questão 13*, Newton sugere que as vibrações do éter, de várias grandezas, que excitam sensações de várias cores, poderiam ser produzidas pelas várias espécies de raios de luz. A *Questão 13* é formulada nos seguintes termos:

> *"**Questão 13. As várias espécies de raios não podem produzir vibrações de várias grandezas que, de acordo com suas grandezas, excitam sensações de várias cores,** da mesma maneira que as vibrações do ar, de acordo com suas várias grandezas, excitam sensações de vários sons? E, particularmente, não excitam os raios mais refratáveis as vibrações menores para produzir uma sensação de violeta vivo e escuro, **e os menos refratáveis as maiores, para produzir uma sensação de vermelho vivo e escuro**? E as várias espécies intermediárias de raios não excitam vibrações de várias grandezas intermediárias para provocar sensações de várias cores intermediárias?".*

Na *Questão 29*, Newton admite que **para a variedade de cores ser produzida bastaria que os raios de luz fossem corpos de tamanhos diferentes**, os menores dos quais poderiam produzir o violeta a mais fraca e a mais escura das cores, e ser mais facilmente desviados da trajetória reta pelas superfícies refratoras; e os restantes, à medida que se tornassem cada vez maiores, poderiam produzir as cores mais fortes e mais lúcidas:

> ***"Questão 29. […]** Para se produzir toda a variedade de cores e graus de refringência, basta que os raios de luz sejam corpos de tamanhos diferentes**, os menores dos quais podem produzir violeta, a mais fraca e a mais escura das cores, e ser mais facilmente desviados da trajetória reta pelas superfícies refratoras; e os restantes, à medida que se tornam cada vez maiores, podem produzir as cores mais fortes e mais lúcidas (azul, verde, amarelo e vermelho) e ser desviados cada vez mais dificilmente. […]"***

Para Newton, as vibrações excitadas **decorreriam da pressão exercida pela luz** no fundo do olho da mesma forma que a pressão e movimento do dedo em qualquer canto dos olhos de uma pessoa no escuro ver um círculo de cores quando move o olho em direção oposta ao dedo. Na *Questão 16*, ele escreve:

> ***Questão 16.** Quando um homem no escuro pressiona qualquer canto dos olhos com o dedo e move o olho em direção oposta ao dedo, vê um círculo de cores como as da pena da cauda de um pavão. Se o olho e o dedo permanecem quietos, essas cores desaparecem em um segundo, mas, se o dedo for impulsionado com um movimento vibratório, elas reaparecem. Não resultam as cores desses movimentos excitados no fundo do olho pela pressão e movimento do dedo, como em outras vezes são ali excitados pela luz para provocar a visão? E não continuam os movimentos, uma vez excitados, durante aproximadamente um segundo antes de cessarem? E quando um homem vê um lampejo de luz por uma batida no seu olho, não são esses movimentos excitados na retina pela batida? E quando uma brasa, movida rapidamente até formar a circunferência de um círculo, faz a circunferência completa aparecer como um círculo de fogo, não é porque os movimentos excitados no fundo dos olhos pelos raios de luz são de natureza duradoura e continuam até que a brasa, girando, retorne ao seu lugar anterior? E, considerando a duração dos movimentos excitados no fundo dos olhos pela luz, não são eles de natureza vibratória?*

Na *Questão 23*, após comentar sobre o meio etéreo em questões anteriores, Newton volta a se referir ao sentido da visão, fazendo um paralelo com o sentido da audição. Ele sugere que a visão é causada principalmente pelas vibrações desse meio etéreo excitadas no fundo do olho pelos raios de luz, da mesma forma que a audição seria uma decorrência das vibrações desse ou de algum outro meio, excitadas nos nervos auditivos pelas vibrações do ar:

> *A visão não é causada principalmente pelas vibrações desse meio excitadas no fundo dos olhos pelos raios de luz e propagadas através dos capilares sólidos, transparentes e uniformes dos nervos ópticos para o lugar da sensação? E não é a audição uma decorrência das vibrações desse ou de algum outro meio, excitadas nos nervos auditivos pelas vibrações do ar e propagadas através dos capilares sólidos, transparentes e uniformes desses nervos para o lugar da sensação? E assim para os demais sentidos.*

Em meados do século XVIII, Leonard Euler também se interessou pelo problema de explicar a cores, tendo formulado uma teoria ondulatória da luz baseada na propagação de ondas em meios elásticos e inspirada principalmente no Livro II dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* e não no livro *Óptica*, de Newton. (Ver Bassalo, J. M. F., *Crônicas da Física*, Tomo 2, p. 581). Nessa teoria, apresentada em 1746, ele defendeu a ideia de que as cores dependia do comprimento de onda da luz. Apesar da importância dos trabalhos de Euler e de outros, a *Óptica* de Newton, ao longo do século XVIII, foi o livro de referência de muitos cientistas ou filósofos que se interessavam pelo estudo dos fenômenos luminosos.

No início do século XIX, entretanto, as ideias newtonianas passaram por uma profunda revisão. Após analisar cuidadosamente a obra de Newton, Thomas Young destacou várias passagens dessa obra que serviam de apoio a uma nova teoria da luz e cor que ele mesmo estava desenvolvendo. No seu trabalho *On the Theory of Light and Colours*, na parte em que trata da sensação de diferentes cores como consequência de diferentes frequências de vibração excitadas na retina pela luz **(**[43]**)**, Young assumiu explicitamente (divergindo de Newton) que "a luz radiante consiste de ondulações do éter" [Young, 1801, *Proposição IX*, p. 44]. Ele fez isso após considerar provável que o movimento da retina fosse de natureza ondulatória e não de natureza vibratória, como Newton admitia. [Young, 1801, p. 20]. ([44]) Ao assumir esta posição, Young afastou-se conscientemente das ideias newtonianas de que as vibrações produzidas na retina pelos corpúsculos de luz, não eram propriamente vibrações da luz, mas sim vibrações produzidas pela luz, tendo o éter como intermediário.

Embora tenha se apoiado nos trabalhos de Newton, Young reconheceu que havia diferenças importantes entre suas ideias e as de Newton, especialmente no que dizia respeito à constituição da luz:

> *"[...] É claramente assegurado por Newton que haja ondulações, embora ele negue que elas constituam luz; [...]"* [Young, 1801, p. 45]

A divergência entre Young e Newton em nada desmereceu seu trabalho, tendo a sua teoria ondulatória da luz e cores representado um passo adiante na explicação dos fenômenos luminosos, conforme veremos adiante.

---

[43] T. Young, *On the Theory of Light and Colours.* The Bakerian Lecture, 1801, pp. 18. Disponível em http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k55897m /f1.chemindefer.

[44] De acordo com Young, "uma ondulação é suposta consistir de um movimento vibratório transmitido sucessivamente através de diferentes partes de um meio", enquanto "o movimento vibratório é continuamente alternado para frente e para trás".

Apêndice 4 – Texto Complementar 7

ASPECTOS DE CORPÚSCULOS E DE ONDA NA TEORIA NEWTONIANA DA LUZ

J. F. M. Rocha

Já no século XVII, Newton considerava indispensáveis os aspectos de corpúsculo e de onda para explicar fenômenos tão diferentes quanto os de reflexão, refração, formação de cores em películas finas (explicada hoje em termos de interferência de ondas), difração (inflexão, como Hooke o chamava), etc. Esta percepção de Newton é um fato facilmente constatado em seus trabalhos, apesar de muitos, erroneamente, atribuirem-lhe a defesa de uma teoria puramente corpuscular para explicar os fenômenos luminosos.



Figura 1 – Isaac Newton (1642-1727)

Newton entrou na discussão sobre a natureza da luz – não de forma declarada – em 29 de fevereiro de 1672 (com 29 anos de idade), quando enviou à *Royal Society* seu primeiro trabalho para publicação, contendo sua *Nova Teoria sobre Luz e Cor*. Fazia então sete anos desde que Robert Hooke tinha publicado sua *Micrografia* (estudada por Newton) no qual descrevia fenômenos como aquele das cores em películas delgadas. Nela, Hooke defendia uma teoria para a luz e cor diferente daquela proposta por Newton no artigo citado e também defendia a ideia da luz como onda, ou seja, a ideia de que "a luz é produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo [o éter] e este movimento se propaga por impulsos ou ondas simples" (pulsos de pequenas amplitudes). Ao tomar conhecimento do artigo de Newton, Hooke criticou duramente seu conteúdo, entre outras razões, por Newton supostamente ter defendido a ideia da corporeidade da luz, isto é, ter concebido a luz como uma substância material (o que pode ser considerado uma hipótese mecânica para explicar as propriedades da luz).

As críticas de Hooke foram rebatidas por Newton através de outro artigo, publicado em 18 de novembro de 1672. Diz Newton ([3], [4]):

> *"É verdade que, em minha teoria, defendo a corporeidade da luz; mas eu o faço sem uma certeza absoluta, como a palavra talvez dá a entender; e o faço como não mais que uma consequência muito plausível da teoria, não como uma suposição fundamental …"*

E mais adiante Newton continua:

> *"Eu sabia que as propriedades da luz declaradas por mim eram, de certa forma, capazes de ser explicadas não apenas por essa, mas por muitas outras hipóteses mecânicas. Assim optei por declinar de todas elas e falar da luz em termos gerais, considerando-a abstratamente…"*

E, no parágrafo seguinte, Newton completa:

> *"Mas supondo que eu tenha proposto essa hipótese, (…) ela teria uma afinidade muito maior com a própria hipótese dele do que ele parece consciente; as vibrações do*

éter são tão úteis e necessárias nesta quanto na dele. Assim admito que os raios de luz sejam corpos pequenos, emitidos em todas as direções pelas substâncias brilhantes…".

Vê-se, portanto, que, já em 1672, Newton considerava os aspectos de partícula e de onda como necessários numa teoria que se propusesse a explicar os fenômenos luminosos, mesmo que os aspectos de onda viessem associados a um meio sutil e misterioso, o éter. Nessa época, Newton tinha pelo menos duas boas razões para não abraçar um modelo ondulatório, como o de Hooke e optar por um modelo corpuscular, sem negar as propriedades ondulatórias associadas aos fenômenos luminosos. A primeira decorria do fato experimental de fácil observação no nosso cotidiano de que a luz se propaga em linha reta (como se vê no caso de um feixe da luz do Sol atravessando uma sala empoeirada ou quando se examina a formação da sombra dos objetos), e isto não é o que geralmente se observa com as ondas. ([45]) A segunda decorria de uma descoberta que fizera ao estudar a dispersão da luz por um prisma, a partir de 1666. No estudo da dispersão, ele notou que as propriedades da luz – em especial a permanência da cor – se mantinham invariantes após a luz sofrer a primeira refração, isto é, ele notou que cada cor (homogênea) obtida por refração não se alterava, quaisquer que fossem as novas reflexões, refrações ou inflexões (difrações) a que os raios de luz fossem submetidos. A essas duas razões podemos acrescentar ainda uma outra, esta de ordem filosófica: Newton era atomista e a ideia de corpúsculo de luz era consistente com a filosofia atomista a qual procurava explicar os fenômenos da natureza a partir das ideias de vácuo, matéria e movimento. Ele tinha aderido ao atomismo de Demócrito, Epicuro e Lucrécio através das obras de Pierre Gassendi (1592-1655), que, juntamente com outras publicações da sua época, foram responsáveis pela retomada do atomismo na Europa, depois de séculos de esquecimento.

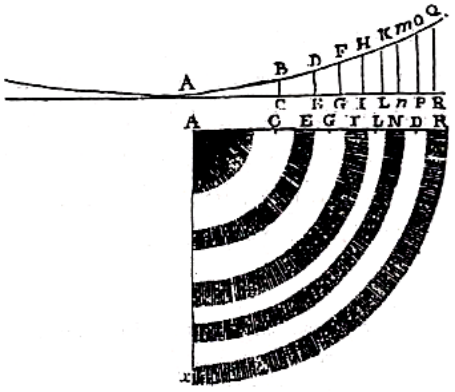
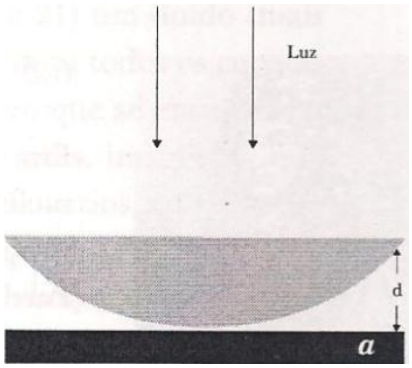


Figura 2 – Os "anéis de Newton". A figura acima foi publicada no artigo "Hypothesis of Light", de 1675. Aqui, *AHQ* representa a superfície de um vidro esfericamente convexo que está apoiado em um vidro plano *AIR*; *AIRQHA* é uma camada de ar entre os vidros. Estão também representados na figura os vários anéis que ele observa quando vê esses vidros por cima, sobre A.



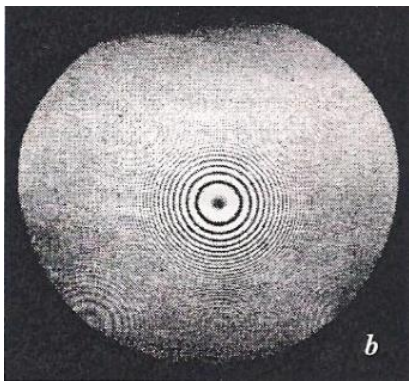


Figura 3 – Anéis de Newton obtidos a partir do arranjo mostrado em *a*.

A originalidade das concepções newtonianas relativas aos fenômenos luminosos pode ser melhor apreciada na Parte 3 do Livro II, da *Óptica* (p. 189), quando Newton se propõe a considerar o problema "das cores permanentes dos corpos e da analogia que há entre elas e as cores de lâminas transparentes delgadas", ou mais especificamente, se propõe a descrever o que ficou conhecido como os "anéis de Newton" (ver Figuras 2 e 3).

[45] Nos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Livro II, Seção VIII, Proposição 41, Teorema 32, p. 149 (relativa ao movimento propagado através de fluidos), publicado em 1686, Newton mostra que "uma pressão não se propaga através de um fluido em direções retilíneas exceto quando as partículas do fluido estão sobre uma linha reta". Também no Escólio ao final da Proposição 50, p. 165, Newton escreve: "Pois como a luz é propagada em linhas retas, é certo que ela não pode consistir apenas em ação" (pressão propagada num fluido). (Ver também a nota de *Apresentação* feita pelo tradutor do livro *Óptica*, de Newton, [5, p. 25])

Tais franjas coloridas já tinham sido observadas por Boyle, em 1663, mas foi Newton quem estabeleceu, com precisão, relações entre seus raios e a espessura da camada onde se formam. Para Nussenzveig, Newton "deu uma explicação *ondulatória* da sua origem, em termos de ondas que associava aos 'acessos de fácil reflexão e fácil transmissão' ([46]). Além disso, usou-os para medidas altamente precisas de comprimentos de onda da luz!" [7, p. 64].

O fenômeno das "cores em lâminas transparentes delgadas" está intimamente relacionado ao difícil problema de explicar porque parte da luz se reflete e parte se refrata ao chegar à interface entre dois meios (reflexão parcial da luz). Uma teoria corpuscular (clássica) tem dificuldades para explicar esse fenômeno, o que, como veremos mais adiante, não acontece com uma teoria ondulatória.[47] As dificuldades de uma teoria corpuscular ficam mais evidentes quando se tenta responder a seguinte questão: Se a luz é constituída de corpúsculos, o que "decidiria" se um certo corpúsculo seria refletido ou refratado? Conforme salienta Nussenveig, Newton percebeu essas dificuldades e para superá-la introduziu sua teoria dos acessos de fácil reflexão e fácil transmissão. Em tal teoria, Newton admite que na incidência do feixe de luz sobre uma superfície transparente uma onda ou vibração é iniciada num certo meio refrator ou refletor (um meio "muito mais sutil que o ar", o éter, que penetrava todos os corpos), a qual, viajando no mesmo sentido que os corpúsculos, pode ultrapassá-los sucessivamente, colocando-os em acessos de fácil reflexão ou fácil transmissão, predispondo-os a refletir ou refratar, numa outra superfície. Essas ondas etéreas associadas ao corpúsculo luminoso newtoniano nos fazem lembrar as propriedades ondulatórias associadas aos corpúsculos de luz introduzidos por Einstein no início do século XX, e também nos fazem lembrar a "onda fictícia associada" ao elétron, proposta por de Broglie no seu trabalho apresentado à Academia de Ciências de Paris, datado de 10 de setembro de 1923.

Na *Óptica*, Newton esclarece o que são os "acessos". Ele diz claramente que os acessos são uma certa constituição ou estado transitório do raio [5, p. 210]:

> *"Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, assume uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno o raio tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela"*

No segundo parágrafo adiante ele diz:

> *Esta reflexão e refração alternada depende de ambas as superfícies de cada lâmina, porque depende de suas distâncias. Pela Observação 21, se molharmos uma ou outra superfície de uma lâmina fina de moscovita [um tipo de mica], as cores produzidas por essa reflexão e refração alternada tornam-se mais fracas; portanto, elas dependem de ambas as superfícies.*

---

[46] Na definição do que são os "acessos" Newton usou o termo *fits*. Na página 278 da edição em inglês da *Óptica* [Newton, I, *Opticks*, Dover Publications, Inc. New York, 1979**],** Newton escreve**: "***Definition***. The returns of the disposition of any Ray to be reflected, I will call its Fits of easy Reflexion, and those of its disposition to be transmitted its Fits of easy Transmission, and the space it passes between every return and the next return, the Interval of its Fits".* Na língua inglesa, o termo *fit* é usado com significados diversos. Na área médica é usado para designar um ataque repentino, mas transitório, de algum tipo de doença; um acesso, um espasmo; Newton parece ter sido o primeiro a utilizá-lo com este significado em Óptica. O termo *fits* pode ser traduzido por "acessos", mas conforme o próprio Newton esclareceu, os *fits* são "estados transitórios" e foi o termo "estado" que André K. T. Assis preferiu ao traduzir a *Óptica* para o português. Assis traduz a *Definição* citada acima nos seguintes termos: [5, p. 210] *"Definição. Chamarei estados de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio para ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno e o retorno seguinte, intervalo de seus estados".*

[47] Se o feixe for intenso a teoria ondulatória clássica da luz não tem dificuldade para explicar o fenômeno das cores em películas delgadas, mas se o feixe for suficientemente fraco tem dificuldade, conforme se descobriu no século XX.

> *Assim ela se efetua na segunda superfície, pois caso se efetuasse na primeira, antes de os raios chegarem à segunda ela não dependeria desta última.*
>
> *Além disso ela é influenciada por alguma ação ou tendência propagada da primeira para a segunda, porque do contrário, na segunda, ela não dependeria da primeira. E essa ação ou tendência, em sua propagação, cessa e retorna a intervalos iguais, porque em toda a sua trajetória ela faz com que o raio a uma dada distância da primeira superfície tenda a ser refletido pela segunda, e a uma outra a ser transmitido por ela, isso a intervalos iguais e por uma mudança inumerável. […]*
>
> *Que tipo de ação ou tendência é essa, se consiste num movimento circular ou vibratório do raio, ou do meio, ou de alguma outra coisa, não o indago aqui. Aqueles que se negam a admitir quaisquer novas descobertas, exceto as que conseguem explicar por uma hipótese [reflexo das controvérsias que durante anos opuseram Newton a Hooke e a Huygens], poderão supor que, assim como as pedras ao cair na água conferem a esta um movimento ondulatório, e assim como todos os corpos produzem vibrações no ar por percussão, assim os raios de luz*[48]*, chocando-se com qualquer superfície refratora ou refletora, produzem vibrações no meio ou substância refratora ou refletora [o éter; ver Questão 18 da Óptica, de Newton] e, assim fazendo, agitam as partes sólidas do corpo refrator ou refletor e, agitando-o, fazem com que o corpo se torne morno ou quente; que as vibrações assim produzidas se propagam no meio ou substância refratora da mesma maneira que as vibrações se propagam no ar para causar o som e se movem mais rápido do que os raios, de modo a ultrapassá-los; e que, quando qualquer raio está naquela parte da vibração que contribui para o seu movimento, ele irrompe facilmente através de uma superfície refratora, mas quando está na parte oposta da vibração, que lhe impede o movimento, é facilmente refletido; e, por consequência, que todo raio tende sucessivamente a ser facilmente refletido ou facilmente transmitido por toda vibração que o ultrapassa. Mas se tal hipótese é verdadeira ou falsa é coisa que não considero aqui. Contento-me com a simples descoberta de que os raios de luz tendem alternadamente, por uma ou outra razão, a ser refletidos ou refratados por um grande número de mudanças regulares."*

Em seguida, na página 212, ele define:

> *"Chamarei estado [fit] de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio para ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados [fits] de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno e o retorno seguinte, intervalo de seus estados".*

Mais adiante, no Livro III, ao considerar que seu projeto ainda não estava concluído, Newton relaciona uma série de *Questões* "na expectativa de que uma pesquisa adicional seja feita por outros" [5, p. 250]. Tais *Questões* revelam muito do seu pensamento sobre os temas ali tratados, apesar de não se constituírem afirmações categóricas sobre os mesmos. Na parte final da *Óptica*, na *Questão 17*, ele volta ao assunto:

> *"**Questão 17**. Se uma pedra for lançada em água estagnada, as ondas assim excitadas continuam a surgir durante algum tempo no lugar onde a pedra caiu na água e dali se propagam em círculos concêntricos a grandes distâncias sobre a superfície da água. E as vibrações ou tremores excitados no ar continuam durante algum tempo a mover-se a grandes distâncias a partir do lugar de percussão em esferas concêntricas. E, de maneira semelhante, quando um raio de luz incide sobre a superfície de qualquer corpo transparente, e ali é refratado ou refletido, não podem as ondas de vibração, ou tremores, ser excitadas no meio refrator ou refletor no ponto de incidência e continuar a surgir ali e a se propagar por tanto tempo quanto continuam a surgir e a se propagar, quando são excitadas no fundo dos olhos*

[48] Newton concebe os raios de luz do seguinte modo: "Por raios de luz entendo as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas." [Newton, I. *Óptica*, Definição I, p. 39]. Note que Newton considera a luz abstratamente, sem afirmar que o corpúsculo de luz é corpóreo, material. Descobrir o que seriam as partes mínimas da luz continua a ser um grande desafio ainda hoje, quando se fala em fótons. Numa carta ao amigo Besso, em 1951, Einstein escreve: "Cinquenta anos de ponderação não me trouxeram mais próximo da resposta à pergunta: o que são os fótons? Hoje em dia qualquer um acredita que a conhece – mas se engana". ([8]; [9, p. 10])

> *pela pressão ou movimento do dedo ou pela luz que procede da brasa nas experiências mencionadas acima? E essas vibrações não se propagam a grandes distâncias a partir do ponto de incidência? E elas não ultrapassam os raios de luz, e, ao ultrapassá-los sucessivamente, não os colocam nos estados [fits] de fácil reflexão e fácil transmissão acima descritos? Pois se os raios se esforçam por afastar-se da parte mais densa da vibração, ele podem ser alternativamente acelerados e retardados pelas vibrações que os alcançam."*

Mas não é só Nussensveig – citado anteriormente – que vê aspectos ondulatórios e corpusculares na teoria newtoniana para explicar os fenômenos luminosos. Isto é afirmado também por outros estudiosos e cientistas importantes como é o caso de Thomas Young e Edmund Whittaker. Young foi um dos primeiros a mostrar isso claramente. Ele o fez, por exemplo, nas suas *Notas de Aula Sobre Filosofia Natural e Experimental*, de 1802, onde, no Item 378, começa afirmando que "desde o tempo de Empédocles e Aristóteles os filósofos têm-se dividido a respeito da natureza da luz". ([4]; [10, p. 114]) De acordo com Young, enquanto, de um lado, Empédocles e outros defendiam um sistema em que considerava a luz como uma emanação de partículas separadas, Aristóteles, de outro, considerava a luz um impulso transmitido através das partículas sucessivas de um meio contínuo, o que, no século XVII, foi assumido também, com várias modificações, por Descartes, Hooke e Huygens.

Mais adiante, Young diz textualmente ([4]; [10, p. 115]):

> *"Newton tentou combinar as duas teorias mas, para explicar os fenômenos mais gerais, ele empregou o sistema de Empédocles da emanação de corpúsculos separados"*

Em outras oportunidades Young já tinha tratado desse mesmo problema da natureza da luz, comparando a teoria newtoniana para a luz com a teoria (ondulatória) que ele próprio estava desenvolvendo. Ele fez isso, por exemplo, nas *Bakerian Lecture*, de 1801, ([4]; [11]) onde cita explicitamente vários pontos de coincidência entre a sua teoria e algumas passagens selecionadas da obra de Newton, em que este admite, por exemplo, a ideia do éter e de suas ondulações. A ideia do éter era indispensável para Young e nada melhor que se apoiar em Newton para justificar a sua posição. Na época, era impensável (e ainda hoje é difícil imaginar) uma teoria ondulatória sem um meio de propagação das ondulações e a ideia do éter removia essa dificuldade, pelo menos em parte. Sobre os pontos de coincidência, ele cita explicitamente um trecho da resposta a Hooke, de 1672 (referida anteriormente) em que Newton afirma serem as vibrações do éter igualmente úteis nas teorias de ambos. Cita também um trecho de uma publicação de 1675, em que Newton reafirma a ideia do éter. E recorre ainda à *Questão 18*, da *Óptica*, que discute a transmissão do calor através do vácuo pelas vibrações do éter, o mesmo meio por cujas vibrações a luz comunica o calor aos corpos e é colocada em estados (*fits*) de fácil reflexão e fácil transmissão.

A originalidade da teoria newtoniana dos acessos ou estados de fácil reflexão e fácil transmissão não se revela somente pelo que foi dito até aqui. Nussenzveig chega a afirmar que "Essa teoria é até certo ponto reminiscente [sinal restante de coisas extintas] da atual teoria quântica da luz". Essa ideia é afirmada também por Edmund Whittaker, na página 21 de *A History of Theories of Aether and Electricity* [12, p. 21]:

> *Newton deu considerável atenção às cores em lâminas delgadas, e determinou a lei empírica do fenômeno com grande precisão. A fim de explicá-la ele supôs que "todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora é colocada em uma certa constituição ou estado transitório, o qual, no progresso do raio, retorna a iguais intervalos, e dispõe o raio, em cada retorno, a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela". O intervalo entre duas disposições consecutivas de fácil transmissão ou 'comprimento do acesso [fit]' varia, como ele achou, com a cor, sendo maior para a luz vermelha e menor para a violeta. Se então um raio de luz homogênea incide sobre uma película delgada,*

> *sua sorte quando considerada a reflexão e transmissão nas duas superfícies dependerá da relação entre o comprimento do acesso [fits] e a espessura da película; e sobre essas bases ele construiu sua teoria das cores em películas finas. É evidente que o 'comprimento do acesso [fits]' da teoria de Newton corresponde em alguma medida à quantidade que na teoria ondulatória é chamada comprimento de onda da luz; mas a teoria dos acessos [fits] de fácil transmissão e fácil reflexão embora sirva para explicar com sucesso fenômenos que não eram conhecidos até o tempo de Newton, foi abandonada depois do triunfo da teoria de onda no século dezenove"*

Em nota de rodapé, Whittaker afirma [12, p. 21]:

> *"Foi, de certo, uma antecipação notável da explicação da teoria quântica do século vinte: os 'acessos [fit] de fácil transmissão e fácil reflexão' correspondem às probabilidades de transição da teoria quântica".*

Apesar das afirmações de Nussenzveig, Whittaker e outros, este é um tema sobre o qual não há consenso entre os historiadores da ciência. Sobre esse assunto é interessante saber o que diz André K. T. Assis, tradutor do livro *Óptica* de Newton, publicado em português em 1996. Na nota de *Apresentação* do seu trabalho [5, p. 24], Assis adverte que "não se deve superestimar as analogias entre os corpúsculos de luz de Newton e os fótons ou *quanta* de luz do século XX", nem "as interconexões entre os corpúsculos de luz e as ondas ou vibrações do éter de Newton". Quanto a isso não há o que discordar. É claro que não devemos superestimar as analogias. Mas não deixa de ser admirável a intuição de Newton de que os fenômenos luminosos não podiam ser explicados apenas concebendo a luz como partícula, sem levar em conta os aspectos ondulatórios intrínsecos a esses fenômenos, nem podiam ser explicados apenas concebendo a luz como onda, sem levar em conta os aspectos corpusculares.

Na citada nota de *Apresentação*, Assis sintetiza a relação estabelecida por Newton entre luz, éter e matéria nos seguintes termos [5, p. 24]:

> "*Newton advoga uma interconexão entre os corpúsculos de luz, o éter e a matéria. O éter e suas ondas ou vibrações seriam os intermediários entre a luz e a matéria. As vibrações do éter seriam mais rápidas que a velocidade da luz e, ao ultrapassá-la, ele colocaria a luz alternadamente em estados [fits] de fácil reflexão e fácil refração (conceito introduzido por Newton para explicar a forma dos anéis de cores). Para Newton a luz ao ser refletida ou refratada excita vibrações no éter e seria através dessas vibrações que a luz transmitiria o calor aos corpos. Não só a refração seria causada por diferentes densidades desse éter, como também a gravitação seria provocada por um princípio semelhante. Apesar de Newton aceitar a existência de um éter e de suas vibrações, e da conexão éter-luz-matéria, a luz seria distinta dessas vibrações do éter."*

Apesar das ponderações de André Assis, ele afirma que o interesse pela *Óptica* de Newton tem se renovado após as reedições de 1931 e 1952, em Londres, motivado principalmente pelo renascimento do modelo corpuscular da luz com os trabalhos de Einstein, Compton e outros e, naturalmente, com o nascimento da teoria quântica de Planck. Hoje consideramos a luz como constituída de partículas, os fótons, e, de acordo com Feynman [13, p. 40]:

> *"Foi uma sorte para nós que Newton se tivesse convencido de que a luz é <corpúsculos> porque sabemos o que uma mente fresca e inteligente passa quando olha para esse fenômeno de reflexão parcial por duas ou mais superfícies e o tenta explicar"*

Mas se a luz é como partícula é oportuno então perguntar: O que é mesmo que oscila quando se considera a luz como sendo constituída por fótons?

Deixemos Eugene Hecht, responder [9, p. 575]:

> *"[...] o que oscila é a amplitude de probabilidade associada ao fóton! Uma quantidade que se propaga como uma onda e que descreve todo o conjunto de efeitos de interferências. Por exemplo, na experiência da dupla fenda de Young, a amplitude de probabilidade dos fótons no seu estado final é igual à soma de duas amplitudes, cada uma delas associada à passagem de fótons através de uma das fendas.*

Em outra passagem de seu livro Óptica, Hecht escreve [9, p. 37]:

> *"[...] a superposição de ondas eletromagnéticas é um eufemismo [ato de substituir palavra por outra mais suave] para um outro conceito, o de interferência entre amplitudes de probabilidades distintas.*

Se o éter e suas ondas ou vibrações soam hoje misteriosos, as amplitudes de probabilidades que se propagam como uma onda, usadas atualmente para descrever o comportamento da luz, não parecem soar diferentes. O que seriam essas amplitudes de probabilidade que se propagam como onda? Seriam apenas abstrações matemáticas? Não teriam realidade física? Note que quando Feynman afirma que a luz é como partícula, (conforme também Newton pensava), ele não tem como deixar de falar (em seus trabalhos em Eletrodinâmica Quântica) de *amplitudes de probabilidade* (que se propagam como onda) para dar conta das evidências experimentais que escapam à ideia clássica de corpúsculo.

O problema da natureza da luz talvez possa ser sintetizado na seguinte citação de Hecht [9, p. 574]:

> *"Ondas e partículas são conceitos do universo macroscópico que perdem a sua aplicabilidade à medida que abordam os fenômenos do universo submicroscópico"*

Não é de admirar, portanto, que o problema da natureza da luz continue causando tanta discussão.

Após esta breve exposição de alguns aspectos da teoria newtoniana da luz, discutiremos no próximo item o problema da natureza da luz nos séculos XVIII e XIX.

[3] I. Newton, *Philosofical Transaction*, 88, 5084 (1672). Disponível em http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/diplomatic/NATP00028. Acesso em 7 de agosto de 2011.

[4] F. W. O. da Silva, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1601 (2009).

[5] I. Newton, *Óptica*, Edusp. São Paulo (1996). Tradução de André Koch Torres Assis.

[7] M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo (1998), v. 4.

[8] M. Nussenzveig, Curso ministrado na *Escola "Jorge André Swieca"*, Campinas (1994)

[9] E. Hecht, E., *Óptica*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (1991).

[10] T. Young, *A Syllabus of a Course of Lecture on Natural and Experimental Philosophy.* Disponível em http://gallica.bnf.fr/ar:/12148/bpt6k21597c. Acesso em 7 de agosto de 2011.

[11] T. Young, *On the Theory of Light and Colours*. The Bakerian Lecture, 1801.Disponível em http://gallica.bnf.fr/ar:/12148/bpt6k55897c. Acesso em 7 de agosto de 2011.

[12] E. Whittaker, *A History of Theories of Aether and Electricity*, Humanities Press, New York (1973).

[13] R. Feynman, *QED, A Estranha Teoria da Luz e da Matéria*, Gradiva, Lisboa (1985).

Apêndice 4 – Texto Complementar 8

AS EXPERIÊNCIAS DE MICHELSON-MORLEY (DÉCADA DE 1880)

J. F. M. Rocha

Primeira Parte

Laboratório

– Interferômetro de Michelson (1881)

(Prêmio Nobel em 1907 pela invenção do interferômetro e realização de muitos experimentos ópticos)

Verificando a velocidade da Terra em relação ao éter (ou, verificando o efeito da velocidade do observador na medição da velocidade da luz)

1. Fazer incidir um feixe de **micro-ondas** sobre uma placa semirrefletora para mostrar explicitamente que o mesmo se divide em dois: um refletido e outro transmitido.
2. **Usando micro-ondas**, mostrar o princípio físico de funcionamento do interferômetro de Michelson.

   Usando os equipamentos, mostrar explicitamente como o efeito do movimento do observador em relação ao éter (caso girássemos toda a bancada) seria indicado pelo amperímetro associado ao interferômetro de Michelson.
3. Fazer incidir um feixe de **luz** (lazer) sobre uma placa de vidro para mostrar explicitamente que o mesmo se divide em dois: um refletido e outro transmitido.
4. **Usando a luz** (laser), mostrar o princípio físico de funcionamento do interferômetro de Michelson.

   Usando os equipamentos, mostrar explicitamente como a figura de interferência se modificaria caso a mesma dependesse do movimento do observador em relação ao éter. Para isto, gire toda a bancada óptica. (um grupo de dois alunos poderia suspender a mesa com os equipamentos ópticos e, girando suavemente, simular o que foi feito por Michelson-Morley).

Curiosidade:

1958 $\rightarrow$ P. Cadarholm, C. H. Towens e outros realizaram uma experiência de "vento de éter" usando micro-ondas. De acordo com seus resultados se houvesse o éter, a velocidade da Terra com relação ao éter deveria ser de menos que 1/1000 da velocidade orbital da Terra. É um aperfeiçoamento de 50 em precisão em relação aos resultados de M-M. (R. Resnick, *Introdução à Relatividade Especial*, pág. 27).

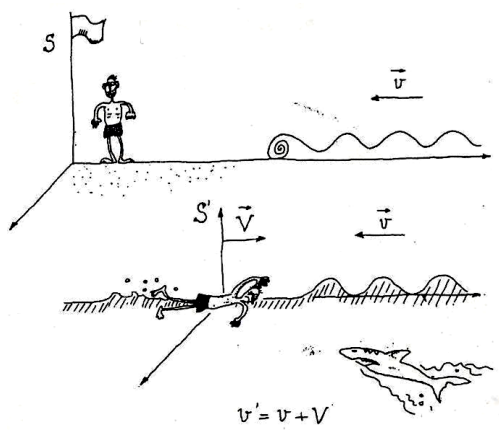
Preliminares da Experiência de Michelson-Morley

a) Relembrar a importância da diferença de caminho na experiência da fenda dupla;

b) Relembrar que se duas frentes de onda na **água de um lago**, deslocando-se em direções mutuamente perpendiculares, percorrem **distâncias iguais** com a mesma velocidade (em relação a água do lago) e voltam, após sofrerem reflexão, a se encontrar no ponto onde foram simultaneamente produzidas então a **diferença entre os tempos** gastos para percorrer a mesma distância é **zero. A** diferença de caminho **também é zero**.

c) Relembrar que se duas frentes de onda nas **águas de um rio** (ou dois barcos), cujas águas se deslocam com velocidade V, em relação a um observador fixo na margem, percorrem, com a mesma velocidade (em relação às águas do rio), **distâncias iguais**, medidas em direções perpendiculares (uma na direção da correnteza e outra na direção perpendicular à margem), e voltam a se encontrar (após sofrerem reflexão) no ponto onde foram simultaneamente produzidas, então a **diferença entre os tempos** gastos por cada uma para percorrer a mesma distância **não é zero** (por influência do movimento do rio).

Note que:



No referencial da praia a velocidade da onda é *v*. No referencial do nadador a velocidade será *v*' = *v* + *V*.

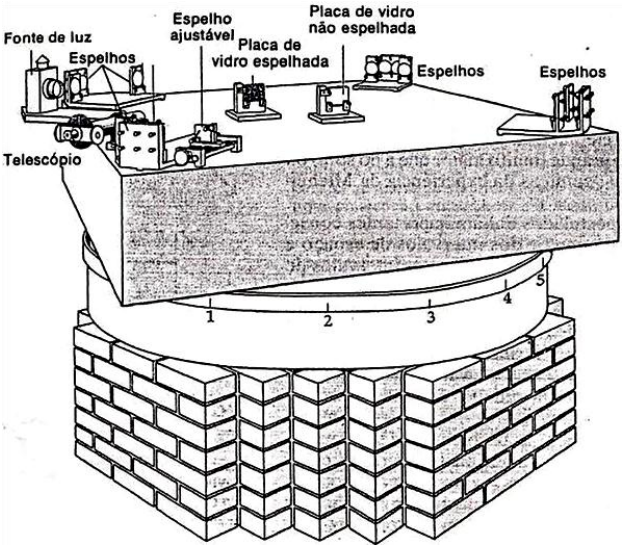
Com a luz não é assim!

O aparelho usado por Michelson e Morley – Efeitos de Interferência

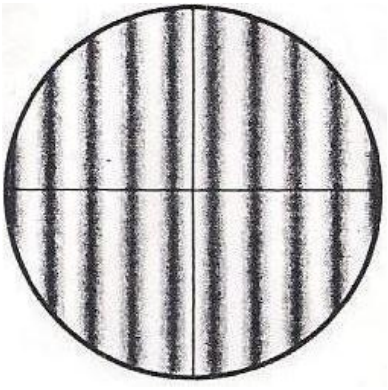
Maxwell tinha ressaltado que na determinação da velocidade da luz através de uma experiência que se levasse em conta a hipótese do éter (o que poderia ser feito, por exemplo, na experiência da roda dentada de Fizeau – ver o termo t_2) a velocidade da Terra em relação ao éter apareceria somente num termo de segunda ordem V^2/c^2, efeito muito difícil de se medir, por ser muito pequeno. Michelson, entretanto, percebeu que embora este efeito fosse muito pequeno para ser medido diretamente, o mesmo poderia ser observado se fossem feitas medições de diferenças (t_2-t_1) – efeito de interferência. Note que no caso da experiência de Fezeau, levando-se em conta a hipótese do éter, t seria dado por: $t = (2d/c)\ (1-V^2/c^2)^{-1} \approx (2d/c)\ (1+V^2/c^2)$; V=30 km/s.

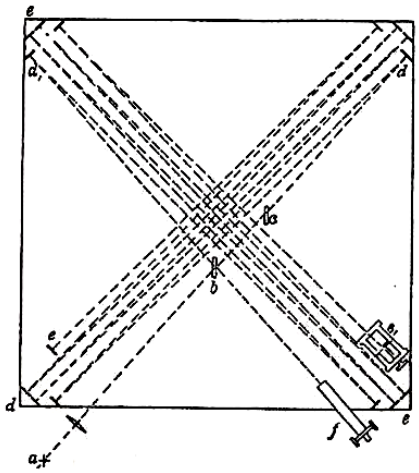
1881 – Na primeira tentativa realizada por Michelson em 1881: d = 1,2m e λ = 590 mm.

1887 – (Michelson junto com Morley): d = 11 m de percurso efetivo.



Desenho do aparelho de Michelson – Morley usado nas experiências de 1887. As partes ópticas foram montadas num bloco de arenito quadrado, com 1,5 m de lado, flutuante em mercúrio, com o que se reduziam as tensões e as vibrações que haviam influenciado experiências anteriores. As observações podiam ser feitas em todas as direções, mediante a rotação do aparelho no plano horizontal. *(De R.S. Shankland, "The Michelson-Morley Experiment", copyright do Scientific American, Inc., novembro de 1964. Todos os direitos reservados).*



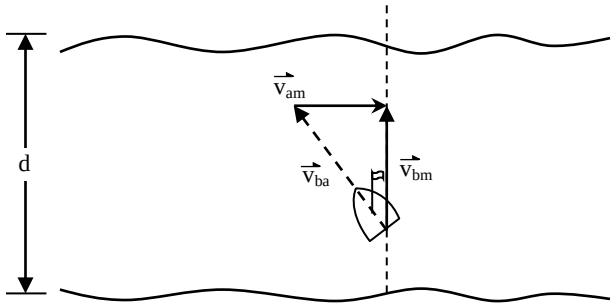


VISTA PLANA

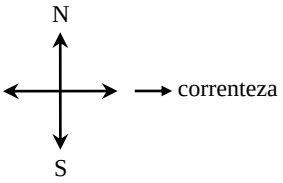
Exercício – Um barco atravessa um rio movendo-se ao longo de uma linha (direção N-S, ver figura) perpendicular à correnteza. Suponha conhecidas a velocidade da correnteza, $v_{água/margem}$ e a do barco em relação à água, $v_{barco/água}$. Sabendo que a velocidade do barco em relação à margem, $v_{barco/margem}$ é dada por:

$$v_{barco/margem} = v_{bm} = \sqrt{(v_{ba}^2 - v_{am}^2)}$$

qual o tempo necessário para o barco fazer a travessia do rio, de ida e volta?



Resp.: $t_1 = \left[d / \left(\sqrt{(v_{ba}^2 - v_{am}^2)} \right) \right] + d / \sqrt{(v_{ba}^2 - v_{am}^2)}$



Exercício – Suponha agora que o barco percorre a distância d, viajando a favor da correnteza e novamente a distancia d viajando contra a correnteza. Suponha conhecidas a velocidade da água em relação à margem (velocidade da correnteza), v_{am}, e a velocidade do barco em relação à água, v_{ba}. Sabendo que as velocidades do barco em relação à margem, $v_{barco/margem}$ são dadas por:

$v_{bm} = v_{ba} + v_{am}$ (a favor)

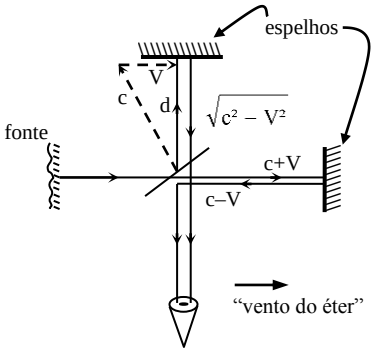
$v_{bm} = v_{ba} - v_{am}$ (contra)

qual o tempo necessário para o barco fazer o percurso de ida e volta?

Resp.: $t_2 = [d/(v_{ba} + v_{am})] + d/(v_{ba} - v_{am})$

Logo, $t_1 \neq t_2$

Podemos considerar o barco como um modelo para a onda luminosa, v_{ba}=c e a correnteza do rio como um modelo para o vento do éter, v_{am}=V (velocidade do éter em relação à Terra).



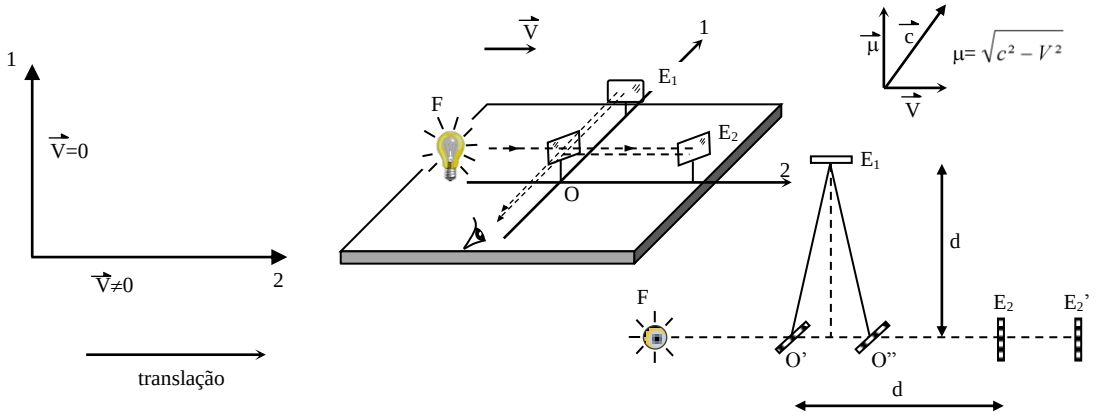
Assim, a Física clássica (pré-relativística) nos daria:

$$t_1 = [d/(\sqrt{(c^2 - V^2)}] + d/\sqrt{(c^2 - V^2)}$$

$$t_2 = [d/(c + V)] + d/(c - V)$$

A Experiência de Michelson-Morley

Considere o interferômetro de dois braços perpendiculares, da figura abaixo:



Percurso da luz visto do referencial do éter. A velocidade na direção de E_1 é u que, de acordo com Galileu, se relaciona com c e V da seguinte forma:

$$u=\sqrt{(c^2 - V^2)}$$

A experiência de Michelson-Morley foi imaginada para detectar o movimento retilíneo uniforme em relação ao éter, **usando a lei de Galileu de composição de velocidades**. Nessa época, não se admitia que a velocidade da luz pudesse ser a mesma quando medida de diferentes referenciais inerciais.

Neste caso, a velocidade da luz num referencial em movimento relativo ao éter deveria ser diferente em direções diferentes.

Considere-se o movimento de translação da Terra numa certa direção e sentido e numa determinada época do ano. O braço 2 do interferômetro supõe-se orientado nesta direção de translação, inicialmente.

Suponha a existência de um referencial absoluto, o éter, em relação ao qual a velocidade da luz é *c* e, além disso, assuma a validade do cálculo clássico da soma de velocidades:

Para o raio 1

$$T_1 = \frac{d}{\sqrt{c^2 - V^2}} + \frac{d}{\sqrt{c^2 - V^2}} \cong \frac{2d}{c}\left(1 + \frac{V^2}{2c}\right)$$

A luz viaja no percurso OE_1O'' com velocidade $\sqrt{(c^2-V^2)}$

Para o raio 2

$$T_2 = \frac{d}{c+V} + \frac{d}{c-V} \cong \frac{2d}{c}\left(1 + \frac{V^2}{c^2}\right)$$

A diferença de tempo é

$$T_2 - T_1 = \frac{2d}{c}\left(1+\frac{V^2}{c^2}\right) - \frac{2d}{c}\left(1+\frac{V^2}{2c^2}\right) \cong \frac{d}{c}\frac{V^2}{c^2}$$

Que corresponde a uma diferença de percurso

$$\Delta = c(T_2 - T_1) \cong d\, V^2/c^2$$

Isto com o braço 1, perpendicular ao movimento de translação.

Mudando a orientação dos braços, o resultado é outro (os braços podem também ter comprimentos diferentes).

> GIRANDO OS BRAÇOS, A FIGURA DE INTERFERÊNCIA, ENTRETANTO, NÃO MUDOU! Tudo se passa como se para a luz não se aplicasse as regras da soma vetorial de velocidades!

AS EXPERIÊNCIAS DE MICHELSON-MORLEY (DÉCADA DE 1880)

J. F. M. Rocha

Segunda Parte

As equações de Maxwell e a velocidade da luz

Das equações de Maxwell podemos deduzir as equações de onda eletromagnética para E(x,t) e B(x,t):

$$\oint \vec{E}.d\vec{S} = q/\varepsilon_o$$
$$\oint \vec{B}.d\vec{S} = 0$$
$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_o i + \mu_o \varepsilon_o \frac{d\phi_E}{dt}$$
$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}; y = \begin{cases} E_i(x,t) \\ B_j(x,t) \end{cases}$$
$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}}$$

onde *c*, a velocidade da luz no vácuo, é uma ***constante universal*** $c = 1/\sqrt{\varepsilon_o \mu_o}$

Questão importante: A que referencial se refere essa velocidade?

> **Aparentemente haveria um referencial privilegiado** onde a velocidade da luz seria *c* em todas as direções e a validade das equações de Maxwell estaria restrita a este referencial.

Vamos comparar esta situação com algo parecido na Acústica:

No caso das ondas de som (que se propagam através de um meio material, suporte das oscilações), a velocidade do som é a mesma em todas as direções num referencial em que o meio está em repouso. Mas isto acontece somente neste referencial. Vista de outro referencial em movimento em relação ao referencial de repouso, a velocidade do som é diferente e varia com a direção.

Se a luz tivesse um comportamento análogo ao de uma onda sonora então poderíamos considerar que:

> – sua velocidade seria constante em relação a um meio hipotético em repouso, o éter[49],
> – a validade das equações de Maxwell estaria restrita ao referencial de repouso do éter e

[49] A ideia do que seria o *éter* mudou ao longo do tempo. Por volta de 1887, acreditava-se que "o éter seria um meio sutil, infinitamente mais tênue que os gases mais leves, absolutamente inerte e perfeitamente elástico. Tal substância ou corpo seria uma espécie de quarto estado físico da matéria que preencheria os intervalos ou poros moleculares, penetrando intimamente todos os corpos compostos da matéria ordinária, quer esta estivesse em estado sólido, líquido ou gasoso. Além disso, o éter seria encontrado não só na vizinhança da Terra e serviria de intermediário universal entre todos os constituintes do universo".

– o princípio da relatividade de Galileu não se aplicaria à eletrodinâmica de Maxwell (leis de Maxwell).

(Considerando válidas as equações de Maxwell, se admitirmos que a velocidade da luz num dado referencial S é constante, e que valem as leis da Mecânica, o resultado não poderia valer em outro referencial inercial S', que se move com velocidade V em relação ao primeiro, pois, de acordo com a lei de Galileu de composição de velocidades, nesse outro referencial a velocidade da luz seria c'=c-V (!) de forma que c seria diferente de c' e não constante).

Recorde-se que

A Física teórica dos últimos anos do século XIX (~1880) tinha por base:

– as leis de Newton (1686) e as transformações galileanas (~1637)
– as leis da Termodinâmica (a 2ª lei foi formulada por volta de 1856)
– as equações de Maxwell (formuladas na década de 1960)

Princípio da Relatividade

Na física aristotélica não havia lugar para o princípio da relatividade do movimento. A física de Aristóteles era a física do absoluto. Repouso e movimento eram considerados conceitos excludentes já que o movimento era considerado um processo e não um estado, como depois a física clássica veio a estabelecer. Enquanto repouso era considerado um estado, movimento era apenas uma transição que levava ou tendia levar ao repouso. Movimento, para Aristóteles, era o ato que permitia a "realização" das coisas ou, em suas próprias palavras: "o ato de ser em potência, enquanto estiver em potência". Quanto à Terra, esta deveria estar naturalmente em repouso, pois sendo o centro do mundo (para Aristóteles) não tinha para onde se mover.

Aristarco de Samos, um filósofo grego que viveu cerca de 310-230 a.C., inspirado nas ideias pitagóricas foi um dos primeiros a contribuir para uma concepção física baseada na relatividade do movimento. Aristarco e muito depois Copérnico (desde 1510) tiveram pelo menos a intuição da relatividade do movimento, sem a qual eles não negariam o movimento aparente do Sol em torno da Terra.

Galileu, em 1632, foi um dos primeiros a negar a física aristotélica como um todo, visando dar sustentação às ideias de Copérnico. A partir de Galileu foi-se estabelecendo a convicção de que não podemos detectar o estado de movimento retilíneo uniforme a menos que tomemos outro corpo como referencial.

Galileu deu o exemplo de experiência mecânica feita de um convés de um navio com as escotilhas (aberturas nos pavimentos de bordo) fechadas que seriam incapazes de descobrirem se o navio estaria ancorado ou em movimento retilíneo uniforme.

A partir de Newton e Galileu começou-se a formar também a convicção de que as leis físicas devem ser as mesmas para qualquer observador que se mova a uma velocidade constante qualquer que seja a direção e o módulo da velocidade (princípio da relatividade).

Newton assim expressou seu princípio da relatividade:

"Os movimentos dos corpos contidos em um espaço dado são os mesmos entre si, se este espaço está em repouso ou move-se uniformemente em linha reta".

(R. Resnick, Int. à Rel. Especial, pág. 19)

No caso das equações de Newton, estas permanecem as mesmas, ao se mudar de um referencial inercial para outro. Não há nenhum sistema de referência preferencial.

Referenciais Inerciais

No estudo da Mecânica foi visto a dependência das leis físicas com o referencial.

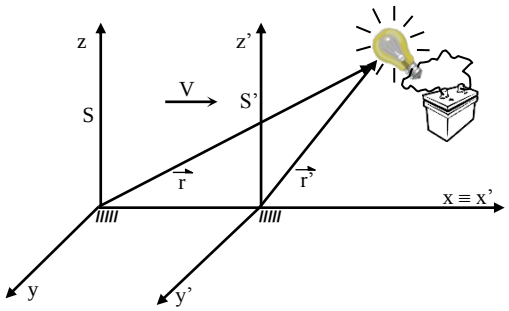
As leis básicas da Mecânica assumem sua forma mais simples num referencial inercial.

Um referencial inercial é aquele em que vale a lei da inércia, isto é, se uma partícula não está sujeita a forças, então ela permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

Um referencial em movimento uniforme em relação a um referencial inercial também é inercial.

Transformações de Galileu

Em S (na rua), diremos que no instante *t* e na posição $\vec{r}$, a luz se acendeu. Em S' (no carro), diremos que, no instante *t'* e na posição $\vec{r}'$, a luz se acendeu.



A relação entre $\vec{r}$ e $\vec{r}'$ é fácil de estabelecer, conhecida a velocidade $\vec{V}$ de *S'* em relação a S, dado $\vec{r}$ e $\vec{r}'$ serem vetores.

Note que a relação entre as coordenadas em dois referenciais inerciais diferentes é dada por:

r' = **r** – **V**t;

t'= t,

da qual decorre **a *lei de Galileu das transformações das velocidades***:

v' = ***v*** – ***V***

e decorre também a igualdade das acelerações:

d**v**/dt = **a** = **a**'= d**v**'/dt). → **F**=**F'**

De acordo com o princípio da relatividade de Galileu, um observador em repouso e um em movimento fazem a mesma predição teórica para a mesma experiência.

Questões:

As equações de Maxwell permaneceriam as mesmas ao se mudar de um referencial para outro?

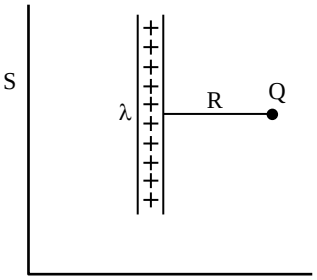
Será que a **equivalência entre fenômenos ocorridos em diferentes referenciais inerciais** seria válida não só para a Mecânica, mas também para o eletromagnetismo?

A Medida da Força sobre uma Carga Q, em Diferentes Referenciais!

De acordo com o princípio da relatividade de Galileu, um observador em repouso e um em movimento fazem a mesma predição teórica para a mesma experiência.

O exercício a seguir mostra, entretanto, que um observador em repouso e outro em movimento, ao aplicarem as leis de Maxwell para uma mesma experiência, fazem predições teóricas diferentes.

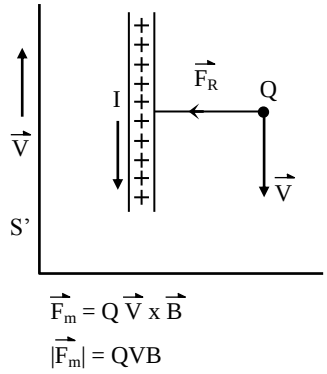
Mostraremos a seguir que **as leis do eletromagnetismo violam o princípio da relatividade de Galileu.** Para isto, considere o problema de uma carga pontual Q a uma distância R de um fio carregado com densidade linear de carga, λ, conforme figura abaixo. Calcular a força sobre Q.



$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{\lambda \ell}{\varepsilon_o} = E 2\pi \ell \Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi R \varepsilon_o}$$

$$F_R = QE = \frac{\lambda Q}{2\pi R \varepsilon_o}$$

Considere agora um segundo observador que se move paralelamente ao fio com velocidade V.



$I = \lambda V$, pois $\frac{dq}{dt} = \frac{\lambda d\ell}{dt} = \lambda V$

Pela Lei de Ampère: $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_o i \Rightarrow B 2\pi r = \mu_o \lambda V$

$$F_R^{'} = \left|\vec{F}_{elet.}\right| - \left|\vec{F}_m\right| = \frac{\lambda Q}{2\pi R \varepsilon_o} - \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{\lambda V Q V}{R}$$

mas $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}} \Rightarrow \mu_o = \frac{1}{\varepsilon_o c^2}$, logo

$$F_R^{'} = \frac{\lambda Q}{2\pi R}\left(\frac{1}{\varepsilon_o} - \frac{V^2}{\varepsilon_o c^2}\right) = \frac{\lambda Q}{2\pi \varepsilon_o R}\left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)$$

Este resultado é numericamente menor do que aquele do item anterior por um fator $(1\text{-}v^2/c^2)$. Sendo assim, as leis de Maxwell fazem previsões diferentes para a força ou a aceleração quando obtida em sistemas de referência diferentes (que se movem um em relação ao outro com velocidade constante).

As equações de Maxwell não satisfazem, portanto, o princípio da relatividade de Galileu.

Para resolver esta questão alguma "providência" deveria ser tomada:

> o princípio da relatividade/ ou as equações de Maxwell/ ou a mecânica clássica/ ou duas das opções acima/ ou mesmo três deve(m) passar por uma revisão.

Alguns se contentavam com a ideia de que a equivalência entre fenômenos ocorridos em diferentes referenciais seria válida apenas na mecânica.

Vamos considerar 3 alternativas:

Três alternativas para resolver o problema posto pela Teoria Eletromagnética de Maxwell

1. O princípio da relatividade é válido para a mecânica, mas não para a eletrodinâmica (leis de Maxwell). As leis da mecânica newtoniana estão corretas e as leis de Maxwell também, mas as leis de Maxwell valem somente em um sistema de referência preferencial.

   Fosse essa alternativa correta, as transformações de Galileu seriam aplicáveis e nós seríamos capazes de localizar experimentalmente (por meio de experiência eletromagnética) o sistema do éter. Somente nesse sistema a luz se propagaria com velocidade v=c.

   Esta alternativa foi negada pela experiência de M-M (primeiro em 1881 e depois, de maneira mais definitiva, em 1887, conforme veremos adiante).

2. O princípio da relatividade é válido tanto para a mecânica como para a eletrodinâmica. As leis da mecânica newtoniana são corretas, mas as leis de Maxwell não são corretas. As leis de Maxwell devem ser reformuladas (a fim de dar o resultado de que a luz sempre se propaga com velocidade c em relação à fonte).

   As transformações de Galileu seriam aplicáveis aqui também.

   Este caminho foi seguido por W. Ritz, em 1908, mas as previsões de sua teoria (modificações da eletrodinâmica) foram primeiro descartadas com base em observações astronômicas; seus argumentos não são atualmente aceitos.

3. O princípio da relatividade é válido sempre (na mecânica e na eletrodinâmica). As leis da mecânica newtoniana precisam ser modificadas e as leis de Maxwell não necessitam de modificações.

   Neste caso, as leis de transformação não seriam as de Galileu.

   Esta última alternativa foi a escolhida por Einstein que, **modificando as propriedades do espaço e do tempo e modificando também as definições de massa, energia e momento,** foi capaz de fazer com que as leis da mecânica obedecessem ao princípio da relatividade.

Observações:

1 – Note que a chamada Teoria da Relatividade Restrita esteve pronta para ser descoberta desde a publicação dos trabalhos de Maxwell, na década de 1860.

2 – Desde 1880, aproximadamente, o físico holandês H. A. Lorentz (1853-1928), mas não só Lorentz, trabalhou na formulação de uma teoria eletromagnética, mais ampla que a de Maxwell, com o objetivo de dar explicação a um número crescente de fenômenos físicos[50] que estava ficando sem explicação dentro das teorias físicas então existentes (a Mecânica Clássica, a Termodinâmica e a Teoria Eletromagnética de Maxwell). Em 1904, Lorentz publicou a forma final de sua teoria eletromagnética (chamada, às vezes, de *Teoria dos Elétrons*) segundo a qual "O mundo físico consiste de três coisas separadas, três tipos de material fundamental: primeiro a matéria ordinária tangível, segundo os elétrons, terceiro o éter…". Do ponto de vista dos resultados experimentais esta teoria pode ser considerada como praticamente equivalente à Teoria da Relatividade Restrita. Em 1915, Einstein, tentando reconstruir a história da Física escreveu:

> "O sucesso da teoria de Lorentz era tão significativo que **os físicos teriam abandonado o princípio da relatividade sem remorsos**, não tivesse tido disponível o importante resultado experimental… de Michelson… Tentar justificar teoricamente os resultados negativos do experimento através de hipóteses fabricadas ad hoc (a hipótese da contração) é altamente insatisfatório".

(A. Villani, O Confronto Lorentz-Einstein e suas Interpretações – A Revolução Einsteiniana, pág. 07)

[50] A emissão e absorção do calor radiante, a dispersão normal e anômala, a rotação da luz de Faraday e Voigt, o chamado efeito Zeeman (1896), etc.

Postulados de Einstein (1905)

1. **As leis físicas devem ser as mesmas em todos os referenciais de inércia**.

   (Isto deve ser verdade tanto para a Mecânica como para a Eletrodinâmica)

2. **A velocidade da luz no vácuo é constante independentemente da velocidade do observador (e da fonte)**.

Observações:

O Princípio da Relatividade é uma generalização das conclusões de Galileu e Newton em relação aos referenciais inerciais. Este princípio nega a existência de um referencial absoluto e, portanto, deixa de existir a necessidade teórica do éter clássico.

Uma consequência direta de se admitir que a luz viaja com velocidade constante é a necessidade de repensarmos a noção de tempo**. O tempo não transcorre da mesma maneira para observadores em referenciais inerciais com velocidades diferentes** (ver adiante). A compreensão da *natureza do tempo* foi uma grande contribuição de Einstein para a teoria da relatividade. Ele pensou e trabalhou neste tema durante 10 anos "até que finalmente eu percebi que o tempo era o grande suspeito".

Em 1971, testes precisos da *dilatação do tempo* foram efetuados com relógios atômicos de césio, muito estáveis, viajando em torno da Terra, usando aviões a jato (Boeing 747). Os intervalos de tempo medidos com quatro desses relógios foram então comparados com intervalos de tempo medidos com relógios de referência localizados no *U. S. Naval Observatory* e as pequenas diferenças de tempo observadas podem ser explicadas em termos do movimento relativo entre a rotação da Terra e o avião a jato.

> *"Em relação à escala de tempo atômico do U. S. Naval Observatory, os relógios em voo perderam 59±120 ns durante a viagem para leste e ganharam 273±7 ns durante a viagem para oeste…".*
>
> (ver também revista *Science*, 166, jul/1972, p. 168).

Momento Relativístico

Como já citamos, Einstein redefiniu a quantidade de movimento, pois, de outro modo, as chamadas transformações relativísticas da velocidade de um referencial para outro invalidariam o Princípio da Conservação do Momento.

Sobre a "Origem Experimental" da Teoria da Relatividade!

De acordo com A. Villani (A. Villani, *O Confronto Einstein-Lorentz e suas Interpretações. I-IV*, Rev. Ens. Fis., 3, 23 (1981)), os meios científicos e os livros didáticos (inclusive os do início do século XX), costumam atribuir uma **origem experimental** à Teoria da Relatividade de Einstein. Para G. Holton, entretanto, a proposta de Einstein é mais do que isto, ela é uma proposta revolucionária.

Segundo Holton, o experimento de M-M chamou a atenção de Einstein somente depois de 1905 (mesmo tendo tido conhecimento do seu resultado anteriormente), isto porque a citação deste experimento servia como defesa da sua teoria da relatividade que vinha sendo muito contestada nos anos posteriores à sua publicação.

Ainda de acordo com Holton a base experimental mais importante para os trabalhos de 1905 teria sido fornecida pelas experiências anteriores ligadas a teoria do éter: em particular, a **aberração da luz das estrelas** e o **experimento de Fizeau** sobre o arrastamento do éter na água (1851).

Numa afirmação enviada a uma reunião em 1952, em homenagem ao centenário do nascimento de Michelson, A. Einstein escreveu (R. S. Shankland – "Michelson, Morley Experiment", Am. J. Phys, 32 (1), 16 (1964)):

> *"A influência da experiência crucial de Michelson-Morley sobre nossos esforços tem sido um tanto indireta. Eu soube dela, através da investigação decisiva de Lorentz sobre a Eletrodinâmica dos corpos em movimento (1895), da qual tinha conhecimento, antes do desenvolvimento da teoria especial da Relatividade… O que me conduziu mais ou menos diretamente, à teoria especial da Relatividade, foi a convicção de que a força eletromotriz agindo sobre um corpo em movimento num campo magnético não era mias do que um campo elétrico"*

Para Holton, toda a estrutura do trabalho de Einstein revela coerência com sua atitude original: uma teoria deve ser julgada segundo sua perfeição interna e segundo sua confirmação experimental. Isto não significa que uma teoria deve ser construída sobre fatos empíricos, nem verificada através de experimentos decisivos, mas simplesmente que ela não deve contrastar com fatos empíricos. Significa também que deve ser evitada a adaptação da teoria a fatos empíricos por meios de hipóteses adicionais que quase sempre é bastante fácil encontrar. Este critério "quase estético" de "perfeição interna" e "de simplicidade lógica" é imprescindível quando a teoria pretende ser fundamental, referindo-se a totalidade dos fenômenos físicos. (Villani, pág. 12).

Apêndice 4 – Texto Complementar 9

PLANCK E O PROBLEMA DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

J. F. M. Rocha

Primeira Parte

Laboratório

1) Observar e explicar a diferença entre o espectro de luz emitido por uma lâmpada de vapor de mercúrio, disponível no laboratório desta disciplina e o espectro de luz emitida por uma lâmpada incandescente (um sólido aquecido / filamento de tungstênio), utilizando uma **rede de difração** e um espectroscópio.

   Não existe apenas um tipo de lâmpada de vapor de mercúrio (ver livros de Instalações Elétricas).

2) *Origem do espectro da chama de uma vela.* Observar a chama de uma vela através de um espectrômetro de rede. Teria o espectro da chama origem térmica ou origem atômica (nas transições atômicas)? Discuta.

   De acordo com Serway (v. 4, cap. p. 1098) tem origem nas partículas quentes da fuligem da chama da vela.

3) Observar o espectro emitido por uma lâmpada fluorescente comum (com suporte para mesa), usando um espectrômetro de rede. É possível ver espectro contínuo (pelo menos em primeira ordem)? Discuta.

   Lembrar que a luz visível emitida pela lâmpada fluorescente comum resulta da incidência da luz ultravioleta (produzida pela descarga elétrica nos gases que compõem a lâmpada) sobre substância que reveste a parte interna do tubo de vidro. Esta luz ultravioleta é absorvida por esta citada substância e, em seguida, reemitida como luz visível.

4) Observar a luz emitida por um filamento de tungstênio a diversas temperaturas (determinadas pelas correntes elétricas de intensidades diferentes que o atravessam). Observar a cor da radiação quando o filamento começa a emitir radiação. (Note que, com o aumento da temperatura, o corpo se torna cada vez mais brilhante e sua coloração se altera).

5) *Determinação da temperatura do filamento da lâmpada de tungstênio.* Usando um multímetro (multiteste) como voltímetro (ligada aos terminais da lâmpada) e outro como amperímetro, determinar a temperatura do filamento da lâmpada de tungstênio para uma certa corrente (ver RBEF, vol. 27, n. 3, p. 343 (2005)).

Note que

Para a resistência do filamento de tungstênio temos a seguinte relação:

$R(T_c) = R_o (1+aT_c + bT_c^2)$, sendo R_o a resistência à temperatura a **0ºC** e T_c a temperatura em graus centígrados

$$a = 4{,}82.10^{-3}\ K^{-1} \text{ e } b = 6{,}76.10^{-7}\ K^{-2}$$

[Lembrar, da eletricidade, que numa aproximação de primeira ordem $R=R_o[1+ \alpha(T_c-T_{oc})]$

Explicitando T_c na expressão acima, obtemos:

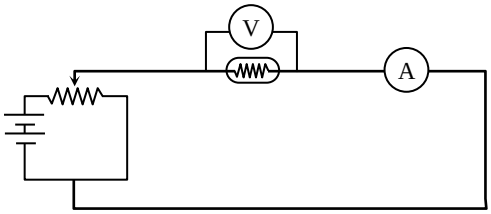
$$T_c = (1/2b)\ \{\sqrt{\{a^2 + 4b\ [(R(T)/R_o) - 1]\ \}} - a\}$$

e $\quad T_K = 273 + T_c$

Veja, a seguir, como é possível obter R_o a partir de $R(T_{ac})$

Para se obter R_o, deve-se primeiro determinar a resistência à temperatura ambiente, em graus centígrados, $R(T_{ac})$, o que pode ser feito medindo-se V_o e I_o para a corrente a mais baixa possível: $[R(T_{ac})=V_o/I_o]$. Em seguida, substitui-se $R(T_{ac})$ na expressão: $R_o = R(T_{ac}) / (1+ aT_{ac} + bT_{ac}^2)$.

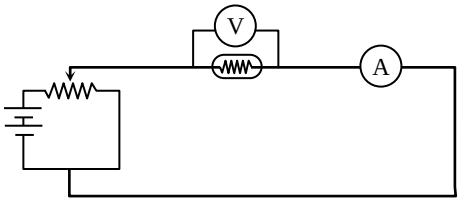
Com uma corrente maior medir V e I para determinar R(T). Substituir o resultado na equação acima para encontrar T_K.



6) *Determinação da constante de Stephan (1879)-Boltzmann (1884)*: σ

Considere o circuito abaixo:

Usando um filamento de tungstênio de lanterna de automóvel, de 12V e 48W ((ou de lanterna de mão –3,8V e 300mA), obter 10 valores de tensão / corrente (miliamperes) e, em seguida, traçar um gráfico de *log V.i x Log T* para obter a constante de Stefan-Boltzmann a partir da equação:



$$V \cdot i = C\ (T - T_o) + e\ \sigma\ A\ (T^4 - T_o^4)$$

na aproximação em que a dependência linear da equação acima, $C(T-T_o)$, é desprezível em relação à quarta potência da temperatura, o que ocorre para altas temperaturas do filamento e desprezando também a contribuição do ambiente para a energia do filamento (*e* é a emissividade do filamento).

(ver RBEF, vol. 27, n. 3, p. 343 (2005)).

R(Tac) = ……
(à temperatura ambiente)

V (V)	i(A)	(T)=V/i (Ω)	T_c	T_K	$V \cdot i$	log $V \cdot i$	log T_K

Laboratório - Continuação

A Lei de Stefan-Boltzmann e a "fórmula da radiação", obtida por Planck, $E = (C/\lambda^5) / (e^{c/\lambda T} - 1)$

1879 – Josef Stefan (1835-1893)

Antes de Wien e Rayleigh, Joseph Stefan já havia obtido experimentalmente sua hoje bastante conhecida lei relacionando a energia total emitida por um corpo aquecido com a respectiva temperatura. Stefan tomou como base os resultados de J. Tyndall.

1864 – Tyndall tinha obtido alguns resultados experimentais de acordo com os quais a emissão total de um fio de platina a 1.200º C é 11,7 vezes maior que a correspondente emissão a 525º.

A partir daí, Stefan concluiu que a energia total é proporcional a quarta potência da temperatura:

Energia Total (emitida pelo corpo) $\alpha\ T^4$ pois $[(1200+273)/(525+273)]^4 \approx 11,7$

1884 – L. Boltzmann

– demonstrou que a lei de Stefan, como apresentada acima, se aplica apenas a corpo negro;

- obteve teoricamente a lei de Stefan com base na existência de uma pressão de radiação, usando a Teoria Eletromagnética de Maxwell e as leis da Termodinâmica.

1. A lei de Stefan-Boltzmann para o *Corpo Negro* –

A lei de Stefan-Boltzmann para um **corpo negro**[51] pode ser expressa da seguinte forma.

Considere uma superfície emissora ideal a uma temperatura T. Neste caso, a

Energia total emitida por unidade de tempo, por unidade de área $= \sigma T^4$ Lei de Stefan-Boltzmann

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\ W/m^2.K^4$

Como a energia total emitida por unidade de tempo é a potência então

Potência total emitida por unidade de área, à temperatura T $= \sigma T^4$

[51] Um corpo que absorve toda a energia que sobre ele incide em todos os comprimentos de onda (sem refletir, difundir ou transmitir); no equilíbrio térmico reemite toda a energia absorvida. Uma superfície de área *A* totalmente coberta com fuligem é um exemplo bem aproximado de corpo negro.

Sobre a expressão de Planck $E = (c_1/\lambda^5) / (e^{c_2/\lambda T} - 1)$

No seu artigo de 19 / out / 1900, Planck apresentou a seguinte "fórmula da radiação com duas constantes".

$$E = (C/\lambda^5) / (e^{c/\lambda T} - 1)$$

a qual reescreveremos na forma

$$R_\lambda \, d\lambda = [(c_1/\lambda^5) / (e^{c_2/\lambda T} - 1) \,] \, d\lambda$$

com $c_1 = 2\pi c^2 h$; $c_2 = hc/k$

e onde R_λ é chamada **radiância espectral** ou emitância espectral, às vezes também é representada por $I(\lambda)$ ou $S(\lambda)$.

Lembrar que a emitância espectral, $I(\lambda)$ (W/m^3), é diferente da intensidade, I (W/m^2).

(Note que $e^{c_2 / \lambda T} = e^{(c_2 k / \lambda) / kT} = e^{E / kT}$, onde $E = c_2 k/\lambda = hv$ é o *quantum de energia*. Os osciladores de Planck podiam possuir apenas energias totais que satisfizessem a relação $E = nhv$, $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$)

Relação entre a lei de Stefan-Boltzmann e a "fórmula da radiação" de Planck

Mas a potência irradiada por unidade de área, à temperatura T, com **comprimento de onda entre** λ **e** $\lambda + d\lambda$**,** corresponde a intensidades compreendidas no intervalo entre λ e $\lambda + d\lambda$, isto é, $R_\lambda d\lambda$.

A integral de $R_\lambda d\lambda$ (de 0 a ∞) dá a intensidade total da radiação emitida.

Logo, fazendo uso da expressão de Planck, teremos:

$$\sigma T^4 = \int R_\lambda \, d\lambda = \int [(c_1/\lambda^5) / (e^{c_2/\lambda T} - 1)] \, d\lambda$$ **(integral de 0 a ∞) (W/m^2)**

O cálculo da integral acima resulta em

$$\sigma T^4 = (8\pi^5 k^4 / 60 h^3 c^2) \, T^4$$

onde ***h* é a constante de Planck**, *k* é a constante de Boltzmann, e *c* é a velocidade da luz. (Ver Tipler, *Física Moderna*, p. 89).

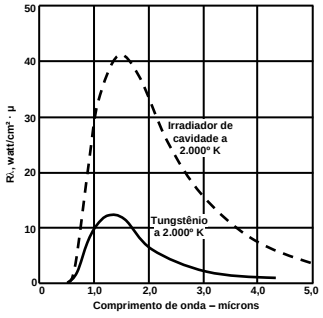


Figura 5 A radiância espectral do tungstênio a 2.000º K. A curva tracejada se refere a um irradiador de cavidade, à mesma temperatura. Um mícron (1 μ) = 10^{-6} m = 10^4 Å.

Discutir a área sob a curva tracejada

2. A lei de S-B para *Corpos Reais* – Em geral, os **"corpos reais"** não são perfeitos absorvedores da radiação, portanto a potência emitida por unidade de área, pelo corpo real, é dada por:

Potência total irradiada pelo **corpo real** por unidade de área $= \int e(\lambda,T)\, R_\lambda\, d\lambda = e\,\sigma\, T^4$

obtida a partir do cálculo da integral

$$\int e(\lambda,T)\, R_\lambda\, d\lambda = \int [e(\lambda,T)\, (c_1/\lambda^5) / (e^{c_2/\lambda T} - 1)]\, d\lambda$$

onde *e* **é a *emissividade* total**, supondo-se que pode ser desprezada a dependência da emissividade com o comprimento de onda e temperatura.

Para o filamento de tungstênio (às vezes chamado de *corpo cinza*) *e*=0,212

No nosso problema prático de determinar a constante de Stefan-Boltzmann, σ, igualaremos a potência total irradiada pelo corpo real, por unidade de área, à potência elétrica transferida para o filamento de tungstênio e traçaremos o gráfico de log(V·i) contra log T.

Potência total irradiada pelo **corpo real** $= e\,A\,\sigma\,T^4 = e\,A\,(8\pi^5k^4 / 60h^3c^2)\,T^4 = V \cdot i$

Justificando a expressão $V \cdot i = C\,(T-T_o) + e\,\sigma\,A\,(T^4-T_o^4)$ **usada para determinar** σ

Se a temperatura ambiente não for igual a 0 K, mas igual a uma temperatura T_o, então o "corpo real" também absorverá alguma energia do ambiente. Neste caso, transferência líquida de energia irradiada pelo "corpo real" poderá ser expressa da seguinte forma:

$$dU/dt = e\,\sigma\,A\,(T^4-T_o^4)$$

No entanto, quando o filamento está aquecido, o mesmo perde energia não só por radiação mas também por condução e por convecção. Assumindo que o transporte de energia realizado na forma de convecção e condução seja linear em relação a uma variação de temperatura então a taxa total de perda de energia para o meio é dada por:

$$dU/dt = C\,(T-T_o) + e\,\sigma\,A\,(T^4-T_o^4)$$

Se desconsiderarmos a energia do ambiente, a única fonte de energia que alimenta o filamento é proveniente da ddp aplicada a ele. Desse modo a taxa de energia emitida pelo filamento é igual à potência elétrica, $V \cdot i$, dissipada, ou seja

$$dU/dt = V \cdot i$$

Para altas temperaturas de filamento, a dependência linear da equação acima, $C(T-T_o)$, é desprezível em relação à quarta potência da temperatura.

No traçado do gráfico, usa-se também a aproximação em que se dispensa a energia absorvida do ambiente e é assumido que a única energia que alimenta o filamento é proveniente da ddp aplicada. Mesmo com essas aproximações, o valor obtido para sigma revela-se muito bom.

PLANCK E O PROBLEMA DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

J. F. M. Rocha

Segunda Parte

Em 1900, o físico alemão, Max Planck (1858-1947), que tinha sido aluno de Helmholtz e de G. Kirchhoff trabalhava na análise teórica de um fenômeno aparentemente obscuro conhecido como *radiação do corpo negro.*

Os altos fornos na Alemanha do final do século XIX

No final do século XIX a Alemanha vivia um período de progresso científico-tecnológico, às vezes, referido como período da segunda revolução industrial. Nessa época, a Alemanha tinha anexado ao seu território os centros de produção de carvão localizados na fronteira com a França.

Com o objetivo de produzir um aço de melhor qualidade, procurava-se controlar cuidadosamente a temperatura dos altos fornos, o que não podia ser feito com os termômetros comuns, em vista das altíssimas temperaturas. Para contornar tais dificuldades experimentais era necessário pesquisar as temperaturas, estudando-se o espectro (cores) das radiações térmicas emitidas, ou seja, procurando-se recolher as luzes provenientes dos fornos a diferentes temperaturas.

De acordo com Max Born, o estudo do espectro de radiação era do interesse também das industrias de lâmpadas (A lâmpada de Edson é de 1879)

A Radiação de *Corpo Negro*

Considere inicialmente a radiação emitida por um corpo aquecido tal como o filamento de tungstênio. Se fizermos esta radiação passar por uma rede de difração, a mesma sofrerá dispersão e a parte visível será detectada pelo olho como um espectro contínuo.

Questões: Será que o espectro de luz emitida pela superfície do filamento (de tungstênio) teria as mesmas características do espectro da luz emitida não pela superfície, mas por um orifício feito na superfície de sólido aquecido?

Será que um instrumento de medida indicará o mesmo valor de potência para qualquer intervalo $\Delta\lambda$ do espectro contínuo (centrado em λ)?

Resultados experimentais para o caso do corpo aquecido ser de tungstênio

Radiância espectral, $R_{\lambda,}$ é definida de modo que $R_\lambda d\lambda$ é a energia emitida por unidade de tempo e de área, à temperatura T e comprimento de onda λ, no intervalo $d\lambda$.

Radiância espectral, $R_{\lambda,}$ ou emitância espectral, $I(\lambda)$, ou $S(\lambda)$, é a intensidade por intervalo de comprimento de onda.

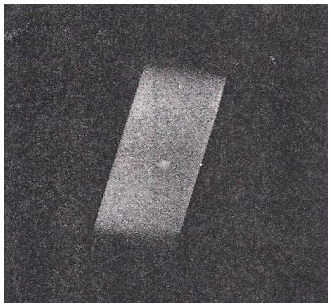


Figura 1 Fotografia de um tubo incandescente de tungstênio, tendo um pequeno orifício em sua parede. A radiação que emerge do furo é a radiação de cavidade.

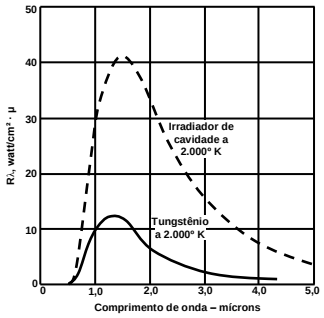


Figura 2 A radiância espectral do tungstênio a 2.000º K. A curva tracejada se refere a um irradiador de cavidade, à mesma temperatura. Um mícron (1 μ) = 10^{-6} m = 10^{4} Å.

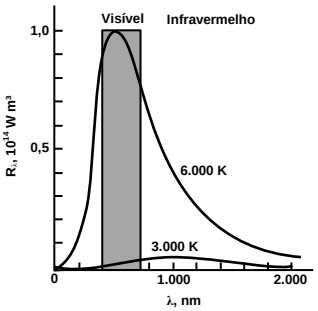


Figura 3 A radiância espectral de um irradiador de cavidade em duas temperaturas diferentes.

A Contribuição de Kirchhoff

A partir dos resultados experimentais, verifica-se que para cada material existe uma família de curvas de *Radiância Espectral*, R_λ, emitida pela superfície do corpo, sendo uma para cada temperatura.

Uma teoria básica para explicar quantitativamente os resultados experimentais esbarraria na falta de regularidade entre tais curvas.

Em 1959, Kirchhoff publicou seu artigo denominado *Sobre a relação entre a emissão e absorção de calor e luz.*

Em 1860, Kirchhoff mostrou que para facilitar o estudo é possível utilizar um **sólido aquecido ideal** ("um corpo *perfeitamente negro*") analogamente ao que se faz no estudo de gases, quando, em vez de analisar uma variedade infinita de gases reais, trata-se o caso do **gás perfeito**.

Para tais sólidos especiais (absorvedores e emissores ideais que não refletem radiação incidente sobre ele), **Kirchhoff mostrou que a distribuição de energia por eles emitida era função apenas de λ e de T** (poderíamos representá-la por R_λ ou $I(\lambda,T)$, por exemplo):

Do ponto de vista experimental,

> o problema seria então o de encontrar, na prática, este sólido aquecido ideal ou, pelo menos, um modelo físico que se aproximasse bastante deste sólido ideal, no que diz respeito as suas propriedades de emissão de luz.

Do ponto de vista teórico,

> o problema seria o de saber como se distribuiria a energia emitida pelo corpo negro (a uma certa temperatura) em função do comprimento de onda, isto é, encontrar a função distribuição espectral R_λ, que se ajustasse aos resultados experimentais.

Corpo Negro, segundo Kirchhoff

Kirchhoff define operacionalmente um corpo negro da seguinte forma:

> *"Dado um espaço fechado por corpos em temperatura igual, através dos quais não pode penetrar radiação, cada feixe de radiação no interior desse espaço é constituído, com respeito à qualidade e à intensidade, como se tivesse origem num corpo completamente negro à mesma temperatura".*
>
> (*Ann. Phys. Chem.*, 109, 275, 1860; citado por Pais, p. 432)

Função Universal I(v,T), de Kirchhoff

Diz Kirchhoff, em 1960:

> *"É uma tarefa de primordial importância descobrir esta função. Surgem grandes dificuldades no caminho de sua determinação experimental. Todavia, há fundada esperança de que ela tenha uma forma simples, como todas as funções que não dependem das propriedades dos corpos individuais e com as quais já travamos conhecimento no passado".*
>
> (*Ann. Phys. Chem.*, 109, 275, 1860; citado por Pais, p. 432)

O que é mesmo um corpo negro?

Um *corpo negro* é definido como aquele que absorve toda energia incidente sobre ele, de qualquer comprimento de onda, sem refletir, difundir ou transmitir (absorvedor perfeito), e, no equilíbrio térmico, reemite-a inteiramente sob forma de radiação.

Existem certos corpos, de superfície bem negra, como é o caso do **fumo,** do **alcatrão**, da **tinta de impressa, de veludo negro,** e de objetos cobertos por uma camada difusa de pigmentos pretos, tal como a **fuligem**, que praticamente só absorvem/reemitem, não refletindo a radiação que sobre eles incide. (Note que um *corpo negro*, à temperatura ambiente, pode tornar-se luminoso a uma temperatura mais alta).

A fuligem, por exemplo, "devolve" em forma de radiação térmica **99%** da radiação recebida! Apenas uma pequena fração é refletida. Tem propriedades próximas das de um *corpo negro.* Qualquer corpo coberto com fuligem é um bom exemplo de um corpo negro.

Um corpo negro ideal, verdadeiramente negro, é negro não só na zona do visível, mas também para todo o espectro; não reflete nenhum comprimento de onda.

Em laboratório, um ***modelo físico*** bem adequado para um objeto assim, denominado de *corpo negro*, é um cilindro metálico, oco, de paredes internas opacas, pintadas com tinta preta, revestidas com excelente isolante térmico e, além disso, espelhado externamente, refletindo toda a radiação incidente sobre ele, exceto numa pequena abertura em uma de suas faces. Um corpo negro seria ao mesmo tempo um receptor e emissor ideal.

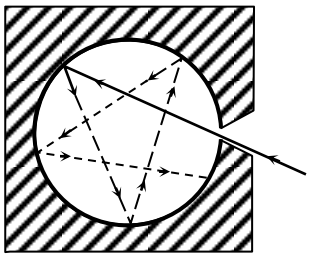
Um **forno** com um pequeno orifício seria um **exemplo caseiro** de um corpo negro.

Observação: Um corpo negro ideal é importante, pois, como dissemos, as características de sua radiação não dependem do volume, da forma ou do material de que é feito o corpo e podem ser calculadas teoricamente.

Por que tal cavidade metálica é um bom exemplo de um corpo negro?

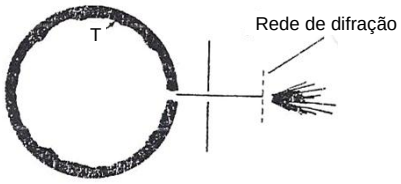
R.: Porque praticamente toda a radiação que penetrar pelo orifício da cavidade será absorvida por suas paredes internas, após múltiplas reflexões e apenas uma quantidade desprezível será **refletida** para fora da cavidade.

A radiação emitida pelo orifício (após ser absorvida pelas paredes) representará o equilíbrio entre a radiação e a matéria, no interior da cavidade. Desta maneira, em lugar de se estudar o comportamento das partículas carregadas na parede, pode-se estudar o comportamento da radiação no seu interior.



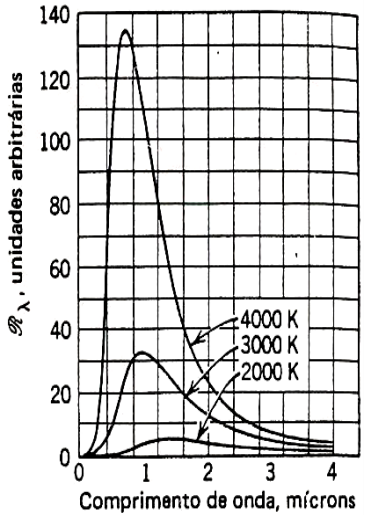
Com a ajuda de um espectrômetro de rede pode-se estabelecer relações entre a intensidade da radiação emitida e seu comprimento de onda.

A luz proveniente de uma cavidade passa por uma fenda colimadora e é separada em seus comprimentos de onda componentes por uma rede de difração.



Os instrumentos medem não a potência associada a cada λ, mas uma faixa espectral de largura $\Delta\lambda$*, centrada em λ. Note que o pico se desloca com o aumento da temperatura.

* daí a necessidade do conceito de radiância espectral



A radiância espectral de um irradiador de cavidade em três temperaturas diferentes.

O Postulado de Planck e a Função Distribuição

Para conseguir acordo entre os resultados experimentais relativos à *radiação do corpo negro* e as previsões teóricas, Planck postula que a **troca de energia** entre a radiação e os átomos da parede (osciladores) de uma *cavidade*, em equilíbrio térmico, a uma temperatura *T*, é **quantizada**:

> *– um oscilador de frequência f só poderia variar sua energia (emitir ou absorver) em múltiplos inteiros de um "quantum de energia" hf* (ou *hν*), *onde h é uma constante* (*ΔE=hν*).
>
> *– um oscilador não pode ter uma energia qualquer, mas apenas aquela que satisfaça à expressão* $E_n=nhf$.
>
> – Planck não introduz ainda a ideia de fóton, o que foi feito por Einstein.

1900 – 19 de outubro e 14 de dezembro – Planck

(Prêmio Nobel em 1919, pela descoberta do quanto elementar).

Em 7 de outubro de 1900 – Heinrich Rubens informou a Planck que para comprimentos de onda longos (baixas frequências) a densidade de energia (por unidade de volume), $\rho(\nu,T)$, é proporcional à temperatura T. Planck descobriu a fórmula da radiação nesse mesmo dia e informou a Rubens seu resultado através de um cartão postal na noite do mesmo dia.

Em 19 de outubro, Planck então obteve a "fórmula da radiação com duas constantes C e c" (identificadas aqui como c_1 e c_2), isto é, obteve a seguinte expressão para radiância ou emitância espectral, R_λ:

$R_\lambda = (c_1/\lambda^5)(e^{c2/\lambda T} - 1)^{-1}$ Planck, 1900: $c_2 = hc/k$; $c_1 = 2\pi c^2 h$

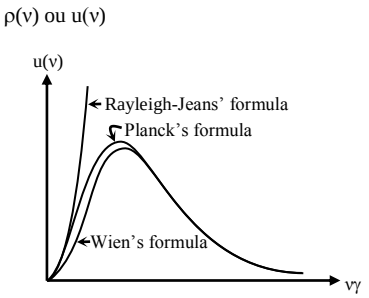
(Note que $e^{c2/\lambda T} = e^{(c2\,k/\lambda)/kT} = e^{E/kT}$, onde $E=(c_2k/\lambda)=hf=h\nu$ é o *quantum de energia*. Os osciladores de Planck podiam possuir apenas **energias totais** que satisfizessem a relação $E=nh\nu$, n=0, 1, 2, 3, …)

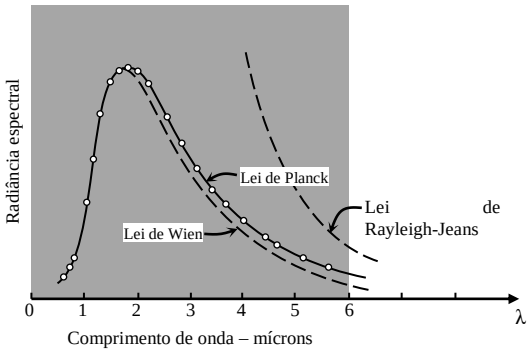
O artigo de Planck publicado em 19 de outubro é uma consequência direta de resultados experimentais mais precisos, obtidos por Lummer e Pringshein, em nov/1899 e por Kurlbaum e Rubens, em 1900. Tais resultados não eram explicados pela lei de distribuição de energia proposta em 1896 pelo físico alemão Wilhelm Wien (1864-1928; Prêmio Nobel em 1911, pelas leis da radiação térmica). De acordo com Planck, em seu artigo de 19 de outubro:

> *Os interessantes resultados das medidas da energia espectral de longo comprimento de onda que foram comunicados pelo Sr. Kurlbaum no encontro de hoje, e que foram obtidos por ele e pelo Sr. Rubens, confirmam a afirmação do Sr. Lummer e do Sr. Pringsheim, baseada em observações, que a lei de distribuição de energia de Wien não é válida de modo tão geral, quanto muitos supunham até agora, mas que esta lei, no máximo, tem a marca de um caso limite, e sua forma, excessivamente simples, deve estar restrita apenas a comprimentos de onda curtos e baixas temperaturas. Como, até mesmo eu, tenho manifestado nesta Sociedade a opinião que a lei de Wien deva ser necessariamente verdadeira, talvez possa me permitir explicar brevemente a relação entre a teoria da radiação eletromagnética desenvolvida por mim e os dados experimentais.*
>
> Max Planck, "Sobre um Aperfeiçoamento da Equação de Wien para o Espectro". Comunicação lida na sessão da Sociedade de Física Alemã, em 19 de outubro de 1900. (RBEF, v. 22, n. 4, dezembro de 2000)

A lei de distribuição de energia apresentada em 19 de outubro foi o primeiro momento da descoberta de Planck. No artigo publicado nessa data, Planck apresenta sua lei inspirado nos trabalhos de Wien, escolhendo entre algumas alternativas que dispunha aquela "que é tão simples quanto à expressão de Wien e que deveria ser investigada uma vez que a expressão de Wien não é suficiente para cobrir todas as observações". No dia 14 de dezembro, Planck comunicou aos membros da Sociedade Alemã de Física a dedução teórica de sua formula, proposta em 19 de outubro, em que teve de introduzir a hipótese da descontinuidade de energia dos osciladores (num "ato de desespero" como ele mesmo posteriormente declarou).

Comparação dos Resultados das Fórmulas de Wien, Rayleigh e Planck





Descrição matemática

1893 – Wien $R_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5}\frac{1}{e^{c_2/\lambda T}}$

1900 – Rayleigh-Jeans (1905) $R_\lambda = \frac{c_1}{c_2} T/\lambda^4$

1900 – Max Planck $R_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{c_2/\lambda T}-1}$

com $c_1 = 2\pi c^2 h; c_2 = hc/k$

A curva que obedeceria a lei de Rayleigh-Jeans foi indicada (traçada) por nós, e não por Coblentz, com o objetivo de comparação. Note que apenas para λ muito superiores a 6 μm haveria concordância entre a previsão teórica de R-J e os resultados experimentais de Lummer/Pringsheim (12–18μm para 300ºC-1650ºC) de 18.11.89 e também com os resultados de Kurlbaum/Rubens (30-60μm para 200ºC-1500ºC) de 19.10.1900.

Os círculos indicam os dados experimentais da radiância espectral obtidos por Coblentz para a radiação de cavidade. Aparecem, também, os resultados das formulas teóricas de Wien e Planck, fornecendo esta ultima uma excelente concordância com a experiência.

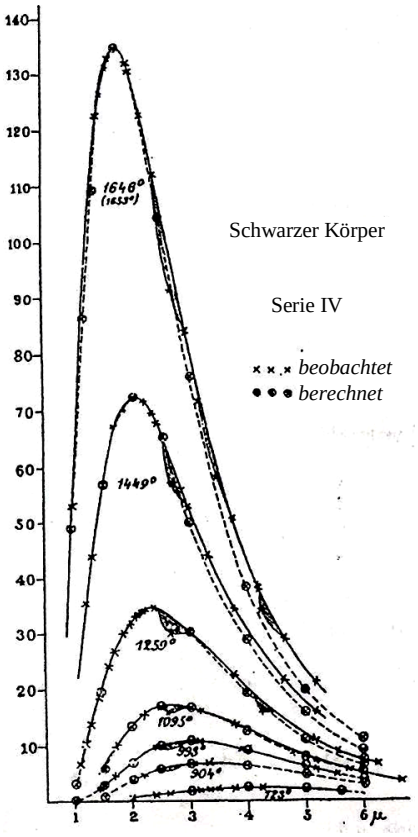


Figura 4. *Intensidade espectral como função do cumprimento de onda obtida por Lummer e Pringsheim em novembro de 1899. Extraído da Ref.*

Observações sobre a radiação térmica

A ***radiação térmica*** é a radiação emitida por um corpo **devido a sua temperatura,** ou melhor, devido ao mesmo encontrar-se a uma certa temperatura. A radiação térmica origina-se de partículas carregadas aceleradas que estão próximas da superfície do corpo. As cargas agitadas termicamente podem ter uma distribuição de acelerações (as cargas não estão igualmente aceleradas) o que explica o espectro contínuo. Portanto, ela **tem origem no movimento caótico dos átomos e moléculas** que constituem o corpo emissor. Ela não dá informações detalhadas a respeito da estrutura dos átomos.

Qualquer material (a $T \neq 0K$) emite radiação térmica para o meio que o envolve. Se estiver mais quente que o meio, a emissão será maior que a absorção e, por isso, sua temperatura diminuirá e a do meio aumentará até atingir o *equilíbrio térmico.* Em equilíbrio termodinâmico ele emite tanta energia quanta a que absorve.

Toda radiação térmica é radiação eletromagnética, mas nem toda radiação eletromagnética é de natureza térmica.

As radiações emitidas por *lasers*, fornos de micro-onda, LED's, controles remotos de infravermelho, telefones celulares, radares etc., não são do tipo térmica, pois não obedecem às mesmas leis que a radiação térmica (Lei de deslocamento de Wien, por exemplo). Elas são obtidas pela reordenação dos átomos e moléculas.

Na temperatura ambiente os comprimentos de onda da radiação térmica estão principalmente na região infravermelha e, portanto, não são observadas pela vista humana.

O infravermelho é vulgarmente dividido em quatro regiões:

Próximo do visível – 780 – 3000 nm
Intermediário – 3000 – 6000 nm
Térmico – 6000 – 15.000 nm (< 0,015 cm)
Longínquo – 15.000 – 1.000.000.000 nm (< 100 cm)

(esta energia é gerada por osciladores de micro-ondas e fontes incandescentes, isto é, osciladores moleculares)

Muitas moléculas têm ressonância vibracional e rotacional no infravermelho e constituem bons absorvedores; **é esta a razão pela qual se chama erroneamente "ondas de calor" à radiação infravermelha** – quando se expõe a cara ao Sol sente-se a acumulação da energia térmica resultante.

Apêndice 4 – Texto Complementar 10

HERTZ E A DESCOBERTA DO EFEITO FOTOELÉTRICO

J. F. M. Rocha

Primeira Parte

Laboratório – Efeito fotoelétrico

1) O efeito fotoelétrico consiste, basicamente, na emissão de elétrons induzida pela ação da luz. Para se observar este efeito de forma simples, pode-se utilizar uma lâmina de zinco ligada a um eletroscópio de folhas, como na Figura 1.

   Inicialmente, mede-se a velocidade de descarga do eletroscópio, com a lâmina carregada positiva e negativamente. A lâmina é então iluminada com a luz de uma lâmpada de arco voltaico, que tem boa quantidade de radiação ultravioleta.

   Dois efeitos podem ser observados:

   a) se a lâmina de zinco está carregada positivamente a velocidade de descarga do eletroscópio não se modifica;

   b) no entanto, se a lâmina estiver carregada negativamente, o eletroscópio se descarrega (as folhas se aproximam) com grande rapidez.

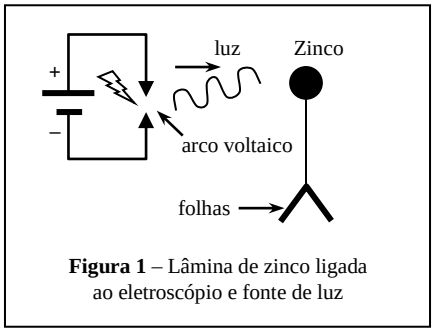
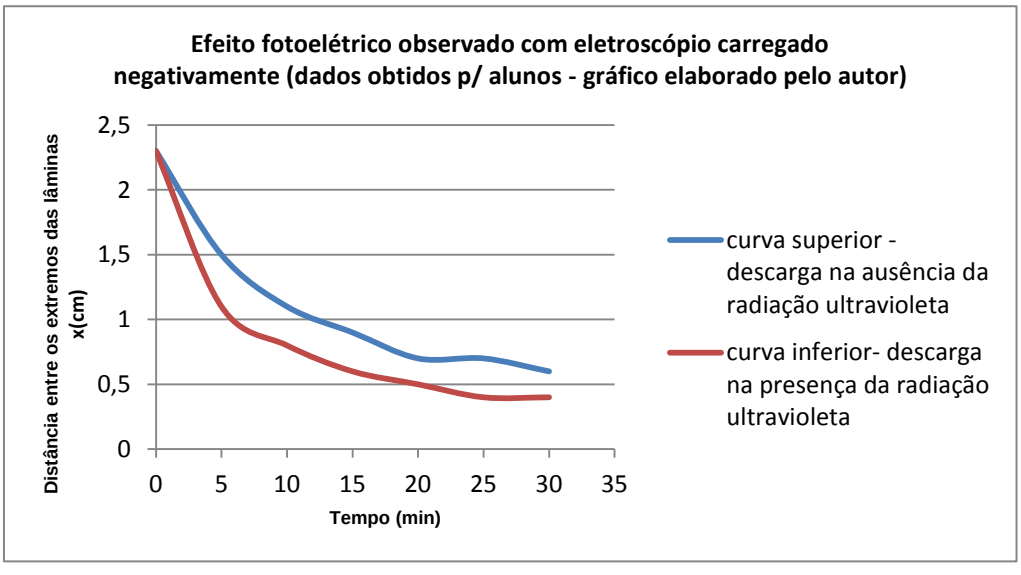
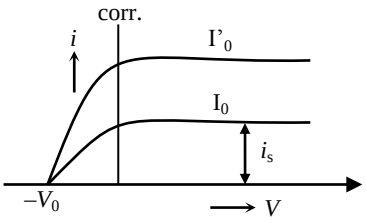


Figura 1 – Lâmina de zinco ligada ao eletroscópio e fonte de luz

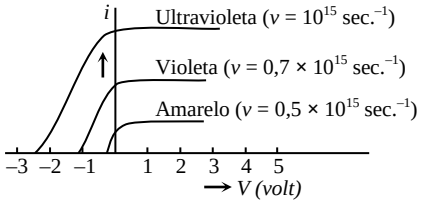
Extraída do roteiro de experiências do Laboratório de Estrutura da Matéria do I. Física.



2) Utilizar os equipamentos do Laboratório de Estrutura da Matéria, para demonstrar que a energia cinética máxima dos elétrons arrancadas da célula fotoelétrica depende da frequência da luz incidente (usar filtros diferentes).

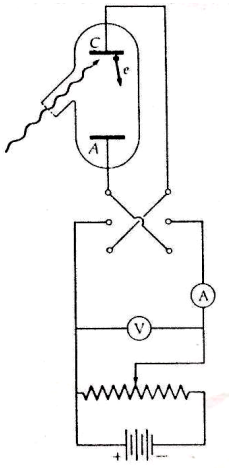


Variação de *i* com *V*



Variação de *i* com a frequência da luz

Desenho esquemático do aparelho para investigar o efeito fotoelétrico. A luz atinge o catodo C e arranca elétrons. O numero de elétrons que atingem o anodo A é medido pela corrente no amperímetro. O anodo pode estar positivo ou negativo em relação ao catodo, a fim de atrair ou repelir os elétrons.



HERTZ E A DESCOBERTA DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Segunda Parte

"Hertz descobriu o efeito fotoelétrico quando ficou intrigado com um efeito periférico que observou no decurso de investigações sobre a natureza eletromagnética da luz. Estudando faíscas geradas por diferenças de potencial entre duas superfícies metálicas, uma faísca primária, proveniente de uma superfície, originou uma segunda faísca na outra. Como esta ultima era difícil de observar, Hertz construiu uma cobertura em volta para eliminar a luz difusa. Ficou surpreendido por causar, dessa forma, uma diminuição da segunda faísca. Descobriu depois que este efeito era provocado pela parte da cobertura que estava interposta entre as duas faíscas. Não era um efeito eletrostático, pois a superfície interposta podia ser um condutor ou um isolante, sem que isto provocasse diferença de qualidade. Suspeitou que o efeito podia ser atribuído à luz produzida pela primeira faísca, e, numa deliciosa série de experiências, confirmou sua suspeita. A luz pode produzir faíscas. Ele aumentou a distância entre as superfícies metálicas até que não fossem mais produzidas faíscas, e depois iluminou as superfícies com luz de um arco voltaico elétrico próximo; as faíscas reapareceram. Chegou também à conclusão (não totalmente correta) de que, ´se o fenômeno observado é, na verdade, uma ação da luz, então é exclusivo da luz ultravioleta`".

Abraham Pais, em *"Sutil é o Senhor…" – A Ciência e a Vida de Albert Einstein. Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro, 1995, p. 450.*

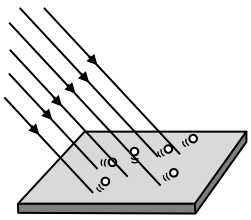
Efeito Fotoelétrico

1872 – Alexandre G. Stoletov –

Às vezes é citado como o primeiro cientista a observar o efeito fotoelétrico. Stoletov trabalhava na Universidade de Moscou.

Ver também Stoletov, A. G., 1888. C. R. Acad. Sci, Paris 106 1149.

1887 – Heinrich Hertz –



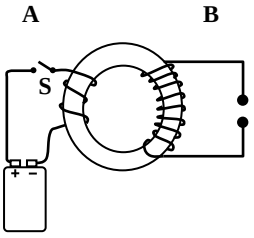
Efeito fotoelétrico

Na mesma experiência na qual Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas (com λ da ordem de 1m), descobriu o efeito fotoelétrico, que levou à descrição corpuscular da luz.

Nesse ano, publica:

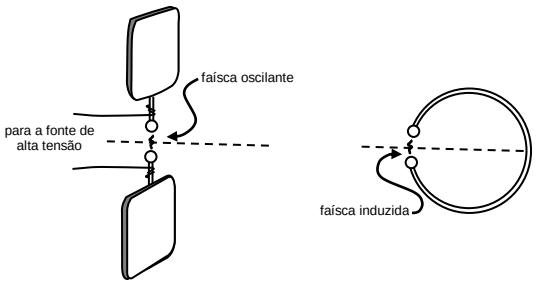
On an Effect of Ultraviolet Light upon the Electric Discharge

("Sobre um Efeito da Luz Ultravioleta nas Descargas Elétricas")



Funcionamento de uma bobina de indução: quando se liga ou se desliga a corrente do enrolamento A por meio de um interruptor S, produz-se um campo magnético que varia rapidamente no núcleo de ferro. Este campo variável induz picos de alta tensão na bobina B, constituída por um maior numero de espiras do que A e pode originar o aparecimento de uma faísca no espaço existente entre as extremidades indicadas. As bobinas de ignição que se usam nos motores dos automóveis funcionam assim.

Hertz constatou que as correntes induzidas no circuito de recepção eram mais intensas quando os terminais eram iluminados pela luz proveniente da faísca elétrica entre os terminais do circuito emissor.



Para gerar as ondas Hertz produzia descargas oscilantes fazendo saltar uma faísca entre dois eletrodos. Para detectar as ondas ele usava uma antena onde a detecção era acompanhada de uma faísca entre os eletrodos.

Acidentalmente notou que quando a luz (predominantemente violeta e ultravioleta) do dispositivo gerador não atingia o dispositivo receptor, o intervalo no receptor tinha de ser diminuindo para permitir a passagem das fagulhas.

Hertz não levou adiante estas investigações, mas outros o fizeram.

1889 – Wilhelm Hallwachs –

Pôs em evidência a liberação de partículas negativas das superfícies metálicas do Zn, Na, K, quando iluminadas de modo semelhante.

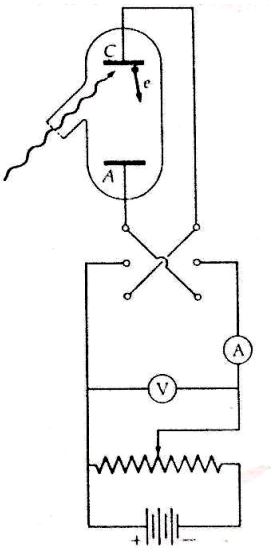
Compreendeu-se depois que eram os elétrons assim ejetados, acelerados pela ddp entre os eletrodos, que contribuíam para ionizar o ar e facilitar a descarga.

1889 – J. Elster e H. Geitel –

Revelam que os chamados fotoelétrons* eram expulsos das superfícies metálicas iluminadas emergindo com velocidades pequenas, mas finitas, com valores desde zero até um valor máximo.

Quando o eletrodo de recepção se encontrava negativo em relação à placa iluminada, exercia-se uma força sobre os elétrons que se opunha ao movimento.

Usavam circuitos do tipo:



Desenho esquemático do aparelho para investigar o efeito fotoelétrico. A luz atinge o catodo C e arranca elétrons. O numero de elétrons que atingem o anodo A é medido pela corrente no amperímetro. O anodo pode estar positivo ou negativo em relação ao catodo, a fim de atrair ou repelir os elétrons.

* Nome introduzido por Lenard – 1902.

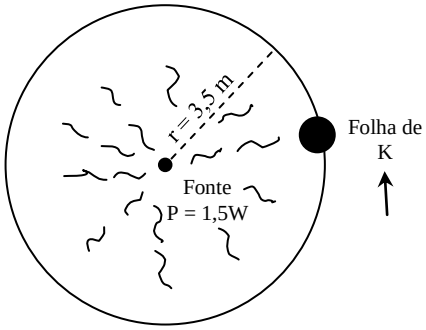
Problema do atraso no tempo

Elster e Geitel mostraram também que não existia nenhum atraso mensurável entre o instante em que a placa é iluminada e o início da emissão fotoelétrica. Mas c*lassicamente isto não era compreensível.*

EXERCÍCIO: Uma folha de potássio está a uma distância r=3,5m de uma fonte de luz cuja potência P=1,5W. Supondo que a luz incidente seja uma onda, **calcule quanto tempo seria necessário para que a folha aumentasse uma energia suficiente (=1,8 eV**) para ejetar um fotoelétron? Suponha que o elétron absorva sua energia de uma área circular da chapa cujo raio é de $5{,}3 \times 10^{-11}$m. (valor aproximado do raio de um átomo médio).

Se a fonte de luz irradiar uniformemente em todas as direções, a intensidade I da luz na chapa será:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{1{,}5W}{4\pi(3{,}5m)^2}$$



A taxa de energia que incide sobre o alvo (elétron) é:

$P' = P.\ \pi\ r'^2 / 4\ \pi\ r^2 = 1{,}5\ W / 4\ (5{,}3 \times 10^{-11}\ m / 3{,}5\ m)^2 = 8{,}5 \times 10^{-23}\ W$

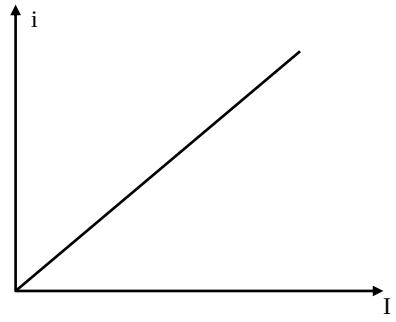
Se toda energia for absorvida, o tempo necessário para ejetar o elétron será:

$T = 1{,}8\ eV / 8{,}5 \times 10^{-23}\ J/s = 1{,}8 \times 1{,}6 \times 10^{-19} / 8{,}5 \times 10^{-23}\ C.(J/c) = 56 \times 60\ s$

$T = 56$ mim

No entanto, não foi detectado nenhum atraso, experimentalmente!

1893 – constatou-se que a corrente fotoelétrica (i) era diretamente proporcional à quantidade de luz (irradiância) incidente (I).



Estes resultados não se afastam da Física Clássica: quando I aumenta, a energia total absorvida pela superfície e o número de fotoelétrons emitidos aumentam proporcionalmente.

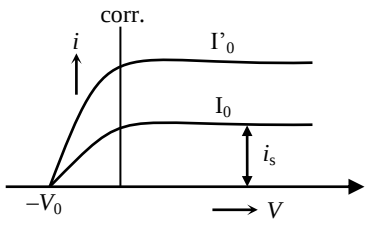
1900 – Phillip Lenard (antigo colega de Hertz) –

Por volta de 1900, Lenard desviou os raios (as partículas negativas) por intermédio de um campo magnético e verificou que eles possuíam uma razão *e/m* da mesma grandeza que a medida por J. J. Thomson para os raios catódicos.

Confirmou que a intensificação da faísca observada por Hertz resultava da emissão de elétrons.

1902 – Phillip Lenard –

- Descobriu que, para um dado metal, o potencial de freamento (potencial de corte, potencial de parada) e, portanto, a energia cinética máxima dos elétrons, não dependia da quantidade de luz (intensidade, densidade de fluxo da radiação ou irradiância) que iluminava a placa.
- Mesmo quando a quantidade de luz incidente aumentava de 70 vezes, V_o não se alterava mais do que 1%.
- Observou que a corrente (máxima) é proporcional à intensidade de luz.
- Aparentemente, o que estava acontecendo era que aumentando a razão de energia que incide sobre o catodo não se aumentava a energia cinética máxima dos elétrons emitidos.

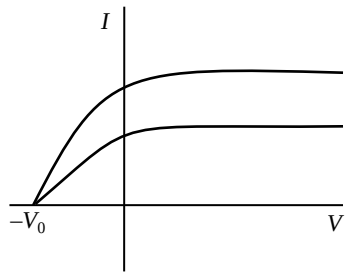


Variação de *i* com *V*

Problema da Intensidade

O que se esperaria acontecer com os elétrons ao se variar a intensidade da luz, segundo a teoria clássica?

Quando se aumenta a intensidade de um feixe de luz, aumenta também a amplitude do vetor campo elétrico oscilante **E**. A força que o feixe incidente exerce sobre o elétron é e**E**.



Corrente fotoelétrica em função de voltagem V, em dois valores da intensidade da luz. Não há corrente quando V for menor que $–V_o$. A corrente de saturação para valores grandes de V, é proporcional à intensidade da luz.

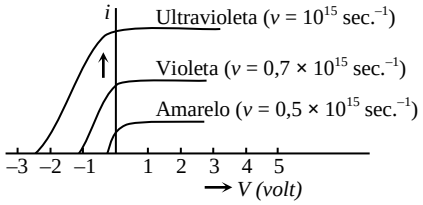
Dever-se-ia esperar que quanto mais intensa fosse a luz mais energéticos seriam os fotoelétrons ejetados, contudo V_o não revelava dependência da intensidade da luz.

A energia cinética dos fotoelétrons é independente da intensidade da luz.

Variando a Frequência

Lenard não investigou a relação entre a energia cinética dos elétrons emitidos e a frequência.

O que aconteceria se variássemos a frequência da luz incidente (colocando filtros de cores diferentes, por exemplo)?



Variação de *i* com a frequência da luz

Gráfico válido para metais alcalinos (K, por exemplo). Para a maioria dos metais tem-se que usar a luz ultravioleta.

O aspecto qualitativo da curva permanece o mesmo, mas o valor do potencial de freamento V_o muda, aumentando com o aumento da frequência.

Classicamente a energia cinética máxima deveria depender da intensidade e não da frequência.

Note que para frear um elétron é necessário usar uma ddp, V, retardadora tal que

$eV=T$ onde T é energia cinética dos elétrons; os elétrons podem ter T diferente

O potencial de freamento deve estar associado a elétrons com T (energia cinética) máxima da seguinte forma:

$$T_m = eV_o$$

Problema da frequência

De acordo com a física clássica, os elétrons deveriam ser ejetados a qualquer frequência da luz incidente, desde que houvesse intensidade suficiente para isto, pois a energia transferida independe da frequência.

Mas parecia que, de algum modo, a energia cinética máxima variava com a frequência da luz e não com a energia total incidente. Hertz já havia mostrado que a radiação ultravioleta mais que a luz visível estimulava a emissão de fotoelétrons.

Conclusão - à medida que se aumentasse a frequência da radiação incidente, se acabava por atingir um valor para o qual se desencadearia a emissão de fotoelétrons!!!

1905 – Einstein –

Publica: "*Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz*"[52]

Extensão das ideias de Planck:

Einstein levantou a *hipótese* arrojada de que algumas vezes a luz se comporta como se sua energia estivesse concentrada em pacotes discretos que ele chamou de "quantum de luz".

Em outras palavras, a radiação eletromagnética de frequência f consiste de quanta de energia

$E=hf$ (para um único fóton)

Einstein:

> *"A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron, vamos supor que é isso que acontece"*

Neste caso:

$(½)mv^2_m=eV_o=hf-W$ equação de Einstein do efeito fotoelétrico, onde W é chamada função trabalho

> *"Se a fórmula deduzida é correta, um gráfico de V_o em função da frequência da luz incidente deve resultar numa reta cujo coeficiente angular deve ser independente da natureza da substância iluminada".*

Significado físico da *função trabalho* W:

Quando os elétrons são extraídos, a carga positiva remanescente tende a atraí-lo de volta e é preciso fornecer energia suficiente para vencer esta atração.

Os elétrons no interior do catodo podem ter energias variadas e podem provir de profundidades diferentes; os elétrons arrancados podem ter direções e energias diferentes.

1913 – Max Planck –

Em uma carta (com mais 4 físicos alemães) dirigida à Academia de Ciências da Prússia, propondo Einstein como membro titular:

> *"Em suma, pode-se afirmar que não há praticamente nenhum dos grandes problemas em que a física moderna é tão rica, ao qual Einstein não tenha dado alguma contribuição. Que às vezes tenha errado o alvo em suas especulações como por exemplo em sua hipótese dos "quanta de luz" não pode realmente ser tomado como uma acusação muito séria contra ele, pois não é possível introduzir ideias verdadeiramente novas, mesmo nas ciências mais exatas, sem correr alguns riscos de vez em quando" (!!!)*

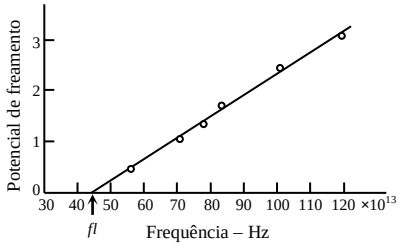
[52] A palavra "heurística" deriva do termo grego "heurisko", que significa "eu descubro". É entendida atualmente como o estudo dos métodos e das abordagens que são usados na descoberta e na solução de um problema. Está entre a formalidade da lógica e o lampejo da inspiração. De acordo com Pais, um *princípio heurístico* pode ser entendido como aquele que fornece auxílio e direção na solução de um problema não sendo justificado ou passível de justificação, de outro modo.

1913 –

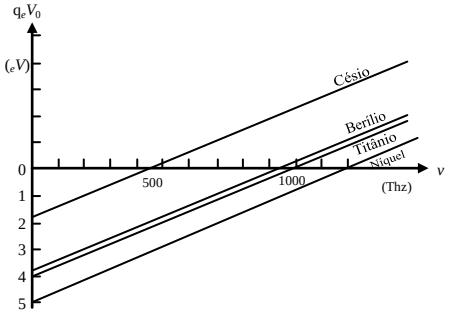
A verificação da dependência com a frequência acabou sendo um problema experimental difícil e até 1913 ainda não se tinha claro se os dados podiam ser mais bem ajustados usando f proporcional a V_o ou a $V_o^{½}$.

1915 – R. A. Millikan –

"Despendi dez anos de minha vida a testar a equação de Einstein de 1905; contrariamente a todas as minhas expectativas vi-me obrigado em 1915 a afirmar sua completa verificação experimental embora nada tivesse de razoável uma vez que parecia violar o que conhecíamos sobre a interferência da luz".



Não há elétrons ejetados abaixo de uma certa frequência ("frequência de corte") $f_c = W/h$



Dados de Millikan sobre o potencial em função da frequência, no efeito fotoelétrico. Os dados estão alinhados sobre uma reta que tem o coeficiente angular h/e, conforme previsão de Einstein, uma década antes da experiência. (De R. C Millikan, Physical Review, vol. 7, pág. 362, 1916)

1921 – Einstein –

Ganha o Prêmio Nobel pelas suas contribuições à Física Teórica e pela sua teoria do efeito fotoelétrico.

1923 – Robert A. Millikan –

Recebe o Prêmio Nobel, em parte por seus trabalhos experimentais sobre o efeito fotoelétrico.

1926 – G. N. Lewis –

Dá o nome de fóton para o quantum de luz.

1927 – Guido Beck –

A equação do efeito fotoelétrico não demonstra a existência de fótons; após a formulação da Mecânica Quântica, Beck mostrou que a relação de Einstein resulta da quantificação da matéria (átomos), sendo desnecessário para obtê-la quantizar a radiação.

Observação: o termo *luz*, às vezes, é usado num sentido mais amplo, designando não somente *luz visível* como também outras radiações do espectro eletromagnético.

Apêndice 4 – Texto Complementar 11

DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS

J. F. M. Rocha

Primeira Parte

Laboratório – ondas de matéria

1) Meça a massa de uma esfera de isopor com a balança existente no Laboratório de Física Básica IV. Meça também o tempo que a mesma gasta para percorrer, com velocidade aproximadamente constante, a distância entre a posição do professor e a posição de um aluno que apara a esfera de isopor após esta ser lançada pelo professor.
   Determine o comprimento de onda associado a este corpo.

2) Repetir a experiência acima lançando a esfera de isopor com velocidade maior.

Laboratório – Difração de Elétrons

Estabelecer analogias entre **difração de elétrons e de raios-X** com base no experimento em que se usa micro-ondas para se fazer a simulação da "difração de Bragg".

Relembrar "Difração de Bragg usando micro-ondas"

Em experiências reais, usa-se raios-X para se estudar a estrutura de materiais tipo cobre, prata, quartzo, cloreto de sódio etc.
Micro-ondas podem ser usadas para simular o estudo da estrutura de um cristal.

Dada uma estrutura cristalina cúbica simples, determine a distância interplanar relativa ao plano (111). Para tanto, meça o ângulo de Bragg correspondente ao citado plano.

Observação:
A corneta receptora contém uma antena a qual é feita de um fio condutor metálico de comprimento igual à metade do comprimento de onda da micro-onda (aproximadamente λ=3cm, no caso das nossas cornetas). Nessa antena, o campo elétrico da onda gera uma corrente senoidal que pode ser medida por um amperímetro.

Por outro lado, num fio percorrido por uma corrente, como se sabe, podemos definir um vetor densidade de corrente **J**, que é proporcional ao campo elétrico da onda $\mathbf{J}=\sigma\mathbf{E}$. Além disso, a corrente é proporcional à componente do vetor densidade de corrente **J** na direção da antena ($I=AJ_{//antena}=A\sigma E_{//antena}$), ou seja, à componente do campo elétrico da onda nessa direção.
Assim, ao medirmos a corrente, estamos medindo também a componente do campo elétrico da onda na direção da antena receptora ($I \propto E_{//antena}$)

DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS

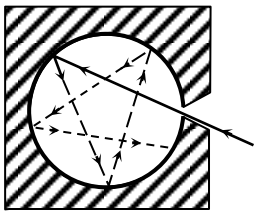
J. F. M. Rocha

Segunda Parte

Revisão – Dualidade onda-corpúsculo para a Luz

1900 – Max Planck –

- Vimos anteriormente que para conseguir acordo entre os resultados experimentais relativos a *radiação do corpo negro* (radiação de cavidade) e as previsões teóricas, Planck postula que a **troca de energia** entre a radiação e os átomos da parede (osciladores) de uma *cavidade*, em equilíbrio térmico, a uma temperatura T, **seria quantizada**:



um oscilador de frequência f só poderia alterar sua energia (emitir ou absorver) em múltiplos inteiros de um "quantum de energia" hf, onde h é uma constante. ($\Delta E = hf$)

– Planck não introduz ainda a ideia de fóton.

1905 – Albert Einstein –

- Estende a hipótese dos *quanta de energia* de Planck para o *efeito fotoelétrico*;
- Hipótese de Einstein:

  a radiação eletromagnética de frequência f consiste de quanta de energia;
  (viaja no espaço em pacote de energia!)

- Depois os quanta foram chamados de *fótons*.
- Para Einstein não é somente a troca que se daria em quantidade discretas, mas para ele é a própria radiação luminosa que seria constituída de fótons:

  $E = hf$ (energia do fóton)

  De acordo com a Teoria Eletromagnética de Maxwell, a energia *E* e o momento *p* de uma onda eletromagnética se relacionam através da equação:

  $E = pc$ (ver também M. Nussenzveig, p. 215)

- Do mesmo modo, segundo a Teoria da Relatividade Restrita, a energia e o momento de uma partícula de massa de repouso m_o (elétron, próton etc) estão relacionadas por:

  $E^2 = p^2c^2 + m_o^2c^4$;

- O comportamento do fóton deve poder ser descrito em ambas as teoria e as equações devem verificar-se simultaneamente (devem mesmo ser idênticas)

  deduz, portanto, que a massa de repouso m_o de um fóton deve ser igual a zero.

- Igualando $E = hf$ à equação $E = pc$, obteremos:

  $E = pc = hf$ *de onde* $p = h/\lambda$ onde p é o momento linear do fóton e λ=c/f é o comprimento de onda da luz

  ou $\lambda = h/p$ equação confirmada para o fóton, em 1923, por Arthur Compton. O conceito de fóton é uma das grandes contribuições de Einstein para a física quântica, mas a expressão λ=h/p só aparece explicitamente nos seus trabalhos em 1916. J. Stark a escreveu explicitamente em 1909.

A ideia de Louis de Broglie – Prêmio Nobel, de 1929

"Por um lado, a teoria quântica da luz não pode ser considerada satisfatória, pois ela define a energia de um corpúsculo de luz pela equação *E=hf*, que contém a frequência *f*. Ora, uma teoria puramente corpuscular não contém nada que nos permita definir uma frequência; portanto, apenas por este motivo somos forçados, no caso da luz, a introduzir, simultaneamente, a ideia de um corpúsculo e a de uma periodicidade. Por outro lado, a determinação do movimento estável dos elétrons no átomo introduz inteiros, e até então os únicos fenômenos envolvendo inteiros na física eram aqueles da interferência e dos modos normais de vibração. Este fato sugeriu-me a ideia de que também os elétrons não poderiam ser considerados simplesmente como corpúsculos, mas que também a periodicidade deveria ser associada a eles".

(Extraído do discurso de aceitação do PN. Ver *Física* Sears, v. 4)

As previsões de Louis de Broglie e a verificação experimental feita por Davisson

Davisson: Discurso de aceitação do Prêmio Nobel

"Talvez nenhuma ideia em física tenha sofrido desenvolvimento tão rápido como esta. De Broglie esteve na vanguarda de seu desenvolvimento, mas as contribuições principais foram feitas por Schroedinger, mais velho e mais experiente.

Nesses primeiros dias, há 11 ou 12 anos (i.e., 1925 ou 1926), a atenção estava voltada para as ondas eletrônicas em átomos. A mecânica quântica havia brotado do átomo, por assim dizer, parecendo então natural que as primeiras aplicações fossem para esta partícula. Nessa época, parece que não foi feita nenhuma reflexão com respeito a elétrons em voo livre. Estava implícito na teoria que feixes de elétrons, como feixes de luz, exibiriam propriedades de ondas que, espalhadas por uma grade apropriada, apresentariam difração, muito embora nenhum dos teóricos principais tenha mencionado esse interessante corolário. O primeiro a chamar atenção para esse fato foi Elsasser, em 1925, observando que uma demonstração de difração estabeleceria a existência física de ondas eletrônicas. Estava então completa a arrumação do palco para a descoberta da difração de elétrons.

Seria agradável dizer a vocês que, tão logo surgiu a sugestão de Elsasser, tiveram início em Nova York as experiências que resultaram na demonstração da difração de elétrons; mais agradável ainda seria dizer que o trabalho começou no dia seguinte da chegada à América das cópias da tese de L. de Broglie. A verdadeira história contém menos perspicácia, sendo mais um produto do acaso. O trabalho começou realmente, em 1919, com a descoberta acidental de que o espectro de energia de emissão do elétron secundário possuía como limite superior dos elétrons primários, mesmo para elétrons primários acelerados por centenas de volts; o que é de fato um espalhamento elástico de elétrons por metais.

Em consequência, iniciou-se uma investigação da distribuição angular desses elétrons elasticamente espalhados. O acaso, então, interveio novamente; foi descoberto, por acidente, que a intensidade do espalhamento varia com as oscilações dos cristais espalhadores. Como consequência natural, surgiu uma investigação do espalhamento elástico por um único cristal e orientação preestabelecida. O início dessa fase do trabalho ocorreu em 1925, o ano seguinte à publicação da tese de L. de Broglie e anterior ao grande desenvolvimento da mecânica quântica. A experiência de Nova York não foi portanto, no principio, um teste da teoria quântica. Somente no verão de 1926 ela assumiu esse caráter, quando eu discuti a investigação na Inglaterra com Richardson, Born, Franck e outros.

A procura de feixes de difração foi iniciada no outono de 1926, mas somente no início do ano seguinte foi encontrado um e então vinte outros em rápida sucessão. Dezenove desses puderam ser usados para verificar a relação entre o comprimento de onda e o momento e, em cada caso, a validade da fórmula de L. de Broglie, $\lambda = h/p$, foi verificada dentro dos limites de precisão das medidas.''

(ver *Física*, Tipler)

Difração de Elétrons

1924 – Louis de Broglie (francês) –

- Sugere que a matéria deveria ter comportamento ondulatório, baseado em aspectos de **simetria** da natureza: já que o fóton tem comportamento ondulatório, então o elétron e outras partículas também podem ter:

  $\lambda=h/p$, $E=h\nu$ (ou hf)

  Durante a defesa de tese, Jean Perrin perguntou a de Broglie se as suas ondas poderiam ser detectadas experimentalmente. A resposta de Louis de Broglie foi que talvez fosse possível fazer experiências de difração de elétrons em cristais.

1926 – Elsasser –

- Notou que se poderia verificar a natureza ondulatória da matéria da mesma maneira pela qual se verificou pela primeira vez a dos raios X.

Para pensar:

– Que comprimento de onda poderia estar associado a um elétron?

Problema

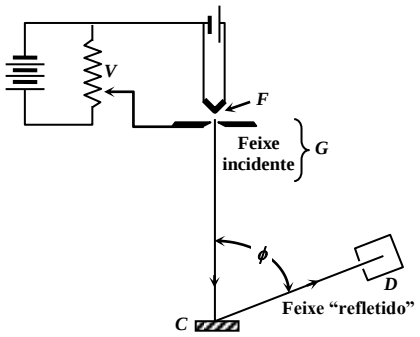
Suponha válida a *relação de L. de Broglie*: $\lambda = h/p$

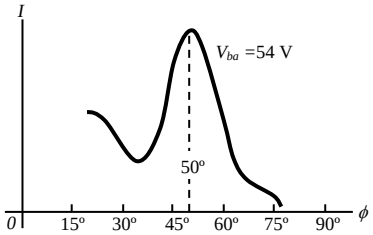
Calcule o comprimento de onda que cada elemento de um feixe de elétrons lentos teria ao ser difratado por uma rede cristalina (monocristal metálico). Suponha que o feixe de elétrons é acelerado por uma tensão de **54V.**

$\lambda = h/\sqrt{(2.m.e.V)} = 1{,}67$ Å ; $P^2/m^2 = e.V$;

$h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ J.s
$m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ Kg
$e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

1927 – C. J. Davisson e L. H. Germer examinaram esta ideia através do aparelho abaixo e concluíram e obtiveram um resultado experimental que era aproximadamente igual ao previsto pela relação de L de Broglie.

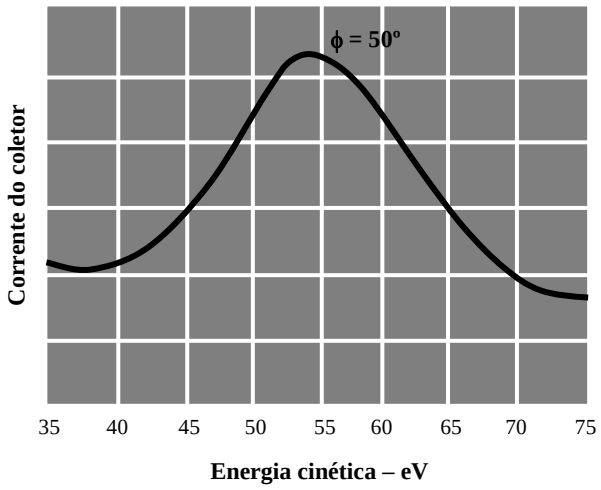


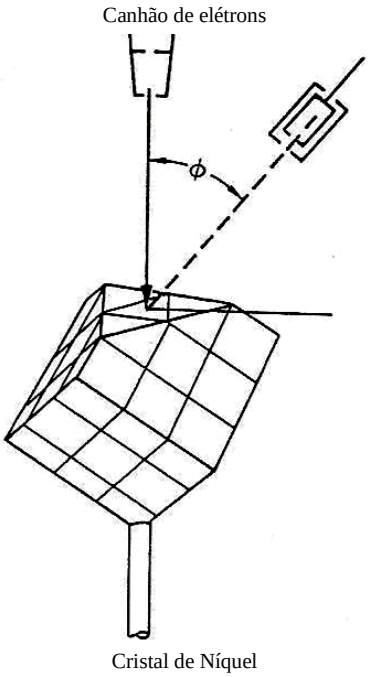


O aparelho de Davisson e Germer. Os elétrons provenientes do filamento F são acelerados por uma diferença de potencial variável V. Depois de "refletidos" pelo cristal C, são coletados pelo detector D.

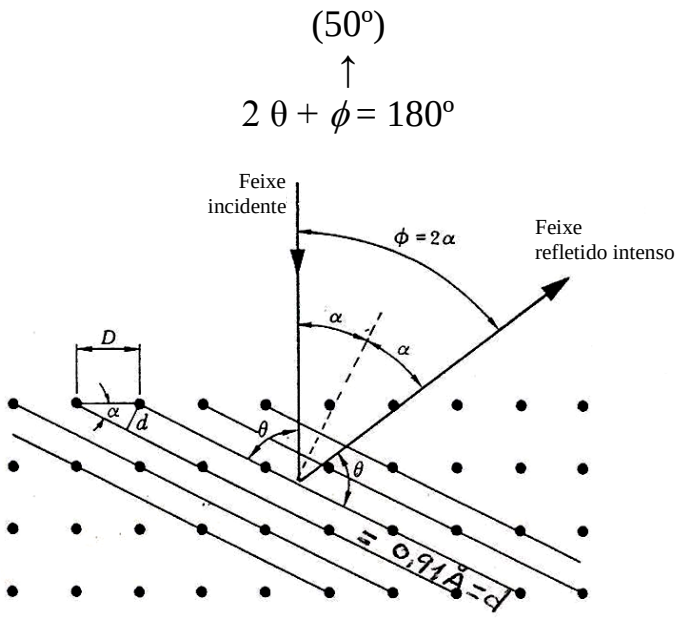
Bragg: $2d\,\mathrm{sen}\theta = n\lambda$

A corrente do coletor no detector D da Fig. representada em função da energia cinética dos elétrons incidentes, possuindo um máximo de difração. O ângulo ø, na Fig. Foi ajustado em 50°. Usando-se um valor apreciavelmente maior ou menor, esse máximo desaparecerá.





A experiência de Davisson-Germer. Elétrons espalhados por um cristal de níquel, em um ângulo ϕ, são detectados em uma câmara de ionização.



Espalhamento de elétrons por um cristal. Ondas de elétrons, valendo a condição de Bragg $n\lambda=2d\text{sen}\theta$, são fortemente espalhadas. Esta condição é equivalente a $n\lambda=D\text{sen}\phi$.

A figura da página anterior mostra os dados para elétrons de 54 *eV*, indicando um máximo pronunciado de espalhamento para ϕ=50°. Considere o espalhamento por um conjunto de planos de Bragg, conforme mostra a figura. A condição de Bragg para interferência construtiva é $n\lambda=2d\text{sen}\theta = 2d\cos\alpha$. O espalhamento dos planos de Bragg está relacionado com o espaçamento *D* entre os átomos.

A distância d entre os planos é conhecida pela difração de raios-x e é igual a 0,91Å. O comprimento de onda calculado pela equação de Bragg, para n=1 é:

$$n\lambda = 2d\text{sen}\theta$$

$$\theta = (180 - \phi)/ 2$$

$$\lambda = 2\ (0{,}91\text{Å})\ \text{sen}65° \approx 1{,}65\ \text{Å}$$

Este valor está em bom acordo com λ calculado pela relação de L. de Broglie

$$(\lambda=h/p) \rightarrow = 1{,}67\ \text{Å}$$

No texto seguinte, extraído do seu discurso de aceitação do Prêmio Nobel, Davisson não cita esse acidente, parecendo não lhe dar importância.

“O acaso ajudou”

Louis de Broglie e outros cientistas não sabiam, mas desde 1919, num laboratório de pesquisas físicas de N. York (antigo do Laboratório Bell), C. H. Davisson já fazia experiências com espalhamento de elétrons sem, contudo, ter o objetivo de testar a teoria quântica. Em 1925, entretanto, devido a um acidente ocorrido no laboratório, uma garrafa de líquido explodiu, possibilitando a entrada de ar na câmara a vácuo, levando o alvo de níquel a ficar oxidado, isto é, ocasionando a formação de uma película de óxido sobre a superfície metálica da amostra de níquel. Para eliminar a oxidação, a amostra foi submetida a um tratamento térmico, o qual, sem que Davisson estivesse ciente, produziu uma transformação na estrutura da amostra, tendo esta passado de um agregado policristalino para uma amostra constituída de um pequeno número de cristais. Quando ele repetiu as observações agora com esta amostra tratada termicamente, o resultado foi uma mudança radical na distribuição angular dos elétrons espalhados. Davisson verificou que em vez de um feixe refletido, variando uniformemente de intensidade, aparecia agora um pico intenso correspondente a um ângulo de desvio de 50º para um feixe de 54 eV.

Apêndice 4 – Texto Complementar 12

ONDA OU PARTÍCULA? – EXPERIMENTOS RECENTES

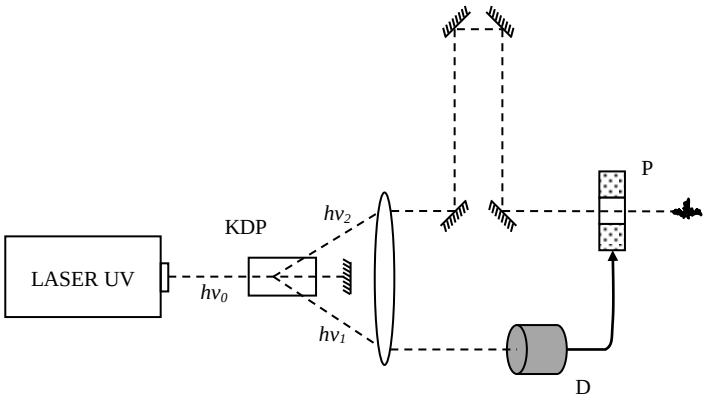
J. F. M. Rocha

1. Introdução – O Fóton, em 1986

O *efeito Compton* (1923) é geralmente considerado como uma evidência da existência do fóton. Sabe-se, entretanto, que as equações de deslocamento Compton podem ser deduzidas sem se usar a ideia de fóton. Isto foi mostrado já em 1927. A situação é semelhante para o caso do e*feito fotoelétrico*. Apesar de se considerar o *efeito fotoelétrico* também como uma evidência da existência do fóton, desde 1927 já se sabia que o mesmo podia ser explicado sem o uso do conceito de partícula de luz. Em 1969, W. E. Lamb e M. O. Scully explicaram o *efeito fotoelétrico* aplicando as leis da física quântica ao átomo emissor, usando a noção de onda eletromagnética e não a de fóton. Com tais resultados, o problema de encontrar uma experiência com luz que **só pudesse ser explicada com base no modelo corpuscular para a luz**, passou a ser objeto de interesse de muitos pesquisadores. [ver *Física 4*, Halliday, Resnick e Krane, 5ª. ed., p. 149].

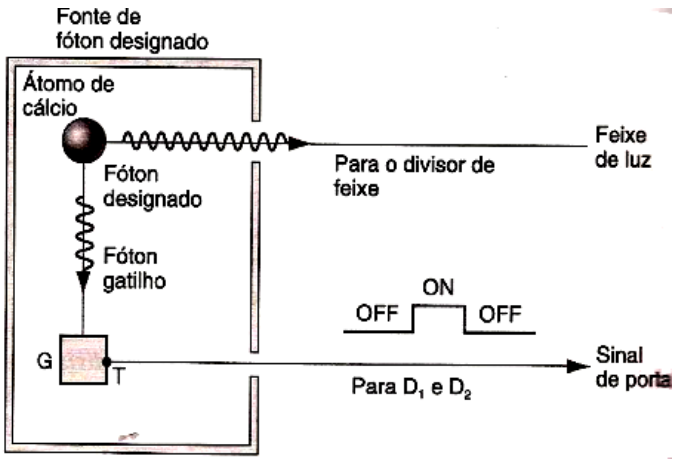
A primeira dificuldade a ser superada era a de conseguir o chamado *estado monofotônico* perfeitamente controlado, a ponto de se poder dizer o instante exato em que um determinado fóton chega ao detector e não só que está chegando um fóton de cada vez. Esta dificuldade experimental só foi resolvida por volta de 1985, quando se tornou possível de fato o citado *estado monofotônico*. Uma maneira de se conseguir o *estado monofotônico* é fazendo-se uso de um cristal não linear (tipo o KDP – dihidrogênio fosfato de potássio), que tem a propriedade de transformar, em dois, um fóton que incide sobre o cristal, tendo cada um dos dois fótons resultantes aproximadamente metade da energia do fóton incidente.

A figura à direita ajuda a entender como isto é feito. Quando o detector D (uma fotomultiplicadora) registra um dos fótons do par, sabe-se que o outro fóton está se aproximando de uma porta óptica, que se abre durante um pequeno intervalo de tempo, deixando o fóton passar! (Experiências deste tipo não são, naturalmente, de fácil realização).



Um dispositivo equivalente ao acima mencionado foi usado por Grangier, Roger e Aspect (ver figura ao lado) como fonte de fótons para incidir em um divisor de feixes.

Ao bombardear com um feixe de luz laser um feixe de átomos de cálcio em movimento no interior do dispositivo, eles fizeram com que cada um desses átomos alcançasse um estado excitado. Ao retornar ao estado de menor energia, tais átomos emitem dois fótons. [ver também *Física 4*, Halliday, Resnick e Krane, 5ª. ed., p. 152].



2. O Interferômetro de Mach-Zehnder

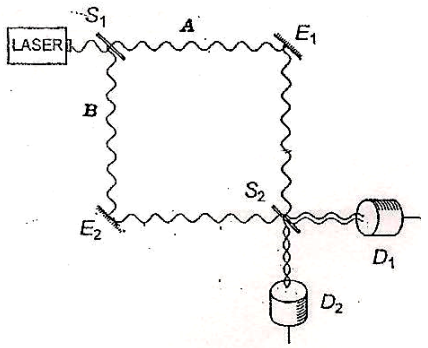
O **Interferômetro de Mach–Zehnder** é um dispositivo experimental simples capaz de mostrar interferência de forma análoga ao que faz o experimento da dupla fenda de Thomas Young. Este interferômetro é essencialmente um dispositivo de fenda dupla em que os dois feixes são gerados no divisor de feixes (S_1, na figura da página seguinte), percorrem caminhos de comprimentos diferentes e, finalmente, encontram-se novamente no detector D_1 e no detector D_2. Tal dispositivo foi desenvolvido, por volta de 1892, pelo alemão Ludwig Zehnder e, independentemente, pelo austríaco Ludwig Mach (filho de Ernst Mach). De acordo com Niels Bohr [ver *Física Atômica e Conhecimento Humano* ([1949], 1995), Contraponto, Rio de Janeiro, p. 62-3; ver também O. Pessoa, *Conceitos de Física Quântica*, 2006], foi Einstein o primeiro cientista a descrever este experimento para explorar os fundamentos da Física Quântica. Em 1983, A. Wheeler explorou este mesmo experimento mais profundamente como um experimento de *escolha demorada*.

Usaremos o Interferômetro de M-Z para discutir a interferometria óptica em dois regimes diferenciados: no regime clássico e no regime quântico.

3. Regime Clássico – Mostrando Ondas

No caso do regime clássico, o seu funcionamento pode ser discutido considerando-se inicialmente um feixe de luz consistindo de ondas em uma dimensão, incidindo no espelho divisor de feixe, S_1 (ver figura), que após ser totalmente refletido nos espelhos E_1 e E_2 serão novamente semi-refletidos em S_2. Faremos duas suposições. A primeira é a de que os espelhos semi-refletores S_1 e S_2 dividem o feixe em duas partes de amplitudes iguais. A segunda é a de que a cada reflexão ocorre um avanço de fase de ¼ de comprimento de onda em relação ao trem transmitido (suposições válidas para espelho semi-refletor que não absorve luz e é simétrico, isto é, a camada metálica depositada fica entre duas camadas de mesma espessura de um material transparente). A defasagem introduzida pelos espelhos E_1 e E_2 não influenciará no resultado da análise e convencionaremos que é também de $\lambda/4$. [ver O. Pessoa, *Conceitos de Física Quântica*, p. 9].

QUESTÃO: O que os detectores D_1 e D_2 registram **quando a distância percorrida pelos dois componentes são iguais** e os espelhos estão perfeitamente alinhados? Resposta: O detector D_1 registra a chegada do feixe original e o detector D_2 não registra nada.

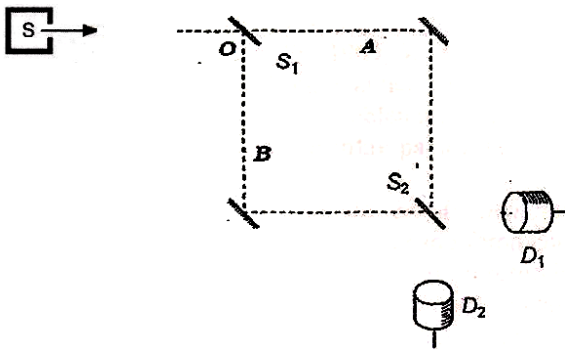


4. Regime Quântico – Mostrando Ondas

Se diminuirmos a intensidade do feixe suficientemente, este arranjo experimental poderá tornar-se um experimento quântico. Vejamos o caso do estado monofotônico.

Após se tornar possível a produção do *estado monofotônico* controlado, já discutido em aula anterior, Grangier, Roger&Aspect, em 1986, aperfeiçoando técnicas usadas por J. F. Clauser, em 1974, fizeram experiências com um único fóton de cada vez e, variando o percurso *A* através da mudança da posição do espelho E_1, obtiveram os resultados apresentados nos itens 4.1 e 4.2, a seguir. Para preparar o estado monofotônico eles usaram uma fonte equivalente àquela em que se usa um cristal tipo KDP. [ver também *Física 4*,.Halliday, Resnick e Krane, 5ª. ed., p. 152]. Este experimento mostra também que o fóton só interfere consigo mesmo.

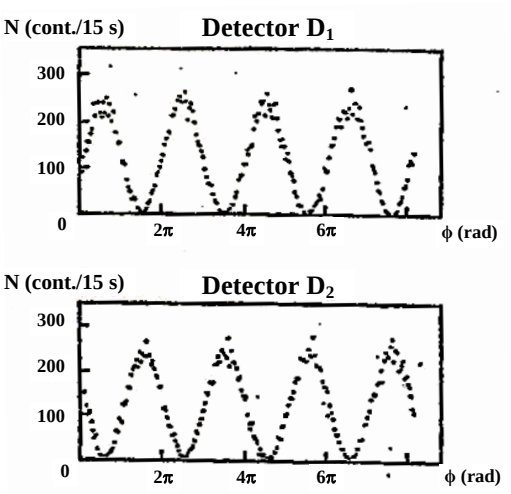
4.1 O que os detectores D_1 e D_2 registram quando a distância percorrida pelos dois componentes são iguais (e o alinhamento dos espelhos for perfeito)?



Comentários: O detector D_2 nunca registra a chegada de um fóton. Todos chegam em D_1. Isto não era, entretanto, de se esperar. Deveríamos ter 50% de chance do fóton chegar em D_1 e 50% de chance do fóton chegar em D_2.

4.2 O que os detectores registram quando as distâncias percorridas pelos dois componentes do fóton não são iguais (e o alinhamento dos espelhos for perfeito)?

A depender da diferença de caminho óptico (definida pela posição de E_1 ou pela introdução de uma placa de espessura variável, no caminho A, por exemplo), o sinal era detectado em D_1 ou D_2, ou em D_1 e D_2 e era **explicado através do modelo de interferência de ondas luminosas**. Os padrões de interferência da figura são claramente consistentes com a natureza ondulatória da luz.



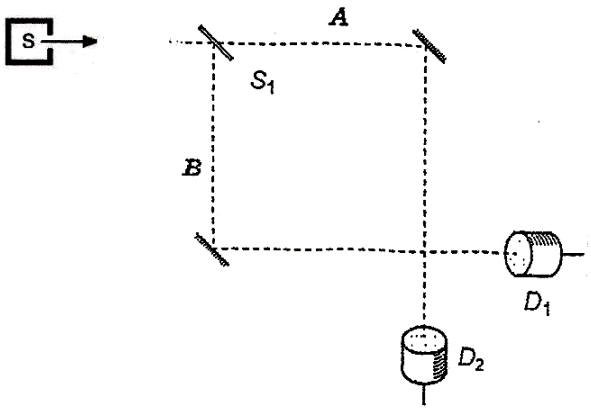
Resultados de Grangier et al. para o número de prótons.

Comentários: Se o divisor de feixe S_2 estiver no seu lugar, **a experiência sustenta o modelo ondulatório** da luz. Veremos a seguir o que ocorrerá na ausência de S_2.

5. Regime Quântico – Mostrando Fótons (e Não Ondas)

O Estado Monofotônico e o Experimento de Anticoincidência ou Anticorrelação

Em 1986, Grangier, Roger e Aspect conseguiram também realizar um experimento que só podia ser explicado a partir do conceito de fóton, da luz como partícula. Em experimentos com luz realizados de acordo com o esquema abaixo, sempre se observa detecção em D1 ou D2, e nunca ambos ao mesmo tempo. Como o sinal é registrado em detectores diferentes não se pode falar em interferência de feixes e, portanto, a explicação baseada no modelo de onda fica descartada. Poderíamos dizer também que este fenômeno é chamado "corpuscular" porque após detectarmos um fóton podemos dizer com segurança por qual *trajetória* ele seguiu. (Este dispositivo pode ser considerado uma simplificação do chamado Interferômetro de Mach-Zehnder)



Experimento de Anticorrelação ou Anticoincidência

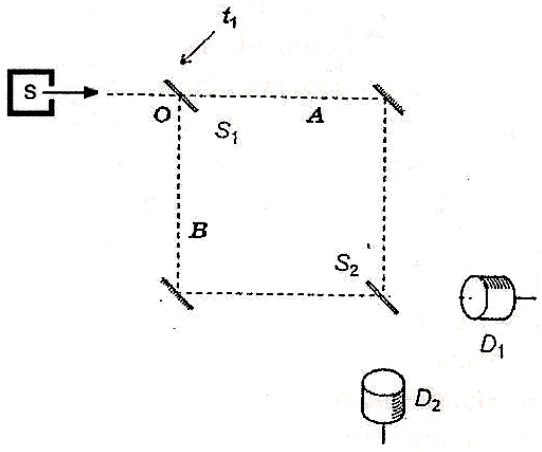
6. Experimento de Escolha Demorada

(Realizado em 1986, por Hellmuth e outros, no Instituto Max Planck, perto de Munique)

Os experimentos citados anteriormente mostram que a luz tem um comportamento sutil. Em um deles, para que se possa explicar plenamente o resultado experimental, a luz precisa ser entendida como uma onda, em outro, também para se explicar os resultados experimentais, a luz precisa ser entendida como uma partícula. A presença ou ausência da placa S_2 leva a luz se comportar como onda ou como partícula, respectivamente.

Um novo experimento pode ser acrescido a estes (ver figura abaixo). O objetivo agora é o de revelar até que instante, após o fóton passar pela placa S_1, o investigador pode retirar a placa S_2, de modo a fazer a luz revelar-se como partícula. O resultado deste experimento mostrou que, mesmo retirando a placa S_2 após o fóton ter passado pela placa S_1, mesmo neste caso, a luz ainda se revela como partícula!

De forma análoga, se a placa S_2 for introduzida após a luz ter passado pela placa S_1, esta ainda se revela como onda!



Vemos então que as propriedades da luz são sutis. Até antes de ser registrada no detector, não é possível afirmar que a luz se comporta como partícula ou como onda.

O aspecto ondulatório ou corpuscular que é revelado acha-se determinado pela natureza da experiência que está sendo realizada. Ambos não podem ser revelados simultaneamente numa experiência isolada, mas ambos são necessários para fazermos uma descrição completa do fenômeno.

A radiação, bem como a matéria, são como moedas, que podem apenas mostrar uma face ou outra, mas não ambas simultaneamente.

> "As nossas imagens mentais de "onda" e "partícula" são tiradas de nossa experiência cotidiana e é interessante que possamos estender estes conceitos (separadamente!) para o domínio subatômico e aplicá-los a objetos que não podemos ver nem tocar. Entretanto, nenhuma imagem mental, combinando as características tanto corpusculares quanto ondulatórias, pode ser utilizada no mundo quântico". [Halliday&Resnick, *Fundamentos de Física*, vol. 4, Capítulo 44].

Concluímos então que a luz é uma entidade física bastante complexa que não se comporta nem como uma onda clássica nem como uma partícula clássica. A luz tem uma natureza dual!

O Interferômetro de Mach-Zehnder e o Princípio da Superposição de Estados

Considere o interferômetro de Mach-Zehnder. Na ausência da placa S_1, se inserirmos um detector no caminho *A*, ele **sempre** registrará a presença do fóton ou do pacote de onda emitido pela fonte (se tiver 100% de eficiência). Dizemos então que o sistema quântico está no estado $|\Psi_A\rangle$, num certo instante. Este estado diz que o fóton será detectado com certeza no caminho A. Devido a esta certeza, tal estado costuma ser chamado de autoestado. Analogamente podemos definir o autoestado $|\Psi_B\rangle$.

Mas já vimos que, pelo princípio de superposição de estados,

> **"dados dois estados admissíveis de um sistema quântico, a soma desses dois estados também é um estado admissível do sistema."**

Como consequência, o seguinte estado também descreve uma situação possível:

$$|\Psi\rangle = a|\Psi_A\rangle + b|\Psi_B\rangle$$

que representa o estado assumido pelo pulso de luz no experimento de Mach-Zehnder.

A Mecânica Quântica descreve o estado do fóton como a superposição do estado do fóton rumando pelo caminho *A* e do estado do fóton rumando pelo caminho *B*. **A situação é semelhante à das duas fendas para elétrons.** A possibilidade de o elétron passar por dois diferentes orifícios conduz a uma superposição de dois estados. Aqui também a possibilidade do fóton passar pelos caminhos *A* e *B* também conduz a superposição de estados.

Além do estado em que o fóton ruma pelo caminho *A*, representado aqui por $|\Psi_A\rangle$, e do estado em que o fóton ruma pelo caminho *B*, representado por $|\Psi_B\rangle$,

> **há igualmente estados formados pela combinação destas duas possibilidades.**

Apêndice 4 – Texto Complementar 13

NIELS BOHR E A COMPLEMENTARIDADE

J. F. M. Rocha

Niels Bohr (1885-1962) era filho de uma tradicional família dinamarquesa. Seu pai foi um eminente fisiologista e também reitor da Universidade de Copenhagen, nos anos 1905/6, época em que a universidade estava tornando-se o centro da pesquisa científica. Em 1903, Bohr chega à universidade e oito anos depois vai para a Inglaterra fazer seu pós-doutorado no *Cavendish Laboratory*, com o famoso físico J. J. Thomson. Sobre a importância das atividades científicas de Bohr, Max Born, em 1923, escreveu: "Sua influência sobre pesquisa teórica e experimental de nosso tempo é maior do que a de qualquer outro físico". E em 1963, Heisenberg declarou: "A influência de Bohr sobre a Física e os físicos de nosso século foi maior do que a de qualquer outro, e maior mesmo que a de Albert Einstein".

Mas se Niels Bohr ganhou o Prêmio Nobel, em 1923, pela investigação da estrutura dos átomos e da radiação por eles emitida, não é este o trabalho por ele mesmo considerado como a sua maior contribuição à Mecânica Quântica, mas sim aquele relativo à interpretação e implicações filosóficas da Mecânica Quântica de Heisenberg e Schrödinger, em cujo desenvolvimento técnico Bohr não exerceu papel de liderança. As bases filosóficas da Mecânica Quântica, que se tornaram conhecidas como *complementaridade*, começaram a ser formuladas por Bohr durante um período de descanso na Noruega, em 1926, após exaustivas discussões com Schrödinger e Heisenberg, em Copenhagen, nas quais tentaram encontrar, sem sucesso, uma interpretação coerente para as novas mecânicas: a Mecânica das Matrizes, de Heisenberg (1925), e a Mecânica de Ondas, de Schrödinger (jan/1926). Bohr defendia a interpretação da dualidade onda-partícula e Heisenberg se contentava com a abordagem essencialmente de partícula da sua Mecânica das Matrizes. O empenho de Bohr para interpretar coerentemente o formalismo matemático de Schrödinger e Heisenberg era tão grande que, mesmo com Schrödinger temporariamente doente, prostrado sobre uma cama, e a Sra. Bohr cuidando de trazer-lhe chás e bolachas, Bohr, sentado ao seu lado, insistia: "Mas certamente você deve compreender que…".

Após a partida de Schrödinger, as discussões continuaram entre Bohr e Heisenberg, com aquele defendendo a interpretação da dualidade onda-partícula e este satisfeito com sua Mecânica das Matrizes, esta essencialmente uma abordagem de partícula. Exausto, Bohr parte para esquiar na Noruega, onde começa a formular sua visão do conceito de complementaridade. Enquanto isto, Heisenberg, na Dinamarca, descobre suas *relações de incerteza* – as quais essencialmente negavam a premissa do princípio da causalidade clássica a qual enuncia: se conhecemos o presente então podemos conhecer o futuro.

Mas o que é complementaridade? Complementaridade é um conceito de acordo com o qual os comportamentos de onda e de partícula são mutuamente excludentes, ainda que ambos sejam necessários para uma completa descrição de todos os fenômenos (onde fenômeno é entendido como um conjunto de observações que inclui a especificação do instrumento de

medida). Neste conceito há aparentemente um paradoxo lógico, pois, do ponto de vista clássico, poder-se-ia argumentar que se duas descrições são mutuamente excludentes, ao menos uma delas deve estar errada (o que deu origem à Lógica Quântica com von Newmann e outros). Do ponto de vista da interpretação ortodoxa, entretanto, se um objeto *comporta-se* como partícula ou onda depende da escolha do arranjo experimental utilizado para observá-lo, mas ambas as descrições são necessárias para o completo entendimento **das propriedades dos objetos. Este aparente conflito poderia ser desdobrado nas seguintes indagações: Luz ou matéria *consiste* de partícula ou onda? Luz ou matéria *comporta-se* como partícula ou onda? De acordo com a interpretação de Bohr, a Mecânica Quântica tornou sem sentido a primeira questão, pois a mesma só tem resposta não ambígua se, e somente se, for especificado o arranjo experimental por meio do qual são feitas as observações, devendo o resultado dessas observações, mesmo aquele sobre fenômenos quânticos, ser necessariamente expresso em linguagem *clássica*. Portanto, o que faz sentido perguntar, segundo Bohr, é: Luz ou matéria *comporta-se* como partícula ou onda?**

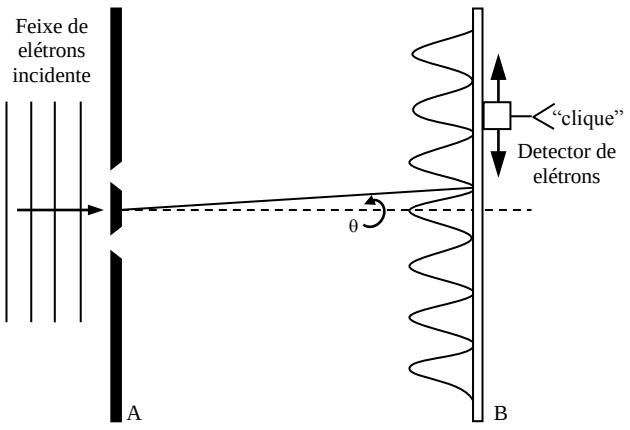
Mas mesmo nessa área da interpretação da Mecânica Quântica, as ideias de Bohr, apesar de revolucionárias para a época, têm sido questionadas por mentes ambiciosas que veem nelas ideias de renúncia e também de limitações a determinadas aplicações da Mecânica Quântica, a exemplo das suas aplicações cosmológicas.

Apesar de muito festejada, a *interpretação da complementaridade*, como já vimos, não é a única interpretação do formalismo matemático da Mecânica Quântica. Em que pese este ser um assunto para muitas discussões, não poderíamos deixar de registrar que uma outra interpretação, denominada *interpretação (corpuscular) dos coletivos estatísticos* (introduzida inicialmente por Slater, em 1929), tem sido adotada em vários livros-texto de Mecânica Quântica, especialmente após o artigo de L. E. Ballentine, intitulado "The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics", publicado na *Reviews of Modern Physics*, em 1970.

……...

A experiência indicada na figura ao lado sugere o espírito da complementaridade.

As configurações de interferência de duas fendas mostram a natureza ondulatória do feixe incidente, ainda que o detector responda apenas a partículas individuais. **Se tentarmos rastrear o caminho seguido pela partícula** (se tentarmos descobrir sua trajetória) provocaremos o desaparecimento da figura de interferência.

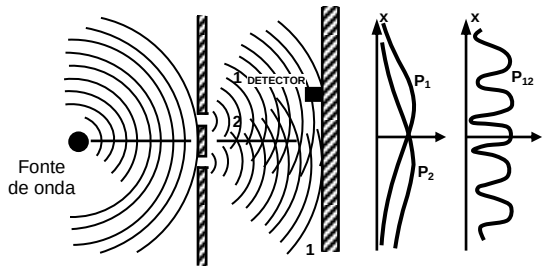


Para *N. Bohr*: "*Não existe um mundo quântico. Existe somente uma descrição física abstrata. É errado pensar que a tarefa do físico é achar como a natureza é. Física diz respeito ao que nós podemos dizer sobre natureza.".* Muitos não concordam com esta afirmação de Bohr, inclusive Einstein.

RESUMO

Ondas e Partículas

Postulado Quântico	**Hipótese de L. de Broglie para a matéria**
$E = hf$ **Relação entre o momento linear e o comprimento de onda para fótons** $p = h/l\lambda$ **Efeito Fotoelétrico** $eV_f = hf - W$	$E = hf \qquad p = h/l\lambda$ Com base nas hipóteses de Broglie (postulados), Schrödinger, em 1926, obteve a equação que a função Ψ, função deve obedecer conhecida hoje como equação de Schrödinger. $[-(h^2/4\pi^2)(1/2m)(\partial^2/\partial x^2 + \ldots) + U(\mathbf{r},t)]\,\Psi(\mathbf{r},t) = i(h/2\pi)\,\partial\Psi(\mathbf{r},t)/\partial t$



Dupla Fenda com Ondas Clássicas

Se apenas a fenda 1 estiver aberta, a intensidade da onda clássica será I_1; analogamente para I_2.

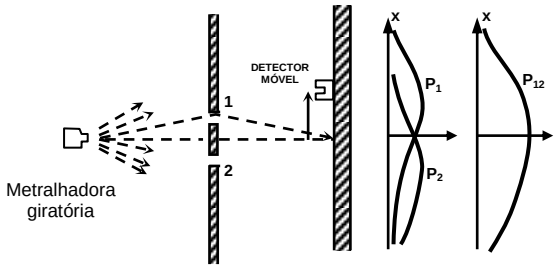
Já vimos que $I_j(x) \alpha E_{mj}^2(x)$

Se as duas fendas estiverem abertas haverá interferência:

$$I_{12}(x) = [E_1(x) + E_2(x)]^2 = I_1(x) + I_2(x) + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2}\cdot\cos\Delta \text{ (ver Apêndice)}$$

Se fecharmos uma das fendas a intensidade pode diminuir, mas também pode aumentar.

Se diminuirmos a intensidade da fonte as franjas de interferência vão diminuindo proporcionalmente de intensidade de forma ***continua.***



Com Partículas Clássicas

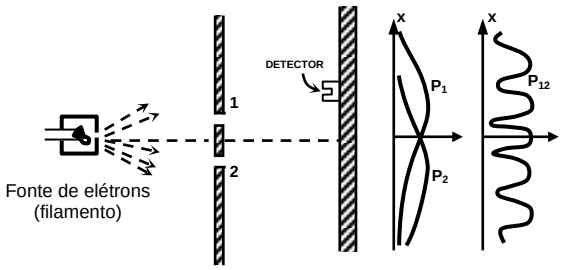
A partícula passa por 1 *ou* 2:

$$P_{12}(x) = P_1(x) + P_2(x).$$

P(x)dx é a probabilidade de encontrar a partícula entre x e x+dx no anteparo (razão do número de balas detectadas neste intervalo por unidade de tempo).

Se fecharmos uma das fendas a distribuição só pode diminuir (P_j>0).

Se diminuirmos a taxa de disparos, as balas continuam chegando uma a uma, aproximando-se da distribuição $P_{12}(x)$ após um tempo de observação longo.



Com Elétrons

Se fecharmos uma das aberturas, a distribuição de elétrons $P_{12}(x)$ tanto pode diminuir como pode aumentar:

$$P_{12}(x) \neq P_1(x) + P_2(x)!$$

O detector só registra número inteiro de elétrons, como no caso de partículas clássicas.

Se de uma fonte muito fraca formos acumulando a contagem durante um tempo longo, obtém-se franjas de interferência.

Podemos inferir, portanto, que existe uma função de onda $\psi(x)$ tal que $\psi_j(x)$ é o seu valor quando só uma fenda estiver aberta com uma figura de interferência idêntica a das ondas clássicas. Logo,

$$P_j(x) = |\psi j|^2 \text{ e } P_{12}(x) = |\psi_1(x) + \psi_2(x)|^2$$

Na linguagem da MQ, o estado de movimento do elétron é a superposição do estado no qual passa através da fenda 1 com o estado no qual atravessa a fenda 2: O elétron indivisível atravessa ambas as fendas!!

ARTIGOS

ARTIGOS

Artigo 1 – “O conceito de ´campo` em sala de aula – uma abordagem histórico conceitual

Artigo 2 - “O conceito de ´dualidade onda-partícula` em sala de aula”

ARTIGO 1

Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1604 (2009)
www.sbfisica.org.br

O conceito de "campo" em sala de aula - uma abordagem histórico-conceitual

(The concept of field in the classroom – a historical-conceptual approach)

José Fernando Moura Rocha[1]

Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Campus de Ondina, Salvador, BA, Brasil
Recebido em 24/5/2008; Revisado em 3/10/2008; Aceito em 20/10/2008; Publicado em 30/4/2009

O conceito de campo é uma das idéias fundamentais da física e pode motivar um rico debate em sala de aula sobre as noções básicas desta ciência. Apesar de sua importância, quando o mesmo é apresentado em sala de aula geralmente somente seus aspectos matemático-conceituais são enfatizados deixando-se em segundo plano os aspectos histórico-conceituais, quando estes não são simplesmente ignorados. Neste trabalho, pretendemos mostrar que uma apresentação com ênfase apenas matemático-conceitual deste conceito não explora toda a sua potencialidade. Com tal propósito, primeiro consideramos a noção de campo como algo responsável pela mediação de interação entre os corpos e depois tratamos a noção de campo como uma função matemática das coordenadas e do tempo. Em seguida, mostramos que o conceito de campo, na forma que o entendemos hoje, resultou de um complexo processo de fusão destas duas concepções.
Palavras-chave: campo, éter, ensino de física, história da física.

The concept of a field can motivate a rich class-forum about the basic notions of physics. Despite its importance, only mathematical-conceptual aspects are emphasized in the classroom, leaving out historical-conceptual aspects. We believe that only the mathematical-conceptual presentation of this concept underestimates all its strength. We show in this paper how this physics concept can be introduced from two different but converging ways, First, we consider the notion of the field as something responsible for the mediation of interaction between bodies and then we treat it as a mathematical function of the coordinates and time. Next, we show that, in a complex process, these two conceptions have been merged towards the concept of field as we understand it nowadays.
Keywords: field, ether, physics teaching, history of physics.

1. Introdução

O conceito de campo é uma das noções fundamentais da física. Este conceito se consolidou ao longo do século XIX, quando se revelou uma das mais importantes invenções desde o tempo de Newton. Apesar de sua importância, quando o mesmo é apresentado em sala de aula, no contexto do ensino de eletricidade e magnetismo para alunos do segundo ano universitário da área de ciências exatas**,** geralmente só são enfatizados seus aspectos matemático-conceituais, deixando-se os aspectos histórico-conceituais em segundo plano, quando estes não são simplesmente ignorados. Esta é a nossa experiência pessoal e provavelmente não deve ser uma experiência isolada**.** Acreditamos, entretanto, que a idéia de campo pode motivar um rico debate sobre as idéias da física e consideramos que uma apresentação apenas matemático-conceitual deste conceito não explora toda a sua potencialidade. Isto é o que procuraremos evidenciar neste trabalho.

Para facilitar nossa apresentação, vamos seguir dois caminhos diferentes e convergentes através dos quais o conceito de campo começou a ser formulado. De um lado, consideraremos a noção de campo como algo responsável pela mediação da interação entre os corpos a uma certa distância um do outro e que poderia ser considerado como uma alternativa à idéia de *ação a distância*. Do outro, trataremos a noção de campo como uma função matemática das coordenadas e do tempo, noção essa que foi inicialmente utilizada para descrever propriedades físicas da matéria nos casos em que a mesma era tratada como contínua, a exemplo do campo de temperatura.

[1]E-mail: jofer@ufba.br.

Copyright by the Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

2. As primeiras idéias de campo

A questão da transmissão da força tem sido trazida à baila de tempos em tempos. Não faremos um estudo exaustivo de como esta questão evoluiu desde tempos remotos. Aqui, dirigiremos nossa atenção especialmente para a evolução do conceito de campo como um meio de transmissão da força, sem deixar de falar na idéia de ação a distância. Para os nossos propósitos, é suficiente discutirmos a gênese do conceito de campo a partir das idéias de estudiosos antigos que procuraram explicar os efeitos produzidos pela magnetita ou pelo âmbar atritado. Tentativas relevantes para explicar a ação da magnetita foram realizadas, por exemplo, por Tito Lucrécio Caro, um poeta latino (romano), que viveu entre 95 e 52 a.C., e pelo cientista inglês William Gilbert (1544-1603) (Fig. 1) que, após estudar medicina em Cambridge, estabeleceu-se em Londres, por volta de 1570. Vamos expor as idéias de ambos sobre este assunto, mas começaremos mostrando as idéias de Gilbert, a respeito da atração entre a magnetita e o ferro, pelo fato de as mesmas estarem relacionadas apenas a campos clássicos (os efeitos produzidos pelo âmbar atritado, Gilbert explicava de outra maneira). Em seguida, discutiremos as idéias de Lucrécio, por lembrarem, de algum modo, o conceito de campo quântico (ou quantizado), salientando aqui que esta analogia diz respeito apenas a forma de descrever o fenômeno e não ao conteúdo da teoria.



Figura 1 - Willian Gilbert.

Vejamos o que nos diz Gilbert a respeito da força do imã sobre o ferro, no seu livro *De Magnete*, publicado em latim, em 1600 d.C. ([1, p. 121], [2, p. 34]):

> A força da terrela [mini-terra] estende-se em todas as direções... Mas sempre que o ferro ou outro corpo magnetizado de tamanho suficiente entra na sua esfera de influência é atraído; no entanto, quanto mais de perto estiver a magnetita, maior será a força com que ela o atrai.

No parágrafo anterior, vemos a forma como Gilbert descreve a força que a magnetita exerce sobre outro corpo imantado. Este é um passo importante na formulação do conceito de campo, entendendo aqui por campo *uma propriedade física que se estende por uma região do espaço e é descrita por uma função da posição e do tempo.*

Gilbert apresentou as idéias acima citadas após rever e criticar outras teorias então existentes, propostas para explicar a causa da atração magnética, a exemplo da explicação apresentada por Lucrécio - uma das mais populares na época - no seu célebre *Da Natureza* (*De Natura Rerum*, título original latino). Apesar de Gilbert não aprovar as idéias de Lucrécio sobre a atração magnética, hoje as mesmas podem nos fazer lembrar a idéia de campo quantizado, de acordo com a qual uma partícula carregada está geralmente cercada de uma nuvem de fótons (que a partícula emite e absorve) e outras partículas, conforme esclareceremos adiante (ver também Figs. 2 e 3). Vejamos o que nos diz Lucrécio [3]:

> Vou agora começar a explicar outro assunto, a dizer por que leis naturais podem atrair ao ferro a pedra a que chamam os gregos magneto, nome que lhe designa a origem, porquanto se diz que provém de Magnésia. [...] É necessário primeiro que saiam desta pedra numerosos elementos ou uma corrente [átomos do magneto] que por seus golpes dissipe o ar que se encontra colocado entre a pedra e o ferro. Logo que o espaço se encontra vazio, logo que se despeja o lugar que está no meio, imediatamente os elementos do ferro, caindo, se lançam juntos no vácuo, de maneira que o próprio anel os segue e vai com toda a sua substância. [...]

Lucrécio estende sua explicação (teoria do "effluvium") por mais parágrafos, mas, para os nossos propósitos, será suficiente restringimo-nos ao resumo destas suas idéias feito por Gilbert, em 1600 ([1, p. 5]):

> Lucrécio Caro, poeta epicurista, considera que a atração é devida ao fato de que, assim como em todas as coisas há um fluxo para fora ["efluxo"] de corpos minúsculos, assim também há um efluxo de átomos do ferro para o espaço entre este e a magnetita

> – um espaço esvaziado de ar pelos átomos da magnetita (sementes[2]); e quando estes átomos começam a voltar para a magnetita, o ferro segue-os, pois os corpúsculos estão emaranhados uns nos outros.

Para vermos como estas idéias podem nos fazer lembrar o conceito de campo quantizado, vamos, a seguir, apresentar a idéia de um campo quantizado, e também como se dá, na chamada eletrodinâmica quântica, a interação (atração, neste caso) entre duas partículas - um elétron e um próton, por exemplo. Para facilitar o entendimento, vamos começar relembrando o caso clássico e, em seguida, discutir o caso quântico. No caso clássico, um elétron tem associado a ele um campo que ocupa todo o espaço; numa linguagem figurada, o elétron tem uma "aura" em torno de si, (entendendo esta "aura" como algo sutil, tênue, mas real; Fig. 2); o próton, por sua vez, está no campo do elétron e, por isso, sente uma força. No caso quântico, admite-se que o elétron (ou outra partícula carregada)[3] está geralmente cercado de uma nuvem de fótons (que podem decair em outras partículas) que ele emite e absorve (diz-se então que o elétron está "vestido"; Fig. 3; [4]); o próton (que geralmente encontrar-se "vestido" também), estando imerso na nuvem do elétron, pode absorver um dos fótons que o elétron emitir. Neste caso, dizemos que existe uma troca de informações entre eles, o que corresponde aos efeitos de uma força. Observamos então que, no caso clássico, o campo é visto como uma espécie de "substância eletromagnética" com uma única estrutura, enquanto que no caso quântico, procura-se especificar a estrutura do campo em termos de partículas. Compararemos agora a noção de campo quantizado com aquela apresentada por Lucrécio para explicar a interação entre a magnetita e o ferro. Notamos inicialmente que a emissão e absorção dos *átomos* da magnetita, pela própria magnetita, lembra a emissão e absorção dos fótons pelos elétrons, no caso quântico. Um outro aspecto é o aparecimento da força como uma consequência da existência de *partículas* em volta das fontes do campo; no caso da magnetita, seria uma consequência dos *átomos* da magnetita emaranhar-se com os *átomos* de ferro, no momento da volta daqueles para a própria magnetita; enquanto, no caso do elétron, seria uma consequência de as partículas emitidas pelo elétron serem absorvidas pelo próton (imerso na nuvem de partículas que constitui o campo quantizado do elétron). De qualquer forma, a interação ocorre através de um agente intermediário e não por ação direta entre a magnetita e o ferro. Apesar das analogias possíveis, não podemos esquecer as diferenças. Primeiro, existe uma diferença de escala no que diz respeito às dimensões dos objetos interagentes. No caso do elétron e do próton, as partículas do campo são emitidas e/ou absorvidas por objetos microscópicos; no caso da magnetita e do ferro, as partículas do campo são emitidas e absorvidas por objetos macroscópicos, escala em que propriedades quânticas não são normalmente relevantes. Em segundo lugar, a estrutura do campo quântico é formada pela soma das probabilidades de efeitos diferentes, enquanto a estrutura do campo da magnetita é formada por um conjunto de partículas semelhantes, não envolvendo a idéia de probabilidade, um dos conceitos fundamentais da eletrodinâmica quântica. Finalmente, a eletrodinâmica quântica é uma teoria apoiada em um sofisticado formalismo matemático, o que naturalmente não é o caso da "teoria do *effluvium*", de Lucrécio.

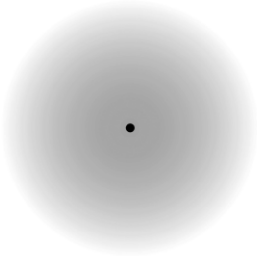


Figura 2 - Representação de um campo clássico através de sua "aura", continua e homogênea, para o caso de uma carga pontual ou de uma massa pontual, entendendo por "aura" algo sutil, mas real, sem sentido místico.

Ainda no século XVII, muito antes do físico e químico Michael Faraday (1791-1867) adotar a frutífera idéia de *linhas de força*, outros cientistas avançaram na noção clássica de que objetos estariam rodeados por "atmosferas" que se estendiam até regiões mais distantes e que tais "atmosferas" transmitiriam as forças gravitacionais, elétricas e magnéticas de um corpo para outro. Mas estas eram teorias apenas qualitativas e não tiveram o alcance dos trabalhos desenvolvidos por Faraday, conforme veremos mais adiante.

[2] "Sementes" provavelmente no sentido dado por Anaxágoras (cerca de 500-428 a.C.). A natureza de uma coisa é determinada pelas "sementes" que nela prevalecem. Parece ouro aquela em que prevalecem as partículas de ouro, embora haja nela partículas de todas as outras substâncias. As "sementes" são os elementos dos quais derivariam todas as coisas.

[3] Hoje sabemos que partículas microscópicas, tais como elétrons e prótons, exibem comportamento quântico, o que não era conhecido até o início do século XX. A teoria conhecida como eletrodinâmica quântica incorpora efeitos quânticos na teoria eletromagnética clássica. No âmbito da física quântica, tais efeitos podem ser considerados de dois modos ou níveis diferentes. No primeiro nível, considera-se o campo do elétron como sendo clássico e distribuído no espaço de modo contínuo; a discussão do átomo de hidrogênio encontrada nos livros-textos serve para exemplificar este caso, pois nele se estuda estados estacionários de um elétron quântico num campo eletromagnético clássico. Um outro nível é aquele em que o campo também é quantizado; este é o caso ao qual nos referimos no texto. A quantização do campo ("segunda quantização") foi realizada por Paul Dirac, em 1927.

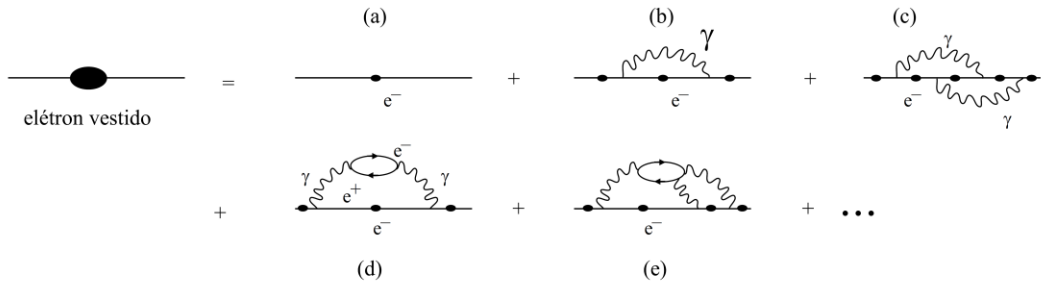


Figura 3 - Representação da estrutura do campo quântico. Vemos um elétron "vestido" e a estrutura de seu campo a qual é dada pela soma das probabilidades de vários efeitos diferentes, envolvendo fótons. Considera-se aqui o elétron livre, com momento bem definido. A "aura" do elétron neste caso tem uma estrutura constituída de fótons e pares elétron-pósitron. Cada um dos processos (a, b, c, d, e) tem uma probabilidade característica de ocorrer. Existe uma probabilidade desse elétron se propagar sem "aura" (Fig. 3.a). Pode também gerar uma "aura", emitindo fótons e reabsorvendo-os como mostra a Fig. 3.b. Pode emitir um fóton que decai num par e^- e^+, que se aniquilam, emitindo outro fóton, que é absorvido pelo elétron original (Fig. 3.d). E assim por diante (adaptado de M.R. Robilotta *et al.*, [4]).

3. A origem da doutrina da ação direta (ação a distância)

O período que abrange aproximadamente a segunda metade do século XVI e todo o século XVII foi de profundas transformações nas ciências. Essa é a época da chamada *revolução científica*. É o período da valorização da observação e da experimentação na abordagem dos fenômenos naturais, bem como da compreensão da importância do uso da matemática na descrição desses fenômenos. É, portanto, um período de profundas mudanças no modo de se fazer ciências. Idéias antigas, a exemplo das que atribuíam à magnetita uma espécie de alma que se manifestaria nas suas propriedades magnéticas[4] ou das que explicavam a atração elétrica por uma *simpatia* entre os corpos interagentes (esta comum na Idade Média) passavam agora por um novo "critério de validade".

É nesse contexto de renovação que, em 1687, Isaac Newton (1642-1727) publica sua preciosa obra denominada *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*), na qual ele apresenta sua lei de gravitação universal que, matematicamente, costuma ser escrita (em módulo) na forma: $F = Gm_1m_2/r^2$. Através dessa obra, Newton explica como os corpos materiais interagem, mas não explica o mecanismo pelo qual esses corpos o fazem, ficando, portanto, um espaço para especulações. Sem explicar o mecanismo pelo qual os corpos se atraíam, a lei da gravitação universal permitia a suposição (não por Newton) de que as interações entre os corpos eram do tipo ação a distância, sem a necessidade de um meio para mediar tais interações. Por essa razão, muitos passaram a crer que também Newton defendesse a idéia de ação a distancia. No seu artigo de 1873, denominado *Ação a Distância* [5], James Clerk Maxwell (1831-1879) afirma que foi o matemático e físico inglês Roger Cotes (1682-1716) (Fig. 4) quem primeiro afirmou a doutrina da ação direta, em seu prefácio à 2ª edição do *Principia* (1713), que o mesmo editou durante a vida de Newton. Nesse citado artigo, Maxwell escreve que de acordo com Cotes [5, 7]:

> [...] é pela experiência que aprendemos que todos os corpos gravitam. Não é de nenhum outro modo que aprendemos que eles têm extensão, que são capazes de mover-se ou que são sólidos. Portanto a gravitação tem tanto direito de ser considerada uma propriedade essencial da matéria quanto a sua extensão, a mobilidade ou a sua impenetrabilidade.

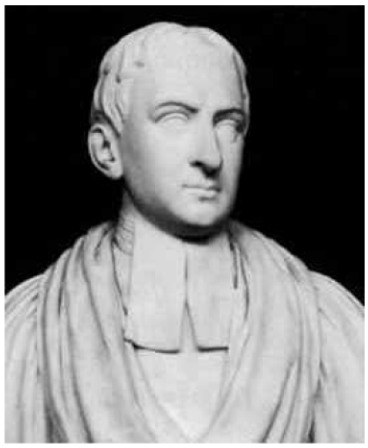


Figura 4 - Roger Cotes. Matemático, físico e professor em Cambridge. Desenvolveu trabalhos para a teoria de logaritmos, o cálculo integral e métodos numéricos. Foi encarregado por Richard Bentley (ver Fig. 5) da 2ª edição do *Principia*, da qual escreveu o Prefácio. Faleceu jovem, com 34 anos.

[4]De acordo com Aristóteles "Parece que Tales, pelo que se conta, supôs que a alma é algo que se move, se é que disse que a pedra (imã) tem alma, porque move o ferro" (Ref. [6]).

O problema de a gravidade ser ou não uma "propriedade essencial e inerente à matéria" (o que significaria a matéria inanimada agir sobre outra matéria sem a mediação de alguma outra coisa, não material), entretanto, é anterior a 1713, e o próprio Newton já tinha esclarecido sua posição sobre este problema, em cartas escritas ao clérigo e filósofo inglês Richard Bentley (1662-1742) (Fig. 5).



Figura 5 - Richard Bentley. As cartas de Newton a Bentley, referidas no texto, foram escritas após Bentley ser indicado para dar o primeiro conjunto de aulas em defesa da religião estabelecidas pelo testamento do cientista inglês Robert Boyle (1627-1691). Bentley se pautou maciçamente nas teorias de Newton.

Em 17 de janeiro de 1693, Newton escreveu a Bentley [8]:

> [...] O Sr. algumas vezes fala da gravidade como sendo essencial e inerente à matéria. Peço-lhe não atribuir essa noção a mim, pois a causa da gravidade é o que eu não pretendo saber, e portanto levaria muito tempo para considerá-la.

Em 25 de fevereiro de 1693, em outra carta a Bentley, Newton escreveu [8]:

> [...] É inconcebível que a matéria bruta, inanimada, opere sem a mediação de alguma outra coisa, não-material, sobre outra matéria e a afete sem contato mútuo, como deve ocorrer se a gravitação, no sentido de Epicuro, for essencial e inerente a ela; E é por esta razão que desejei que você não atribuísse a gravidade inata a mim. Que a gravidade devesse ser inata, inerente e essencial à matéria de modo que um corpo pudesse atuar sobre outro a distância através de um vácuo, sem a mediação de qualquer coisa, por cujo intermédio sua ação e força pudesse ser transmitida de um corpo para outro é para mim um absurdo tão grande que acredito que nenhum homem dotado de uma faculdade de pensamento competente em questões filosóficas jamais possa cair nele. A gravidade deve ser causada por um agente que atua constantemente de acordo com certas leis; mas se esse agente é material ou imaterial é uma consideração que deixo para meus leitores.

Para alguns filósofos da época de Newton, a doutrina da gravitação era um retorno ao "método já bastante surrado de explicar todas as coisas por meio de causas ocultas, virtudes atrativas ou coisas desse tipo".

Apesar de haver discordância, as idéias que prevaleceram, na gravitação e também na eletricidade e no magnetismo foram, até as primeiras décadas do século XIX, as de ação a distância. C. Coulomb (1736-1806), A. Ampère (1775-1836), H. Cavendish (1731-1810) e S. Poisson (1781-1840), por exemplo, não se preocuparam com as noções antigas de eflúvios magnéticos e atmosferas elétricas. Muitos cientistas, porém, sentiam que as teorias de ação a distância, apesar de conduzirem à previsões corretas, não conseguiam fornecer uma explicação física satisfatória para o modo como um corpo exerce uma força sobre o outro.

No início do século XIX, entretanto, reviveu-se o conceito de *atmosfera* que rodeava os objetos, mesmo que dentro de um contexto bastante diferente daquele do século XVII. Em meados do citado século XIX, contudo, a idéia de *atmosfera* foi superada por um novo e poderoso conceito adotado por Michael Faraday (Fig. 6) para descrever as interações eletromagnéticas: o conceito de *linhas de força*. E é isto o que veremos a seguir.

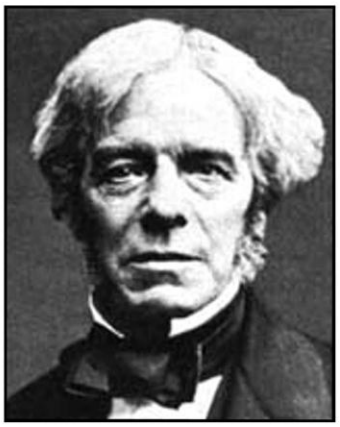


Figura 6 - Michael Faraday.

4. O campo de Faraday – linhas de força

As contribuições de Faraday para o eletromagnetismo começaram em 1821, quando o editor da revista *Annals of Philosophy* solicitou-lhe que escrevesse um resumo sobre as experiências e teorias eletromagnéticas,

que tinham aparecido no ano anterior, como consequência dos trabalhos de Hans Oersted (1777-1851) e outros. Não demorou muito para Faraday perceber que não poderia só relatar o que existia e passou a fazer suas próprias experiências. No curso destas suas experiências, após observar figuras de limalhas de ferro produzidas por um imã colocado sob uma folha de papel ou lâmina de vidro (Fig. 7) (figuras semelhantes já haviam sido observadas na época medieval por Pierre de Maricourt),[5] Faraday passou a visualizar as forças magnéticas e elétricas como uma espécie de tubos de borracha ou linhas elásticas que se estendiam no espaço a partir de imãs ou de corpos eletrizados e que podiam ser distorcidas, as quais ele denominou *linhas de força*. Como essas linhas deveriam preencher o espaço vazio este passava a constituir-se em um *campo* de forças.

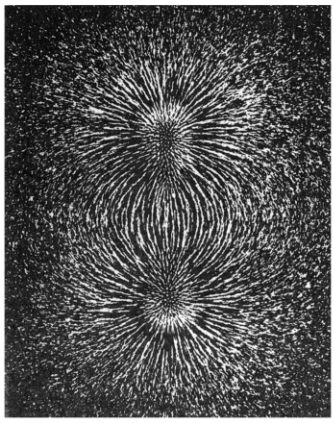


Figura 7 - Visualização das linhas de força através de limalhas de ferro espalhadas sobre uma folha e papel, tendo uma barra imantada sob a mesma (adaptado do livro *Fundamentos de Física*, de Halliday e Resnick [9]).

Ao se referir aos experimentos com limalhas de ferro, realizadas por Faraday, nos quais podem-se visualizar as chamadas linhas de força, Maxwell, no citado artigo de 1873, afirma [5]:

> Mas Faraday, por meio de uma série de passos notáveis por sua precisão geométrica, assim como pela sua engenhosidade especulativa, deu a sua concepção de linhas de força uma clareza e uma precisão bem maior do que aquela que os matemáticos de então poderiam extrair de suas próprias fórmulas.
>
> Em primeiro lugar as linhas de força de Faraday não devem ser consideradas isoladamente, mas sim como um sistema traçado no espaço de uma maneira definida, de tal forma que o número de linhas que atravessam uma área, digamos de uma polegada quadrada, indica a intensidade da força através da mesma. Assim as linhas de força tornam-se bem definidas em número. A intensidade de um pólo magnético é medida pelo número de linhas que procedem dele; a força eletromotriz de um circuito é medida pelo número de linhas de força que passam através dele.
>
> Em segundo lugar, cada linha individual tem uma existência contínua. Quando um pedaço de aço torna-se um ímã, ou quando uma corrente elétrica começa a fluir, as linhas de força não passam a existir cada uma delas em seu próprio lugar, mas à medida que a intensidade aumenta novas linhas são geradas dentro do ímã ou corrente e gradualmente crescem em direção ao exterior, de maneira que todo o sistema se expande de dentro para fora ...
>
> ...Por meio deste novo simbolismo, Faraday definiu com precisão matemática toda a teoria do eletromagnetismo em uma linguagem livre de tecnicismos matemáticos, e aplicável aos casos mais complicados bem como aos mais simples. Mas Faraday não parou por aqui. Ele prosseguiu da concepção geométrica de linhas de força para a concepção física. Ele observou que o movimento que a força elétrica ou a magnética tendem a gerar é invariavelmente tal como para encurtar as linhas de força ao mesmo tempo em que permite que se afastem lateralmente umas das outras. Assim ele percebeu no meio um estado de tensão que consiste em uma tração como a que existe em uma corda esticada, na direção das linhas de força, combinada com uma pressão em todas as direções, mas formando um ângulo reto com essas linhas.
>
> Essa é uma concepção bastante diferente de ação a distância, reduzindo-a a um fenômeno do mesmo tipo que aquela ação a distância que é exercida por meio de tensão de cordas e pressão de bastões. Quando os músculos de nossos corpos são excitados por um estímulo ao qual somos capazes de uma maneira desconhecida de responder, as fibras tendem a encurtar-se e ao mesmo tempo expandir lateralmente. Um estado de tração se produz no músculo e o membro se move. ...Por razões similares podemos considerar a concepção de Faraday de estado de tensão de um campo eletromagnético como um método de explicar a ação a distância por meio de uma trans-

[5] Apesar de a idéia de *linhas de força* não ser nova, já que tinha sido repetidamente observada e investigada como uma curiosidade da ciência, foi através das mãos de Faraday que a mesma tornou-se um poderoso instrumento de investigação científica. [5]

> missão contínua de força, mesmo que não saibamos como este estado de tensão se produz.

Vemos então que Faraday "percebeu no meio um estado de tensão" (ver Fig. 8). As propriedades físicas desse meio, entretanto precisavam ser esclarecidas. Esta importante questão das características específicas do meio eletromagnético, discutiremos mais adiante. Antes vamos fazer algumas considerações sobre a origem do conceito de campo do ponto de vista matemático.

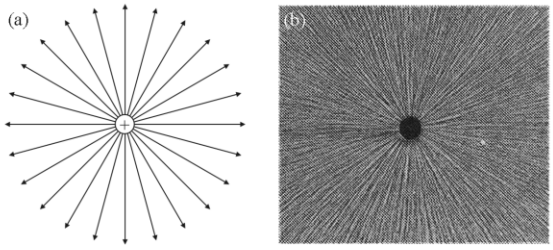


Figura 8 - a) Representação do campo elétrico através de linhas de força, para o caso de uma carga pontual; b) Visualização das linhas de força através de fiapos de tecidos suspensos em óleo (Foto de Harold M. Waage. Princeton University. Adaptada do livro *Física*, de P.A. Tipler, [10, p. 606]. Esta figura poderia ser obtida também com pequenos pedaços de fibra de sisal, em lugar de fiapos de tecidos. Comparar com a Fig. 2.

5. O campo como uma função matemática: o campo nos *meios contínuos*

Nosso propósito neste item é expor como se deu a extensão da noção de campo, como uma função matemática, associada inicialmente apenas aos meios contínuos, para a noção de campo desvinculada desse substrato material. De acordo com Einstein [11]:

> [...] o fato do conceito de campo emancipar-se da necessidade de um substrato material pertence aos processos psicológicos mais interessantes no desenvolvimento do pensamento físico.

Para entendermos este processo, devemos recordar que o ponto de vista inicialmente adotado pela mecânica newtoniana era o de que a matéria era constituída, em princípio, por pontos materiais. Nos problemas em que a matéria era imaginada como contínua, ou seja, nas situações em que não se estava interessado ou não se podia descrever sua estrutura discreta, as pequenas partes da matéria (elementos de volume) eram tratadas como pontos materiais. Isto é o que foi feito, por exemplo, pelo físico e matemático ítalo-francês Joseph L. Lagrange (1736-1813), no século XVIII, ao descrever o movimento dos fluidos. A cada partícula do fluido (elemento infinitesimal de volume) eram atribuídas as coordenadas x, y, z, as quais eram expressas em função do tempo. Esta não era, entretanto, a única maneira de se descrever o movimento de um fluido. Outros cientistas preferiram adotar outro ponto de vista, a exemplo do físico e matemático suíço, Leonardo Euler (1707-1783), que preferiu recorrer ao que chamamos *conceito de campo* como uma função matemática no interior da matéria ordinária. Nessa descrição do movimento de um fluido, não se procurava especificar o comportamento de cada partícula (elemento de volume), a cada instante; em lugar disto, especificava-se a densidade $\rho(x,\, y,\, z,\, t)$ e a velocidade $\mathbf{v}(x,\, y,\, z,\, t)$ do fluido em cada ponto do espaço, a cada instante. Portanto, concentravam-se as atenções no que ocorria em um ponto particular do espaço em um instante particular e não no que estava acontecendo a uma determinada partícula do fluido. Vemos então que, no quadro da física clássica, o conceito de campo foi criado como uma *idéia auxiliar* para o estudo dos problemas em que a matéria era tratada como contínua.

Mas não foi só na descrição do movimento dos fluidos que o conceito de campo como uma função matemática se mostrou útil. Ele foi usado também no estudo da transmissão da energia sob a forma de calor em corpos sólidos, realizado pelo físico e matemático francês Jean. B. Fourier (1768-1830), entre 1807 e 1822. Nesse período, Fourier estabeleceu sua famosa equação geral de propagação do calor, a qual pode ser datada de 1807, ano no qual Fourier apresentou sua *Memória sobre o Calor,* já que entre 1807 e 1822 o que houve foi um aperfeiçoamento das idéias iniciais que culminaram com a publicação da sua *Teoria Analítica do Calor*, nesta última data.

Para entendermos melhor o que foi dito, consideremos o problema da transmissão de energia na forma de calor em um corpo sólido. Neste caso, o *estado* do corpo é descrito indicando-se a temperatura, T, de cada ponto do corpo, em um determinado instante. Na equação obtida por Fourier, a temperatura, T, isto é, o campo de temperatura, aparece como uma função matemática das coordenadas e do tempo, $T = T(x,\, y,\, z,\, t)$, como podemos ver

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\kappa\Big[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + ...\Big],$$

que é a equação do calor, devida a Fourier.

A dedução da equação do calor, conforme feita por Fourier, pode ser vista no Apêndice. A solução desta equação para o caso do problema da condução do calor em apenas uma dimensão, onde T é uma função somente de x e de t, entretanto, pode ser facilmente obtida se nos restringirmos ao fluxo de calor estacionário, isto é, independente do tempo. E é isto o que vamos fazer a seguir.

Consideremos então, como exemplo, o caso de uma barra com as extremidades ligadas a duas fontes térmicas, com apenas as laterais cobertas por um isolante térmico ideal (Fig. 9).

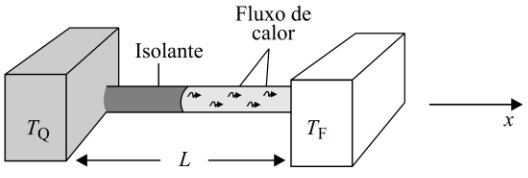


Figura 9 - Barra com extremos ligados a duas fontes térmicas.

Como o fluxo de calor é suposto ser estacionário, então, $\partial T/\partial t = 0$ e, consequentemente, -κ [($\partial^2 T$ / ∂x^2) + ...] = -κ ($\partial^2 T$ / ∂x^2) = 0. Como decorrência desse resultado, podemos escrever

$$\frac{\partial T}{\partial x} = a \quad \text{ou} \quad T(x) = ax + b,$$

onde a e b são constantes de integração.

Considerando agora que em

$$x = 0, \quad T(0) = b = T_Q$$

e que em

$$x = L, \quad T(L) = aL + b = aL + T_Q = T_F,$$

então

$$T = T(x) = -\Big[\frac{(T_Q - T_F)}{L}\Big]x + T_Q,$$

que é o campo de temperatura, procurado.

Vemos então que os campos acima referidos ocorrem apenas no interior da matéria ordinária, onde o calor é transmitido por condução (o que pressupõe ação de partes em contato). Com estes campos, seria possível descrever-se um *estado* desta matéria. Nos lugares onde não houvesse matéria, não poderia existir campo. Isto se quiséssemos estar de acordo com a gênese do conceito de campo, como uma função matemática.

Entretanto, nas primeiras décadas do século XIX, a física passou por um processo de grandes descobertas e renovação. Isto se deu especialmente com as descobertas de Thomas Young e Augustin Fresnel relacionadas à natureza da luz e com a descoberta fundamental de Oersted, da relação entre a eletricidade e o magnetismo. Uma das consequências dos trabalhos de Young e Fresnel foi a retomada do conflito científico entre os modelos corpuscular ou ondulatório para a luz, conflito este que teve sua origem nos trabalhos de R. Descartes (1595-1650), C. Huygens (1629-1695), I. Newton e outros cientistas do século XVII.

Ao estudar os fenômenos luminosos, Young, que era médico e se interessava pelos problemas de visão, descobriu, entre os anos 1801 e 1803, o que ele chamou de "lei geral da interferência da luz". Inspirado em efeitos observados em experiências com ondas na água e com ondas sonoras, ele foi capaz de mostrar que os resultados de experiências semelhantes, feitas com luz passando através de duas fendas (ou dois furos, pequenos), poderiam ser explicados de forma simples se a luz fosse considerada como uma onda e não como uma partícula. Logo em seguida, ainda nas duas primeiras décadas do século XIX, Fresnel, num trabalho igualmente extraordinário, consolidou a concepção da luz não só como onda, mas também como uma onda transversal, dando um passo a frente de Huygens que, junto com outros físicos do século XVII, consideravam a onda luminosa semelhante a uma onda sonora, que é longitudinal. Com base no modelo ondulatório, os fenômenos de interferência e de propagação da luz puderam ser explicados com bastante simplicidade, tomando-se a luz como um campo de ondas perfeitamente análogo ao campo das oscilações mecânicas em um sólido elástico. Este campo existiria mesmo na ausência da matéria ordinária, o que, sem dúvida, parecia um paradoxo. A este respeito, Einstein afirma [11]:

> [...] Foi necessário introduzir um campo que agora era capaz de existir também no espaço vazio, na ausência da matéria ponderável.
>
> Este estado de coisas criou uma situação paradoxal, porque o conceito de campo, de acordo com a sua origem, parecia restrito a descrever estados no interior de um corpo ponderável.

Vemos então que, até essa época, o campo era pensado como algo capaz de descrever um *estado* no interior da matéria ordinária. Com a extensão do conceito de campo para o espaço, fora da matéria ponderável, surgiu a necessidade de se retomar a idéia do éter aristotélico-cartesiano que admitia, em toda parte, inclusive no espaço considerado vazio, a existência de um meio ou substância material de propriedades no mínimo curiosas. A origem remota e o desenvolvimento da idéia de éter é o que veremos a seguir.

6. O éter

A idéia de um meio (sutil e misterioso) que preencheria o espaço remonta à Grécia antiga.[6]

Para Aristóteles (384-322 a.C.), o éter era um fluido puro e transparente que preencheria a chamada esfera celeste. Dentro da sua visão da natureza e de acordo com a dualidade de sua física (terrestre e celeste), Aristóteles aprimorou a idéia dos quatro elementos de Empédocles: terra, fogo, ar e água, e admitiu que tais elementos comporiam apenas as coisas da Terra, de forma que o espaço celeste seria formado por um quinto elemento – o éter. Sendo estranho ao mundo sublunar, o quinto elemento, a que ele chamou de éter, não poderia transformar-se em outras substâncias e seria incorruptível e eterno, como o mundo celeste. O éter seria uma substância que se distinguiria de todas as formas

[6]De acordo com alguns estudiosos, o termo *aithér* deriva do verbo *aítho*, e o significado desse verbo e de seus derivados como *aithér*, envolve não só a noção básica de queimar, abrasar, mas também aspectos secundários desse fenômeno como *brilho do fogo*.

de matéria. Mais tarde, na Idade Média, os aristotélicos a denominaram de "quinta essência".

Por quase 2000 anos, prevaleceram na física as idéias aristotélicas como um todo e, consequentemente, a idéia de *éter* defendida por Aristóteles. No século XVII, entretanto, a idéia do éter sofreu modificações com os trabalhos de Descartes, Huygens, Newton e outros. Descartes, por exemplo, dentro de sua visão do universo, aceitava a existência de um meio ou substância entre os corpos materiais, e esse meio seria um fluido que ocuparia todo o espaço, inclusive os poros destes corpos. Para ele, "uma matéria muito sutil", o éter (termo que ele não usou talvez para não ser confundido com o éter aristotélico) seria o intermediário das ações dos sistemas físicos, especialmente os ópticos; e a luz, essencialmente, um movimento ou ação que se transmitia através desse meio. Em *La Dioptrique* (1637), Descartes escreveu [12]:

> [...] recorde-se a natureza que atribuí à luz, quando afirmei que esta não é mais do que um certo movimento ou ação, no seio de uma matéria muito sutil que enche os poros de todos os corpos.

É a partir dessas idéias que Huygens concebe seu meio propagador da luz, com características tais que explicassem o fato da luz ter uma grande velocidade, por ele já avaliada, a partir da descoberta de Roemer, em 230.000 km/s. Em 1678, Huygens melhorou e ampliou a hipótese ondulatória da luz, proposta por Robert Hooke (1635-1703) e pelo padre jesuíta Ignácio Pardiès (1636-1673). O fio condutor do raciocínio de Huygens foi a analogia com o som, que é uma vibração mecânica em meios como o ar, os sólidos e os líquidos. Como o som não se propaga no vácuo, e a luz propaga-se (também) nele, Huygens então precisou conceber a existência de um meio luminoso, que penetrava os poros de todos os corpos e enchia todo o espaço. Este meio seria para ele um fluido, batizado de éter luminífero, apoiado no éter aristotélico-cartesiano.

Em 1817, as discussões em torno desse meio elástico especial, cujas propriedades eram essencialmente diferentes daquelas que têm os meios elásticos comuns, ganham uma nova dimensão, e isto ocorre devido à hipótese da transversalidade da onda luminosa, introduzida por Young, na tentativa de explicar os fenômenos relacionados à dupla refração. Como consequência destas idéias de Young, o físico francês Augustin Fresnel foi levado a introduzir um novo modelo para o éter luminífero. O éter de Fresnel deveria comportar-se como um sólido elástico, e não como um fluido, como queria Huygens e outros. De acordo com este modelo, o éter deveria ser rígido, pois sendo a luz uma onda transversal, não se propagaria (da mesma forma que as ondas mecânicas transversais também não o fazem) através de um meio fluido. Mas, simultaneamente, o éter teria que ser muito tênue para, por exemplo, não oferecer resistência ao movimento dos planetas. A propósito desse modelo para o éter, Young observou ([2, p. 25]):

> [este modelo] é pelo menos bastante engenhoso e pode dar origem a alguns cálculos satisfatórios; no entanto, dele faz parte uma circunstância que tem consequências desastrosas... a resistência lateral tem sido apenas atribuída a sólidos; de modo que... se pode inferir que o éter luminífero que enche todo o espaço e penetra quase todas as substâncias é não só altamente elástico como também totalmente sólido!!!

Apesar das dificuldades inerentes a tal modelo - devido ao fato dele exigir propriedades contraditórias para o éter - a hipótese da sua existência perdurou por muito tempo, recebendo, inclusive, um reforço significativo na década de 1860, após Maxwell demonstrar que a luz era uma onda eletromagnética.

Com a teoria eletromagnética da luz criada por Maxwell, o éter deixaria de ter natureza necessariamente mecânica, como até então, pois, nessa teoria, as propriedades do meio eletromagnético deveriam ser idênticas às do meio luminífero. No seu livro publicado em 1873, Maxwell escreveu ([13, p. 431]):

> Em muitas partes desse tratado tentamos explicar fenômenos eletromagnéticos por meio de ação mecânica transmitida de um corpo a outro através de um meio ocupando o espaço entre eles. A teoria ondulatória da luz também supõe a existência de um meio. Agora mostraremos que as propriedades do meio eletromagnético são idênticas àquelas do meio luminífero.

Apesar de ter sido proposto, inicialmente, como meio propagador da luz, o éter poderia agora ser pensado também como meio propagador das ondas elétricas e magnéticas. Para Maxwell, independentemente das dificuldades que pudéssemos ter para formar uma idéia consistente sobre a constituição do éter, não poderia haver qualquer dúvida de que os espaços interplanetários e interestelares não eram vazios, mas sim ocupados por uma substância material.

Vemos, então, que a idéia do que seria o éter mudou ao longo do tempo. Por volta de 1887, acreditava-se que o éter seria um meio sutil, infinitamente mais tênue que os gases mais leves, absolutamente inerte e perfeitamente elástico. Tal substância ou corpo seria uma espécie de quarto estado físico da matéria que preencheria os intervalos ou poros moleculares, penetrando intimamente todos os corpos compostos da matéria ordinária, quer esta estivesse em estado sólido, líquido ou gasoso. Além disso, o éter seria encontrado não só na vizinhança da Terra e serviria de in-

termediário universal entre todos os constituintes do universo.

A hipótese da existência do éter teve sua primeira grande dificuldade após as famosas experiências realizadas pelo físico alemão, naturalizado norte-americano Albert A. Michelson (1852-1931), algumas das quais realizadas em colaboração com o químico norte-americano, Edward W. Morley (1838-1923), em 1887. Nessas experiências, eles tentaram verificar o efeito da velocidade do referencial do observador (Terra) na medida da velocidade da luz viajando no suposto éter. Como tal efeito não foi detectado, colocou-se em séria dúvida a existência do éter.

Mas os cientistas não estavam dispostos a abandonar a idéia do éter tão facilmente. Os resultados dos experimentos de Micheson-Morley surgiram num contexto em que os físicos estavam buscando a formulação de uma teoria eletromagnética mais ampla do que a de Maxwell para esclarecer vários fenômenos físicos que estavam ficando sem explicação[7] dentro do quadro das teorias físicas então existentes. O cientista mais bem sucedido neste propósito foi o físico holandês H.A. Lorentz (1853-1928) que, a partir de 1880, apoiado na hipótese do éter, desenvolveu sua teoria eletromagnética (chamada às vezes *teoria dos elétrons*) apresentando a forma final da mesma em 1904.[8] Neste período, Lorentz explicou inclusive os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley, acrescentado à sua teoria a chamada *hipótese da contração* (1892).

Baseado em um ponto de vista bastante diferente do de Lorentz, Albert Einstein (1879-1955) entra em cena em 1905 com a teoria da relatividade restrita. Einstein havia tomado conhecimento dos trabalhos de pesquisa de Lorentz já há algum tempo, mas, diferentemente de Lorentz, não considerou a hipótese do éter na formulação da sua teoria, o que, naturalmente, geraria muita polêmica. Em seu artigo de 1905, Einstein escreveu [14]:

> A introdução de um "éter luminífero" revelar-se-á supérflua visto que na teoria que vamos desenvolver não necessitaremos de introduzir um "espaço em repouso absoluto".

Apesar de a teoria eletromagnética do éter, de Lorentz, e a teoria da relatividade restrita, de Einstein, serem, do ponto de vista dos resultados experimentais, praticamente equivalentes, em pouco tempo a teoria de Einstein prevaleceu sobre a teoria de Lorentz.

Mas a discussão sobre a hipótese da existência do éter não se encerra com a publicação da teoria da relatividade restrita (nem com a publicação da teoria da relatividade geral, 11 anos depois). Em 1916, Einstein, numa carta a H. Lorentz, escreve [15]:

> Eu concordo com você que a teoria da relatividade geral admite uma hipótese do éter assim como a teoria da relatividade especial.

Em maio de 1920, diante da polêmica surgida em torno da idéia do éter (com a publicação da teoria da relatividade restrita e geral), Einstein, a pedido de Paul Ehrenfest e após ter aceitado o convite da Universidade de Leyden para ser *professor especial* daquela universidade (o que envolvia visitas de algumas semanas por ano), fez uma conferência sobre *Ether and the Theory of Relativity*, quando, após apresentar uma revisão histórica do conceito de éter, afirmou [15, 16]:

> A posição que poderia ser assumida, em seguida, parecia a seguinte: o éter não existe, os campos eletromagnéticos não são estados de um meio e não estão ligados a qualquer transportador mas são realidades independentes que não podem ser reduzidas a nenhuma outra coisa, exatamente como os átomos da matéria.

e mais adiante ele diz:

> Uma reflexão mais cuidadosa nos ensina, no entanto, que a teoria especial da relatividade não nos obriga a negar o éter. Podemos assumir a existência do éter; apenas devemos desistir de lhe atribuir um estado definido de movimento.

Negar o éter seria, em última instância, assumir que o espaço vazio não tem nenhuma propriedade física, mas, para Einstein, esta visão não se harmoniza com os fatos fundamentais da mecânica. "Newton poderia ter chamado seu espaço absoluto de 'éter', o essencial é apenas que, além dos objetos observáveis, há outra coisa, não perceptível, que deve ser considerada real, para podermos considerar a aceleração ou a rotação como algo real". No último parágrafo de sua conferência Einstein resume:

> Recapitulando, podemos dizer que de acordo com a teoria da relatividade geral, o espaço é dotado de qualidades físicas; neste sentido, portanto, existe um éter. De acordo com a teoria da relatividade geral, espaço sem éter é impensável; pois, em tal espaço, não haveria propagação da luz nem possibilidades de padrões de espaço e tempo (réguas e relógios), nem intervalos de espaço-tempo no sentido físico. Mas este éter não pode ser dotado da qualidade dos

[7] Como, por exemplo, a emissão e absorção da radiação térmica, e a dispersão normal e anômala (dependência do índice de refração com a frequência).

[8] Para Lorentz, "O mundo físico consiste de três coisas separadas, três tipos de material fundamental: primeiro a matéria ordinária tangível, segundo os elétrons, terceiro o éter ...".

> meios ponderáveis, que consistem em partes que podem ser seguidas ao longo do tempo. A idéia de movimento não pode ser aplicada a ele.

Vemos então que Einstein afirma existir uma diferença entre o éter compatível com a teoria da relatividade e o éter clássico (pré-relativístico). Este novo éter depende, por exemplo, da influência da matéria em pontos próximos, ao passo que o éter clássico, de Lorentz, seria igual em todos os pontos.

Mesmo hoje, a idéia da existência do éter não perdeu seu brilho. Após retornar à física através da relatividade geral de Einstein, a idéia de éter vem sendo também considerada, de outra forma, na teoria quântica. Nesta, a idéia do éter retorna através do conceito de *vácuo quântico* que, conforme nos lembra R. Martins [15], pode ser tudo, menos vazio.

Muitos cientistas evitam usar o termo éter. Este termo ainda é um tabu. Mas não se pode negar que o desenvolvimento científico exigiu a introdução de novos conceitos semelhantes ao conceito de éter clássico, adotado na segunda metade do século XIX.

7. O campo eletromagnético: de Faraday a Maxwell

Em meados do século XIX, pesquisas muito importantes sobre eletricidade e magnetismo estavam sendo feitas na Alemanha, por físicos e matemáticos alemães e eram baseados na teoria de ação a distância. As idéias que guiaram os trabalhos de A.M. Ampère (1775-1836), na França, pertenciam também a esta escola. Na Inglaterra, entretanto, uma visão completamente diferente tinha sido adotada por Faraday: aquela que admitia a presença de um meio entre os corpos, e a ação entre eles se dando através deste meio - de uma porção à porção contígua. É neste estágio crucial para o desenvolvimento do eletromagnetismo que surgem os trabalhos de J.C. Maxwell. (Fig. 10).

Maxwell se beneficiou inteligentemente dos trabalhos desenvolvidos por William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907), um eminente físico, matemático e engenheiro, nascido em Belfast, na Irlanda, de família escocesa que, com 17 anos, influenciado pela obra de Fourier, (conhecia também as obras de Lagrange e Laplace) tinha mostrado que as equações utilizadas na formulação e resolução de problemas de eletrostática podiam ser usadas para resolver problemas de transferência de calor. Num trabalho de 1842, Kelvin compara distribuição de força eletrostática, em uma região contendo condutores eletrizados, com a distribuição de fluxo de calor em um sólido suficientemente grande para que detalhes do seu contorno pudessem ser desprezados (evitando assim complicar o estudo); as superfícies equipotenciais em um caso correspondem às superfícies isotérmicas no outro, e a carga elétrica corresponde a uma fonte de calor. Curiosamente, seus resultados mostraram que as respostas matemáticas ao problema elétrico eram semelhantes as dos problemas de transferência de calor. Tal comparação, tal exercício matemático, era aparentemente (só aparentemente) de pouca valia, pois, nessa época, a eletrostática era tratada de forma simples e eficaz com base na idéia de ação a distância e o mecanismo de transferência de calor, que pressupunha ação de partes em contato, não parecia ter análogo na eletricidade. Maxwell, porém, viu nos trabalhos de Kelvin uma idéia inteiramente nova. Maxwell diria, posteriormente, que o trabalho de Kelvin "introduziu na ciência matemática a idéia de ação elétrica conduzida através de um meio contínuo" [17, p. 241]. Esta era a mesma idéia proposta por Faraday, mas nunca antes trabalhada do ponto de vista matemático. Em 1846, Kelvin desenvolve um pouco mais este assunto e, adotando a idéia de um meio permeando todo o espaço, o éter clássico (Faraday preferia preencher o espaço não com o éter, mas com as linhas de força), compara os efeitos elétricos no éter com as variações encontradas em um corpo sólido submetido a tensões. Era uma idéia que prometia esclarecer como tal éter podia transmitir efeitos de um lugar para outro. Nas mãos de Maxwell, as concepções de Kelvin foram desenvolvidas com admirável imaginação, a partir de 1855.



Figura 10 - James C. Maxwell e esposa, em 1869.

Maxwell era um grande matemático e naturalmente sabia que uma mesma equação matemática podia adquirir significados físicos diferentes, dependendo do contexto teórico e do objeto físico a que se referisse. Em 1856, Maxwell assim se refere aos resultados dos trabalhos desenvolvidos por Kelvin [18]:

> [...] As leis de condução de calor em um

> meio uniforme parecem, à primeira vista, muito diferentes em suas relações físicas quando comparadas com as leis de atração. Nelas as quantidades que entram são a temperatura, o fluxo de calor e a condutividade. A palavra força é estranha a este assunto. No entanto, descobriu-se que as leis matemáticas para o movimento uniforme de calor em meio homogêneo são idênticas às leis de atração, variando com o inverso do quadrado da distância [...]

Maxwell, porém, não era só um grande matemático. Ele era também um físico extraordinário e percebeu que o mecanismo físico de transferência de calor por ação de partes em contato (de uma porção à porção contígua) poderia ter seu equivalente no contexto do eletromagnetismo se para isso fossem adotadas as concepções de Faraday, em lugar da idéia de ação a distância, que prevalecia entre os matemáticos, conforme citamos anteriormente. Acreditou então que, assim fazendo, poderia encontrar uma teoria mais consistente fisicamente que aquela formulada pelos matemáticos do continente europeu, baseada na concepção de ação a distância. No seu tratado, publicado em 1873, Maxwell escreveu ([13, p. viii]):

> [...] antes de iniciar o estudo de eletricidade, eu resolvi não ler a matemática sobre o tema sem primeiro ler as "Pesquisas Experimentais em Eletricidade", de Faraday. Eu estava atento para a suposta existência de uma diferença entre a maneira de Faraday conceber os fenômenos e a maneira dos matemáticos, tal que nem ele e nem eles ficaram satisfeitos com a linguagem um do outro. Eu também tinha a convicção que essa discrepância não tinha origem em nenhum erro. Fui primeiro convencido disso por Sir William Thomson, cuja orientação e assistência, bem como suas publicações, propiciaram o que eu tenho aprendido sobre o assunto.
>
> Quando eu prossegui com o estudo de Faraday, percebi que seu método de conceber os fenômenos foi também matemático, apesar de não exibido na forma convencional de símbolos matemáticos. Eu também achei que seus métodos foram capazes de ser expressos nas formas matemáticas ordinárias, e então comparados com aqueles dos matemáticos. Por exemplo, Faraday visualizava linhas de força atravessando todo o espaço onde os matemáticos viam centros de força atraindo-se a distância. Faraday visualizava um meio onde eles nada viam, somente distância. Faraday procurava a base dos fenômenos em ações que se processavam num meio, eles se satisfaziam ao tê-las achado num poder de ação a distância exercido sobre os fluidos elétricos.
>
> Quando eu traduzi de uma forma matemática o que considerei serem as idéias de Faraday, achei que em geral os resultados dos dois métodos coincidem, tal que os mesmos fenômenos foram explicados, e as mesmas leis de ação deduzidas de ambos os métodos, porém, que os métodos de Faraday assemelhavam-se àqueles nos quais começamos com o todo e chegamos às partes por análise, enquanto os métodos matemáticos ordinários baseavam-se sobre o princípio de iniciar com as partes e construir o todo por síntese.

Para Maxwell, seus trabalhos são uma tradução matemática do que ele considera ser as idéias de Faraday. Porém, em lugar de se concentrar nas linhas de força, como Faraday o fez, Maxwell gradualmente foi deslocando sua atenção para a idéia de uma substância que preencheria todo o espaço e que seria responsável pela transmissão dos efeitos elétricos e magnéticos, tendo incorporado ao seu éter, nesse processo, muitas das idéias que Faraday havia desenvolvido para as linhas de força.

No seu famoso tratado sobre eletricidade e magnetismo, Maxwell apresenta uma formulação matemática unificada das leis de Coulomb, Oersted, Ampère, Biot/Savart, Faraday e Lenz, expressando essas leis na forma de quatro equações, conhecidas, hoje, como equações de Maxwell. Uma consequência importante de sua teoria eletromagnética foi a incorporação da óptica ao eletromagnetismo.

8. O campo após Maxwell

Como vimos, as experiências realizadas por A. Michelson e E. Morley, em 1887, colocaram em séria dúvida a presença do éter no Universo e, aos poucos, a esperança de explicar o campo com base em concepções mecânicas para o éter, foi se enfraquecendo (o campo elétrico, por exemplo, era imaginado como sendo uma modificação de um meio elástico, análoga a uma tensão neste meio). Apesar de cientistas importantes, a exemplo de Lorentz, continuarem suas pesquisas com base na hipótese do éter, outros passaram a encarar a luz como uma onda que se auto-sustentava e, paulatinamente, as atenções dos cientistas se deslocaram do conceito de éter para o conceito de campo. Ao que parece, foi Hertz (1887) um dos primeiros a postular a validade das equações de Maxwell, sem a necessidade do meio etéreo no qual as ondas se propagariam, e consta que ele o fez por razões didáticas.

Até aqui não discutimos a relação entre campo e energia. Mas é oportuno salientar que a atribuição de energia ao campo, concebida pela teoria eletromagnética de Maxwell (no artigo *A Dynamical The-*

ory of the Electromagnetic Field, de 1864), revelou-se mais um passo importante no desenvolvimento deste conceito. A relação de equivalência entre energia e massa estabelecida pela teoria da relatividade restrita, em 1905, entretanto, introduziu novas questões. Se há uma equivalência entre energia e massa, qual seria a relação entre campo e massa, ou melhor, entre campo e matéria? De outro modo: Podemos pensar em campo e matéria como duas realidades diferentes? Quais são os critérios físicos que distinguem campo e matéria?

Ao apreciar estas questões, devemos notar que, até 1905, não havia dificuldade em se distinguir campo e matéria. Todos concordavam que matéria tinha massa enquanto campo não tinha. Com a teoria da relatividade restrita, entretanto, matéria passou a representar enormes reservatórios de energia (e energia a representar matéria) com o campo representando energia onde a concentração desta era pequena. Sendo assim, não haveria como distinguir entre campo e matéria. Não seria possível imaginar, portanto, uma superfície definida separando distintamente campo e matéria (esta mesma dificuldade surge para a carga e seu campo).

Tendo em conta que as leis de Maxwell e da gravitação não são válidas onde as "fontes" do campo (cargas, massas) estão presentes, Einstein sugere, em seu livro *Evolução da Física* ([19, p. 198]), que se considerássemos a matéria como sendo as regiões do espaço em que o campo é extremamente forte, talvez fosse possível, com base unicamente no conceito de campo, dar uma explicação de todos os acontecimentos da natureza por leis estruturais válidas em toda parte, inclusive onde as "fontes" de campo estão presentes!

Embora todas as interações (a exemplo da gravitacional, da forte e da eletromagnética, ou como diríamos, a partir de 1968, eletrofraca) possam ser descritas por meios de campos, devemos lembrar que nem todo campo corresponde a uma interação. Os campos de temperatura, pressão, e velocidades, por exemplo, não correspondem a nenhuma interação.

9. O campo em sala de aula

Em sala de aula, no contexto do ensino tradicional de eletricidade e magnetismo para alunos do segundo ano universitário, da área de ciências exatas, a minha experiência pessoal era a de apresentar o assunto ou capítulo "campo elétrico" nos marcos de uma abordagem matemático-conceitual, com pouca referência nos aspectos histórico-conceituais, pelo menos na extensão sugerida neste artigo. As razões que nos levavam a este tipo de abordagem geralmente estavam relacionadas com o excesso de tópicos a serem cobertos dentro da carga-horária da disciplina. A isto se somava a necessidade reclamada pelos alunos de se fazer um número razoável de exercícios em sala de aula, envolvendo cálculo diferencial e integral, no que geralmente se gastava muito tempo. Esta maneira de apresentar o assunto poderia até resultar num bom "treinamento" para alunos dos cursos de engenharia, por exemplo, mas certamente não é a melhor maneira de abordar o tema, especialmente no que se refere aos alunos do curso de Licenciatura em Física.

Novas experiências em sala de aula, entretanto, têm confirmado que uma abordagem em que os aspectos histórico-conceituais são acrescidos à abordagem tradicional é muito mais adequada para a boa formação do aluno que a abordagem com ênfase apenas nos aspectos matemático-conceituais. É isto o que tenho verificado ao ministrar a disciplina Física Básica III, destinada a alunos do curso de Licenciatura em Física, noturno, da UFBa, cuja ementa prever explicitamente a inclusão de história da física, juntamente com aspectos fenomenológicos e matemáticos, no ensino da eletricidade e magnetismo. Apesar desta nova abordagem ter sido realizada através desta disciplina, a mesma poderia ter sido também realizada através da disciplina tradicional (Física Geral e Experimental III-E), desde que houvesse tempo para tanto. Física Básica III é, às vezes, considerada complementar à disciplina tradicional destinada aos alunos de Licenciatura em Física, noturno.

As vantagens dessa abordagem diferenciada podem ser vistas não só nos conteúdos dos tópicos apresentados neste artigo, os quais, em sua maioria, são aqueles discutidos com os alunos, mas também pelas questões interessantes que surgem em sala de aula. Tais questões geralmente estão relacionadas diretamente com as interações eletromagnéticas, descritas por campos elétricos e magnéticos. Mas tendo em conta que muito dos seus aspectos podem ser estendidos a outros campos, seria útil apresentá-las aqui. São elas:

O que é mesmo o campo elétrico? A presença de uma carga muda realmente as propriedades do espaço em sua volta? O campo elétrico é algo real, ele existe de fato? Não é apenas um recurso útil para descrever os fenômenos físicos? Podemos falar de interação (repulsão ou atração) entre campos (criados por bobinas ou imãs, por exemplo)? Qual a diferença essencial entre o conceito de campo usado na linguagem cotidiana, a exemplo de campo de influência política, e o conceito científico de campo físico?

Ao comentar estas questões, devemos primeiro dizer que o termo campo e muitas outras palavras usadas em física, tais como, velocidade, aceleração, força, energia, trabalho, etc, são, na realidade, com algumas modificações importantes, palavras usadas na linguagem cotidiana. A palavra campo, por exemplo, pode ser usada no sentido de campo de jogo (campo de futebol), campo de influência política, etc. Nesses dois exemplos, o campo pode ser entendido como uma região de interação. No sentido político, o termo campo refere-se também a uma quantidade de influência que varia de local para local, estando associado ainda a uma "fonte", um país que exerce a influência. Mas estas são idéias de campo da linguagem corrente e não há interesse em descrevê-las através de uma função matemática. No caso de um campo físico, entretanto, há necessidade de

tornar a idéia de campo precisa e isto só ocorre quando é possível associar um valor numérico à intensidade do campo a cada ponto do espaço, num certo instante de tempo e, eventualmente, associar também uma direção e um sentido. Em outras palavras, a idéia de campo físico exige a definição de uma função matemática capaz de expressar todas as propriedades do campo em cada ponto do espaço, num certo instante de tempo.

Quanto ao problema de poder ou não poder falar de interação entre campos, devemos ressaltar que, pelo menos do ponto de vista conceitual, não se deve falar em repulsão ou atração entre campos. Cargas em movimento (corrente) numa bobina, por exemplo, tem um campo a elas associado e este campo exerce uma força sobre cargas em movimento (corrente) na outra bobina e não sobre o campo da outra bobina.

O problema de o que é mesmo o campo elétrico e o de sua realidade, entretanto, exige mais atenção e é conveniente considerarmos separadamente os casos do campo eletrostático e do campo eletromagnético propriamente dito.

9.1. Caso do campo eletrostático

Consideremos, por simplicidade, o campo elétrico devido a uma partícula carregada, em repouso. Para dar resposta ao problema de o que é mesmo o campo elétrico, devemos dizer que, do ponto de vista puramente matemático (do campo como uma função matemática), o campo elétrico é um vetor obtido através da solução das equações de Maxwell! No caso particular da partícula carregada, este campo corresponde ao vetor representado por $\mathbf{E} = k(q/r^3)\mathbf{r}$, cujo módulo é $k(q/r^2)$. Esta resposta tem a vantagem de ser razoavelmente precisa, mas certamente é insuficiente ou incompreensível para aqueles que estão iniciando o estudo da física. Vamos então dar um passo adiante e procurar responder esta questão do ponto de vista agora qualitativo, assim podemos enfatizar questões que vão além das equações matemáticas, passando-se do mundo dos símbolos ao mundo das "coisas", descrito por palavras e imagens. Para isto, suponhamos, inicialmente, o espaço vazio, livre de qualquer influência elétrica. Se transportarmos uma carga elétrica para uma região deste espaço, cada ponto do mesmo adquirirá propriedades que antes não tinha (é como se o espaço deixasse de ser "neutro"). A estas novas propriedades associadas a cada ponto do espaço (à qual podemos associar um valor numérico), a esta "atmosfera elétrica" existente em torno da carga, chamamos campo elétrico (ver parte inicial deste trabalho).

Note que a partícula carregada tem um campo em torno de si, independente de existirem outras cargas por perto que possam "sentir" este campo. Para verificar a ação do campo, precisamos, entretanto, de outra carga. Ao exercer a ação em outra carga, o campo desempenha o papel de transmissor da interação entre elas.

Seria razoável perguntar agora se a presença de uma carga num ponto do espaço realmente muda as propriedades do espaço em sua volta, isto é, se o campo elétrico realmente existe. Será que tudo não passaria de uma interpretação forçada? Dito de outro modo: Como devemos conceber um campo de forças? Este deve ser concebido como algo puramente potencial (caso em que a presença de um corpo se limita apenas a descrever a propensão dos corpos de se moverem)? Deve ser entendido em termos de modificações físicas reais de um meio? Bem, se ficássemos restritos ao caso do campo eletrostático, a discussão deste problema não sairia do plano filosófico. Entretanto, se considerarmos o caso do campo eletromagnético propriamente dito, podemos jogar luz sobre este assunto.

9.2. Caso do campo eletromagnético

Para dar resposta ao mesmo problema citado anteriormente (de o que é mesmo o campo elétrico), devemos considerar que cargas em movimento produzem o chamado campo eletromagnético (isto é, além do elétrico produzem o campo magnético). A variação do movimento dessa carga *perturba* o campo eletromagnético e essa *perturbação* do campo (onda eletromagnética) se propaga no espaço com a velocidade da luz.

Surge então uma questão: A variação do movimento da carga perturba exatamente o que? O campo? O meio? Em 1873, quando ainda se admitia a presença no universo de um éter clássico, Maxwell responderia que a variação do movimento da carga perturba o meio, isto é, diria que o meio recebe os impulsos e os transporta! No artigo *Ação a Distância*, de 1873, Maxwell escreve [5]:

> Ele se estende [referindo-se ao meio eletromagnético] ininterrupto de estrela a estrela e quando uma molécula de hidrogênio vibra em uma estrela da constelação do Cão, o meio recebe os impulsos desta vibração, e depois de transportá-los em seu imenso regaço por três anos, entrega-os no devido tempo, de maneira regular, ao espectroscópio do...

Mas o meio eletromagnético a que Maxwell se refere aqui é o éter clássico e vimos que hoje não devemos falar mais no éter clássico. Ora, se não mais podemos defender o éter clássico, então deveríamos responder que o movimento da carga perturba o campo (e não o meio) e esta perturbação se propaga, afastando-se da carga (onda eletromagnética). Do ponto de vista mecânico, isto é equivalente a dizer que o movimento de um pistão oscilante perturba (ou altera) a densidade do ar numa certa região de um tubo, e esta perturbação (esta alteração) se propaga *em forma de onda* no tubo. Afirmamos que se propaga em forma de onda porque uma onda aparece quando uma perturbação criada numa região produz, num instante posterior, uma perturbação em *regiões adjacentes*.

Voltando ao eletromagnetismo. Se uma carga elétrica é forçada a oscilar, a oscilação da carga produz um campo elétrico em alteração, que se faz acompanhar (em regiões adjacentes) de um campo magnético em alteração, que por sua vez se faz acompanhar de um campo elétrico em alteração, e assim por diante. Mas "que tipo de alteração se está espalhando no campo de uma onda eletromagnética"? "Apenas as alterações de um campo eletromagnético", responde Einstein ([19, p. 123]).

Surge agora outra questão: E o que transportam estas ondas eletromagnéticas? Elas têm propriedades mecânicas? Isto é, elas transportam energia, momento linear e momento angular? Bem, ao descrevermos o movimento associado a uma onda, devemos distinguir dois aspectos do mesmo: i) o movimento da onda através do meio (através dos campos, no caso eletromagnético); ii) o movimento oscilatório das partículas do meio (oscilações ou alterações dos campos elétrico e magnético, no caso eletromagnético). É no movimento da onda através dos campos que podemos identificar uma das características mais importantes de uma onda eletromagnética, isto é, o poder de transportar energia de um ponto para outro (A energia do Sol para a Terra, por exemplo). Menos conhecido, entretanto, é o fato de que as ondas eletromagnéticas transportam também momento linear e momento angular. Note que é possível exercer-se uma pressão sobre um objeto fazendo-se incidir ondas eletromagnéticas no mesmo. Se admitirmos como válida a lei da conservação do momento (quantidade de movimento), a *pressão da radiação* deve ser interpretada como uma prova de que a radiação possui uma quantidade de movimento. A pressão da radiação foi medida por Pyotr Lebedev, em 1901, na Rússia, e por Ernest Nichols e Gordon Hull nos Estados Unidos (usando uma balança de torção), cerca de 30 anos após Maxwell ter predito teoricamente sua existência.

Vemos então que, no âmbito da física, na forma como a física modela a natureza, o uso do conceito de campo não é uma questão apenas de conveniência, ele é mesmo necessário. O exemplo a seguir, adaptado do livro *Física* de P. Tipler [10, p. 752], reforça esta afirmativa.

Considere a força que um elemento de corrente isolado exerce sobre outro, ou, equivalentemente, a força que cargas aceleradas momentaneamente e, em seguida, desaceleradas bruscamente, exercem uma sobre a outra (Fig. 11). Uma análise cuidadosa revela que não há força sobre o elemento 1, devido ao elemento 2 (o campo magnético devido ao elemento 2 é nulo pois $Id\mathbf{l}_2 \times \mathbf{r}$ é nulo), mas há força sobre o elemento 2 devido ao elemento 1. Estas forças, portanto, não obedecem à lei da ação e reação de Newton e isto implicaria na não conservação do momento linear (recorde-se que foi a observação experimental da conservação do momento nas colisões que levou Newton originalmente à lei da ação e reação). Pode-se mostrar, entretanto, que existe força (resultante) sobre o *circuito 1* devido ao *circuito 2*, e vice versa, e que estas forças resultantes obedecem à terceira lei de Newton. Se a discussão ficasse restrita a este caso, o problema da violação da terceira lei estaria resolvido. Mas devemos lembrar que é possível conseguir o equivalente a elementos de correntes isolados mediante a aceleração momentânea de cargas seguidas por uma desaceleração brusca e então a questão da não conservação do momento linear para este sistema passa a ser um problema real! Como superar esta dificuldade? A teoria eletromagnética resolve o problema incluindo no sistema das duas cargas, os campos elétricos e magnéticos. Como aceleração de cargas elétricas produz ondas eletromagnéticas e como a onda eletromagnética é portadora de momento, quando se inclui o campo e o respectivo momento neste sistema, o momento total do sistema é novamente conservado! Na física, o uso do conceito de campo não é, portanto, uma questão apenas de conveniência.

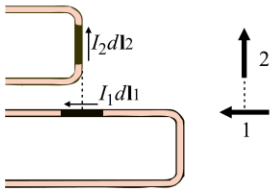


Figura 11 - Elementos de corrente num circuito.

O fato do campo eletromagnético possuir energia indica que, para a física, o campo tem existência tão real quanto as partículas. A criação de pares elétron-pósitron que ocorre durante colisões de raios γ ou de partículas carregadas, de energias elevadas, com a matéria (fótons de 300 MeV de energia colidindo com uma chapa de chumbo, por exemplo), aponta nesta direção. Além disso, a teoria eletromagnética (eletrodinâmica clássica) permite mostrar que, pelo menos parcialmente, a massa tem origem eletromagnética [20]. Há também evidências experimentais para a massa eletromagnética, como se pode deduzir da comparação das massas do próton e do nêutron e da comparação das massas dos três tipos de mesons. Os mesons π carregados negativamente e positivamente têm uma massa de 139,6 MeV/c^2, mas a massa do meson π neutro ι de 135 MeV/c^2! Esta diferença de massa tem origem eletromagnética.

Resumindo, podemos dizer que, na sua origem, o conceito de campo parecia apenas um conceito útil. Com o desenvolvimento da física, este conceito foi se tornando cada vez mais real. Para a física moderna o campo eletromagnético e tão real quanto a cadeira que sentamos [19, p. 125].

10. Comentários finais

Conforme proposto na Introdução, mostramos que a idéia de campo pode motivar um rico debate sobre a evolução das idéias da física. Para isto apresentamos as primeiras idéias sobre o conceito de campo,

como diferentes da noção de ação a distância, sem deixar de mostrar que a noção de ação a distância foi usada por renomados cientistas ao longo de muito tempo como uma forma mais simples para se descrever fenômenos eletromagnéticos e mecânicos. Tratamos, em seguida, da noção de campo conforme proposta por Faraday, isto é, como um estado de tensão num meio, expresso por linhas de força, a respeito das quais ele tinha uma concepção física e não uma concepção apenas geométrica (como de fato é admitida atualmente nos livros didáticos). Depois falamos do campo como uma função matemática restrita inicialmente aos meios contínuos e salientamos o interessante processo pelo qual passou o conceito de campo ao emancipar-se do substrato material ao qual o mesmo estava inicialmente vinculado. Mostramos também como a hipótese do éter deu suporte inicialmente à noção do campo fora dos meios materiais (da matéria ordinária) e apresentamos o campo eletromagnético na sua plenitude, conforme proposto por Maxwell. Finalmente, vimos como as atenções dos cientistas foram se deslocando, a partir do final do século XIX, da noção de éter para a noção de campo, sem deixar de salientar que a hipótese do éter não perdeu seu brilho, mesmo nos dias de hoje. Em conclusão, discutimos várias questões interessantes frequentemente presentes durante a exposição deste tema em aulas de eletricidade e magnetismo, destinadas a alunos do segundo ano do curso de Licenciatura em Física, dirigindo nossa atenção especialmente para o problema da realidade do campo eletromagnético. Em razão do exposto, defendemos que, em sala de aula, a proposta de abordagem histórico-conceitual do campo físico, junto com seus aspectos matemáticos, é mais apropriada para uma boa formação do aluno que aquela que enfatiza apenas os aspectos matemáticos deste conceito.

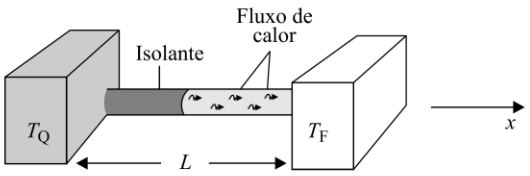
Apêndice: a equação do calor, de Fourier

Para exemplificar o conceito de campo associado aos meios contínuos, consideremos o caso da transmissão de energia sob a forma de calor em um corpo sólido. O estudo deste tema feito pelo francês J.B. Fourier (1768-1830), entre 1807, quando apresentou sua *Memória sobre o Calor,* e 1822, quando publicou sua *Teoria Analítica do Calor*. Neste período Fourier estabeleceu sua famosa equação geral de propagação do calor em corpos sólidos.

Para facilitar a exposição, vamos restringir-nos ao caso da condução do calor em uma dimensão, onde T é uma função apenas de x e de t: $T = T(x,t)$. Consideremos então uma barra com as extremidades ligadas a duas fontes e com apenas as laterais cobertas por um isolante ideal (ver figura).

Caso estacionário

Experimentalmente verifica-se que o calor que flui pela barra, por unidade de tempo, depende da diferença de temperatura, $(T_Q - T_F)$; da área, A, da secção da barra; e da distância, L, entre as fontes.



Admitindo que o calor que sai da fonte quente chega à fonte fria (caso estacionário), temos que a quantidade de calor que é transmitida perpendicularmente às faces dos extremos da barra é

$$Q_{\textit{fluxo de calor, na unidade de tempo}} = \frac{kA(T_Q - T_F)}{L},$$

onde k, a constante de proporcionalidade, é a *condutividade* térmica.

Caso não estacionário

Consideremos agora a situação mais geral do estado não estacionário, onde fluxo de calor, Q (por unidade de tempo), e a temperatura, T, são funções da posição e do tempo. Neste caso, podemos admitir como *localmente* válida a fórmula anterior. Sendo assim

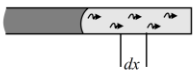
$$Q \to Q(x,t); \quad T_Q - T_F \to -dT; \quad L \to dx.$$

Dessas considerações, podemos reescrever a equação anterior da forma

$$Q(x,t) = -kA\partial T(x,t)/\partial x.$$
(equação fundamental do calor)

Se agora tomarmos um elemento infinitesimal da barra e aplicarmos a equação anterior para calcular o calor que fica retido por unidade de tempo nesse elemento dx da barra, temos

$$Q(x,t) - Q(x+dx,t) = \text{diferença de calor}$$
que entra e sai do elemento dx da barra.



Aplicando a equação anterior, obtém-se então que o calor retido no elemento dx, no intervalo de tempo dt é

$$Q(x,t) - Q(x+dx,t) =$$
$$-kA\frac{\partial T(x,t)}{\partial x} - (-)kA\frac{\partial T(x+dx,t)}{\partial x}$$

$$\begin{aligned} q(x,t) &= kA\Big[\frac{\partial T(x+dx,t)}{\partial x} - \frac{\partial T(x,t)}{\partial x}\Big]dt \\ &= kA\Big[\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}\Big]dxdt. \end{aligned}$$

Este mesmo calor foi gasto para aquecer o elemento da barra, dx, durante o tempo dt. Se ρ for a massa

específica, a massa contida em dx é $\rho A dx = m$. Sendo $dT = (\partial T \,/\, \partial t)\; dt$ e c o calor específico,[9] então

$$q(x,t) = cmdT = c\rho A dx\Big(\frac{\partial T}{\partial t}\Big)dt = kA\Big(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\Big)dxdt,$$

logo

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \Big(\frac{k}{c\rho}\Big)\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad \text{(eq. do calor em uma dimensão)},$$

onde o coeficiente $\mathrm{k/c}\rho = \kappa$ é a *difusibilidade térmica*.

Esta equação relaciona a variação da temperatura no tempo com a variação de temperatura de um local para outro.

Em três dimensões, $T = T(x,\, y,\, z)$, e podemos escrever

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\kappa\Big[\Big(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\Big) + \Big(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\Big) + \Big(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\Big)\Big],$$

que é a equação de propagação do calor, de Fourier.

Na essência, toda a discussão realizada neste Apêndice foi originalmente desenvolvida por Fourier [21]. De acordo com J. Dias de Deus, Fourier não só obteve esta equação como também a resolveu usando o método das *séries de Fourier*.

Agradecimentos

Agradeço aos alunos as discussões realizadas em sala de aula, especialmente a Vinicius Zumaeta Costa pelas suas sugestões.

Referências

[1] W. Gilbert, *De Magnete* (Editora Dover, New York, 1991), p. 5 e p. 121. Republicação da tradução de P Fleury Mottelay, publicada em 1893.

[2] G. Holton, F.J. Rutherford e F.G. Watson, *Projecto Física – Luz e Eetromagnetismo*. (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1985), v. 4..

[3] T. Lucrécio Caro, *Da Natureza* (Editora Globo, Porto Alegre, 1962). p. 199.

[4] M.R. Robilotta, M.J. Bechara e J.L.M. Duarte, *A Física e o Eletromagnetismo* (Apostila de Física 3, Instituto de Física da USP, 1981), p. 11.

[5] A.C. Tort, A.M. Cunha e A.K.T. Assis, Revista Brasileira de Ensino de Física **26**, 273 (2004).

[6] *Os Pensadores Pré-Socráticos - Vida e Obra* (Editora Nova Cultural Ltda., São Paulo, 1996), p. 41.

[7] I. Newton, *The Principia* (University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1999), p. 392.

[8] D. Gardelli, *Concepções de Interação Física: Subsídios para uma Abordagem Histórica do Assunto no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2004.

[9] D. Halliday e R. Resnick, *Fundamentos de Física*, (Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 1991), v. 3, p. 141,

[10] P.A. Tipler, *Física* (Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, 1984), 2^a ed., v. 2^a..

[11] A. Einstein, *A Teoria da Relatividade Especial e Geral* (Contraponto, Rio de Janeiro, 1999), p. 120.

[12] E. Hecht, *Óptica* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991), p. 3.

[13] J.C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*. (Dover Publication, Inc., New York, 1954), v. 2, p. 431 e v. 1, Prefácio à primeira edição, p. viii.

[14] A. Einstein, H.A. Lorentz, H. Weyl and H. Minkowski, *The Principle of Relativity* (Dover Publications, Inc., New York, 1952), p. 38.

[15] R. Martins, Scientific American Brasil – *Especial: Erros da Ciência* (2006).

[16] A. Einstein, *Ether and the Theory of Relativity* Conferência apresentada na Universidade de Leyden, em 5 de maio de 1920. Disponível em `http://www.tu-harburg.de/rzt/rzt/it/Ether.html`. Acesso em: 11/9/2008.

[17] E. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*. (Humanities Press, New York, 1973), p. 241.

[18] F.F. de S. Cruz, *Faraday & Maxwell - Luz sobre os Campos* (Odysseus Editora, São Paulo, 2005), p. 185.

[19] A. Einstein e L. Infeld, *A Evolução da Física* (Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 1988), 4^a ed.

[20] J. Frenkel, *Princípios de Eletrodinâmica Clássica* (Edusp, São Paulo, 1996), p. 117.

[21] J.D. de Deus, M. Pimenta, A. Noronha, T. Pena e P. Brogueira, *Introdução à Física* (McGraw-Hill, Lisboa, 1992), p. 273.

[9] O conceito de *calor específico* (assim denominado pelo sueco Johan Godolin, em 1784) já tinha sido introduzido na física desde a segunda metade do século XVIII como resultado de trabalhos de vários cientistas, especialmente como resultado das experiências do físico sueco G. W. Richmann, da academia imperial da cidade de São Petersburg, em 1747, e das experiências do físico alemão Johann C. Wilcke, realizadas em 1772.

ARTIGO 2

O conceito "d*ualidade onda-partícula"* em sala de aula

José Fernando Moura Rocha

RESUMO

A descoberta do conceito de *dualidade onda-partícula*, no início do século XX, foi de grande importância para o desenvolvimento da física contemporânea. Nosso objetivo neste trabalho é mostrar como este conceito foi usado para estruturar um curso *introdutório* de óptica e elementos de física moderna, através da disciplina Física Básica IV, destinado especificamente a alunos de Licenciatura em Física, ao longo de um semestre letivo, com quatro horas de aulas semanais. Tal curso, oferecido paralelamente ao curso tradicional de Física Geral e Experimental IV (destinado aos alunos da área de ciências exatas), tem sido ministrado dentro de uma abordagem, simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual e é largamente suportado por dezenas de experimentos simples (não só qualitativos), diretamente relacionados com o nosso cotidiano ou possíveis de serem relacionados com o nosso cotidiano e que, em cada aula, servem de motivação para a subsequente e imediata discussão teórica de conceitos da física clássica ou quântica, a elas relacionados, inclusive nos seus aspectos matemáticos mais simples. Estes experimentos e discussões, na sua maioria, desde o início do curso, são orientados para o confronto dos modelos de onda e partícula de luz.

Palavras-chave: óptica, dualidade onda-partícula, história da física, ensino de física.

ABSTRACT

The discovery of the wave-particle duality concept, in the early twentieth century, was an important step in the development of contemporary physics. In this article, our purpose is to show how this concept was used to organize a course in optics and elements of modern physics, through Basic Physics IV subject, designed specifically for students in their second year of physics teacher training course at the undergraduate level. This subject is offered in paralel with the traditional General and Experimental Physics IV, intended for undergraduate students in the science area, and is taught within a historical, phenomenological, mathematical and conceptual approach, simultaneously, in which the execution of dozens of simple experiments (not just qualitative) are included, directly related to our daily or possible to be related to our daily lives. Such experiments, in each class, serve as motivation for the theoretical discussion of classical or quantum physics concepts, including in its simplest mathematical aspects. The experiments and discussions are often directed for the clash of the wave and particle models of light or matter.

Keywords: optics, wave-particle duality, history of physics, teaching physics

1 Introdução

A formulação do conceito de *dualidade onda-partícula***,** isto é, da coexistência da natureza de partícula e de onda num mesmo objeto quântico, no início do século XX, foi um marco no desenvolvimento da física contemporânea. Este conceito tem sido matéria de debate e desentendimento ao longo dos últimos cem anos e ainda hoje experimentos refinados estão sendo feitos para testar sua completa validade.

Nosso propósito neste trabalho é mostrar como essa ideia de dualidade onda-partícula foi usada para estruturar um curso introdutório de óptica e elementos de física moderna para alunos de Licenciatura em Física, ao longo de um semestre letivo, com quatro horas de aulas semanais, oferecido paralelamente ao curso tradicional de Física Geral e Experimental IV, destinado aos alunos da área de ciências exatas. A novidade desta proposta é, além da incorporação efetiva da História da Ciência (História da Física) no ensino de Física, a exposição dos assuntos dentro de um enfoque, simultaneamente, histórico, fenomenológico, matemático e conceitual. As discussões teóricas em sala de aula são conduzidas por dezenas de experimentos demonstrativos (não só qualitativos), com a história das ideias da Física sendo usada como mais um recurso para contextualizar tais discussões, com um mesmo fenômeno sendo abordado a partir de modelos teóricos diferentes (ondulatório ou corpuscular), com a matemática servindo de suporte para tornar mais claros os vários conceitos físicos introduzidos ao longo do curso.

Ao longo do texto, tratamos de formas diferentes as noções de *dualidade* e de *dicotomia*, entendendo-se por dicotomia a ideia de que os modelos de ondas e partícula são mutuamente excludentes e apenas um seria necessário (e não os dois, como no caso do conceito de dualidade) para uma completa explicação dos fenômenos.

Para facilitar nossa apresentação, o texto foi estruturado em duas partes principais. O objetivo da primeira parte (Itens 2 a 9) é dar uma visão geral dos aspectos históricos que, em sua maioria, norteiam as discussões (as expressões matemáticas incluídas no texto têm a função apenas de torná-lo mais completo, não tendo sido deduzidas em sala de aula). O objetivo da segunda parte (Itens 10 a 12) é discutir a prática em sala de aula.

Ainda na primeira parte, inicialmente busca-se a origem remota do problema da natureza da luz na ciência filosófica grega e, em seguida, faz-se uma revisão histórica do confronto científico dos modelos de onda e de partícula (*dicotomia* onda ou partícula) que veio a se estabelecer no século XVII. Uma atenção especial é dada à teoria newtoniana da luz, desenvolvida na segunda metade do século XVII, pois esta mostra uma curiosa tendência para abarcar, simultaneamente, os modelos ondulatório e corpuscular. Na sequência, foi feito um relato histórico da formação do conceito de dualidade onda-partícula para a luz, partindo da descoberta de Planck, de 1900, e da subsequente formalização matemática do problema da dualidade onda-partícula da luz, por Einstein, na primeira década do século XX. Para completar a primeira parte e culminar a exposição, foi feita uma breve revisão do processo em que se deu a extensão, para a matéria, do conceito de dualidade onda-partícula de luz.

Na segunda parte do trabalho, como já foi dito, a ênfase foi dirigida para a *prática* em sala de aula. Foi então mostrado como os conceitos de dicotomia e dualidade foram levados à prática a partir do estudo dos fenômenos de reflexão, refração, difração, interferência e polarização, nesta ordem. Mas ao contrário do que geralmente é feito nos livros didáticos, tais fenômenos são abordados, desde o início, a partir de dois pontos de vista diferentes: o corpuscular e o ondulatório. Esse enfoque visa enriquecer as discussões posteriores sobre a constituição e comportamento da luz e da matéria.

Finalmente, na última parte deste trabalho, foram discutidas as vantagens da abordagem histórico-fenomenológico-matemático-conceitual, aqui utilizada, para alunos de Licenciatura em Física e mesmo de outros cursos.

2 As ideias dos gregos

Entre os filósofos da Antiguidade prevalecia a crença de que a luz tinha uma característica corpuscular [1, p. 556]. Demócrito (460-357 a.C.), por exemplo, baseado no seu conceito de atomicidade, acreditava que o feixe luminoso provinha dos objetos e penetrava nos olhos para formar a imagem. Empédocles (c. 490-435 a.C.) considerava a luz como uma "emanação de partículas separadas". A crença pitagórica, entretanto, presumia que a visão era causada por algo emitido pelo olho, um "fluxo visual". Platão (428-348 a.C.), por sua vez, adotava uma teoria intermediária, na qual era admitida a existência de raios emanados dos olhos e raios emanados dos corpos luminosos e atribuía a sensação de visão ao encontro desses raios. Como se vê, era grande o interesse dos gregos para compreender o mecanismo da visão, ou melhor, para entender o que deveria existir no espaço compreendido entre os nossos olhos e os objetos que vemos, sem, contudo, aprofundarem suas ideias sobre a natureza da luz.

Diferentemente do que pensavam os filósofos acima citados, para Aristóteles (384-322 a.C.), a luz decorria de uma *atividade* em determinado meio. Aristóteles compreendia claramente a natureza vibratória do som e, por comparação, deu uma explicação para a luz. Segundo Aristóteles, da mesma forma que a voz humana põe em movimento o ar ambiente que agita algum elemento do ouvido, o objeto luminoso vibra, pondo em movimento um meio indefinido – a que ele chamou de *diáfano* – o qual, por sua vez, provocaria o movimento de *humores* que fariam parte da composição do olho [2, p. 39].

Estas ideias diferem, portanto, da concepção corpuscular, de alguma coisa emitida pelo olho, e seria natural considerá-las como predecessoras da concepção *ondulatória* da luz.

3 Do problema filosófico ao problema científico – século XVII

O caráter filosófico do conflito entre as ideias aristotélicas de um lado e as ideias pitagórico-platonistas, principalmente, de outro, predominou até o século XVII, quando passou para o plano científico, com os trabalhos de René Descartes (1637), Pierre de Fermat (1661), Isaac Newton (1672), Christiaan Huygens (1678) e outros. Até esta época (século XVII), o progresso científico e tecnológico no ramo da óptica envolvia, essencialmente, os fenômenos de reflexão e refração, descritos satisfatoriamente a partir da ideia de raio luminoso e dentro da concepção da luz como um feixe de partículas.



Figura 1 – René Descartes (1596-1650)

A partir da segunda metade do século XVII, outros fenômenos básicos da óptica foram descobertos, ampliando ainda mais o debate científico (difração, 1665; interferência, 1665; polarização, 1678) sem, contudo, poderem ser explicados, satisfatoriamente, somente a partir dos conceitos usados para abordar os fenômenos de reflexão e refração, a exemplo da concepção tradicional de raio luminoso, que não explica a presença de luz atrás de objetos. Surgem com força, então, os defensores da (primitiva) teoria ondulatória dos fenômenos luminosos da qual Christiaan Huygens foi um de seus expoentes.



Figura 2 – Christiaan Huygens (1629 – 1695)

Os citados trabalhos de Descartes, Fermat, Huygens, Newton e outros, revelaram uma profunda divergência desses cientistas quanto à natureza da luz. De um lado, o trabalho teórico de Descartes, apresentado no "Discurso Segundo" de sua *Dióptrica*, em 1637, no qual, para demonstrar a lei da refração, ele utiliza a teoria corpuscular

da luz e conclui que a velocidade da mesma é maior nos meios mais refringentes, geralmente mais densos.[1] De outro, o trabalho também teórico, de Fermat, de 1661, no qual, para demonstrar a lei da refração, ele se apóia no seu postulado do *tempo mínimo*, e usa uma hipótese que exigia ter a luz uma velocidade menor nos meios mais densos (hipótese) que era frontalmente contrária ao resultado de Descartes. Some-se a isto os trabalhos de Huygens e de Newton. De acordo com a teoria da refração de Huygens, baseada na concepção ondulatória da luz[2], a velocidade da luz deveria ser menor em meios mais densos, em concordância com Fermat. Para Newton, entretanto, dentro da concepção que tinha da luz, o inverso é que seria verdadeiro. Diante das considerações teóricas de Descartes, Fermat, Huygens, Newton e outros, bastante conflitantes, podemos dizer que estava posta, formalmente, a controvérsia entre as duas concepções sobre a natureza da luz. Como naquela época não existiam aparelhos disponíveis capazes de medir, com precisão, a velocidade da luz no ar, na água ou em outro meio qualquer, a controvérsia acima referida não pôde ser esclarecida, até meados do século XIX. Somente em 1850, Foucault mediu a velocidade da luz na água e encontrou que era menor do que no ar.

Apesar das tentativas de Newton e de outros, até o final do século XVIII não havia explicação satisfatória para, por exemplo, o fenômeno de difração descoberto pelo jesuíta italiano Grimaldi, para o fenômeno de interferência descoberto por R. Hooke (ou R. Boyle) e para o fenômeno de polarização descoberto por Huygens.

3.1 Aspectos de corpúsculos e de onda na teoria newtoniana da luz

Já no século XVII, Newton considerava indispensáveis os aspectos de corpúsculo e de onda para explicar fenômenos tão diferentes quanto os de reflexão, refração, formação de cores em películas finas (explicada hoje em termos de interferência de ondas), difração (inflexão, como Hooke o chamava), etc. Esta percepção de Newton é um fato facilmente constatado em seus trabalhos, apesar de muitos, erroneamente, atribuirem-lhe a defesa de uma teoria puramente corpuscular para explicar os fenômenos luminosos.

Newton entrou na discussão sobre a natureza da luz – não de forma declarada – em 29 de fevereiro de 1672 (com 29 anos de idade), quando enviou à *Royal Society* seu primeiro trabalho para publicação, contendo sua *Nova Teoria sobre Luz e Cor*. Fazia então sete anos desde que Robert Hooke tinha publicado sua *Micrografia* (estudada por Newton) no qual descrevia fenômenos como aquele das cores em películas delgadas. Nela, Hooke defendia uma teoria para a luz e cor diferente daquela proposta por Newton no artigo citado e também defendia a ideia da luz como onda, ou seja, a ideia de que "a luz é produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo [o éter] e este movimento se propaga por impulsos ou ondas simples" (pulsos de pequenas amplitudes). Ao tomar conhecimento do artigo de Newton,

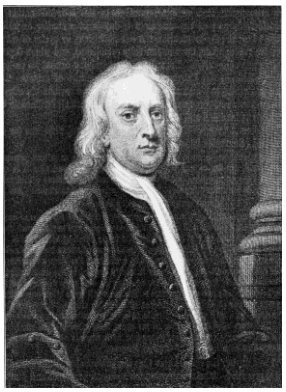


Figura 3 – Isaac Newton (1642-1727)

[1] De acordo com A. Koch, tradutor da *Óptica*, de I. Newton, p. 85 [5, p. 85], apesar de considerar a luz como pressão (movimento ou ação) propagada instantaneamente no seio de "uma matéria muito sutil que enche os poros de todos os corpos" (similar à pressão propagada num líquido), o próprio Descartes adotou o modelo corpuscular para a luz ao apresentar a lei de refração, no "Discurso Segundo" de sua *Dióptrica*, em 1637, embora não aceitasse tal ideia.

[2] Huygens, no seu *Tratado sobre a Luz*, 1690 [6, p. 20], considerava a luz como uma onda, um impulso que se propagava num meio etéreo, um fenômeno análogo ao do som. Essa ideia de onda, de Huygens, não é ainda a de uma perturbação cuja amplitude varia de modo contínuo e periódico, conforme concebemos hoje, e sim uma sucessão de impulsos (de ondas esféricas secundárias, produzidas por cada ponto da frente de onda).

Hooke criticou duramente seu conteúdo, entre outras razões, por Newton supostamente ter defendido a ideia da corporeidade da luz, isto é, ter concebido a luz como uma substância material (o que pode ser considerado uma hipótese mecânica para explicar as propriedades da luz).

As críticas de Hooke foram rebatidas por Newton através de outro artigo, publicado em 18 de novembro de 1672. Diz Newton ([3], [4]):

> *"É verdade que, em minha teoria, defendo a corporeidade da luz; mas eu o faço sem uma certeza absoluta, como a palavra talvez dá a entender; e o faço como não mais que uma consequência muito plausível da teoria, não como uma suposição fundamental …"*

E mais adiante Newton continua:

> *"Eu sabia que as propriedades da luz declaradas por mim eram, de certa forma, capazes de ser explicadas não apenas por essa, mas por muitas outras hipóteses mecânicas. Assim optei por declinar de todas elas e falar da luz em termos gerais, considerando-a abstratamente…"*

E, no parágrafo seguinte, Newton completa:

> *"Mas supondo que eu tenha proposto essa hipótese, (…) ela teria uma afinidade muito maior com a própria hipótese dele do que ele parece consciente; as vibrações do éter são tão úteis e necessárias nesta quanto na dele. Assim admito que os raios de luz sejam corpos pequenos, emitidos em todas as direções pelas substâncias brilhantes…".*

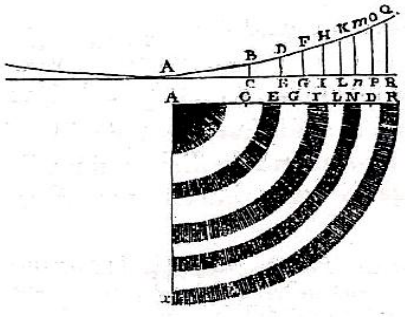


Figura 4 – Os "anéis de Newton". A figura acima foi publicada no artigo "Hypothesis of Light", de 1675. Aqui, *AHQ* representa a superfície de um vidro esfericamente convexo que está apoiado em um vidro plano *AIR*; *AIRQHA* é uma camada de ar entre os vidros. Estão também representados na figura os vários anéis que ele observa quando vê esses vidros por cima, sobre A.

Vê-se, portanto, que, já em 1672, Newton considerava os aspectos de partícula e de onda como necessários numa teoria que se propusesse a explicar os fenômenos luminosos, mesmo que os aspectos de onda viessem associados a um meio sutil e misterioso, o éter. Nessa época, Newton tinha pelo menos duas boas razões para não abraçar um modelo ondulatório, como o de Hooke e optar por um modelo corpuscular, sem negar as propriedades ondulatórias associadas aos fenômenos luminosos. A primeira decorria do fato experimental de fácil observação no nosso cotidiano de que a luz se propaga em linha reta (como se vê no caso de um feixe da luz do Sol atravessando uma sala empoeirada ou quando se examina a formação da sombra dos objetos), e isto não é o que geralmente se observa com as ondas. ([3]) A segunda decorria de uma descoberta que fizera ao estudar a dispersão da luz por um prisma, a partir de 1666. No estudo da dispersão, ele notou que as propriedades da luz – em especial a permanência da cor – se mantinham invariantes após a luz sofrer a primeira refração, isto é, ele notou que cada cor (homogênea) obtida por refração não

---

[3] Nos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Livro II, Seção VIII, Proposição 41, Teorema 32, p. 149 (relativa ao movimento propagado através de fluidos), publicado em 1686, Newton mostra que "uma pressão não se propaga através de um fluido em direções retilíneas exceto quando as partículas do fluido estão sobre uma linha reta". Também no Escólio ao final da Proposição 50, p. 165, Newton escreve: "Pois como a luz é propagada em linhas retas, é certo que ela não pode consistir apenas em ação" (pressão propagada num fluido). (Ver também a nota de *Apresentação* feita pelo tradutor do livro *Óptica*, de Newton, [5, p. 25])

se alterava, quaisquer que fossem as novas reflexões, refrações ou inflexões (difrações) a que os raios de luz fossem submetidos. A essas duas razões podemos acrescentar ainda uma outra, esta de ordem filosófica: Newton era atomista e a ideia de corpúsculo de luz era consistente com a filosofia atomista a qual procurava explicar os fenômenos da natureza a partir das ideias de vácuo, matéria e movimento. Ele tinha aderido ao atomismo de Demócrito, Epicuro e Lucrécio através das obras de Pierre Gassendi (1592-1655), que, juntamente com outras publicações da sua época, foram responsáveis pela retomada do atomismo na Europa, depois de séculos de esquecimento.

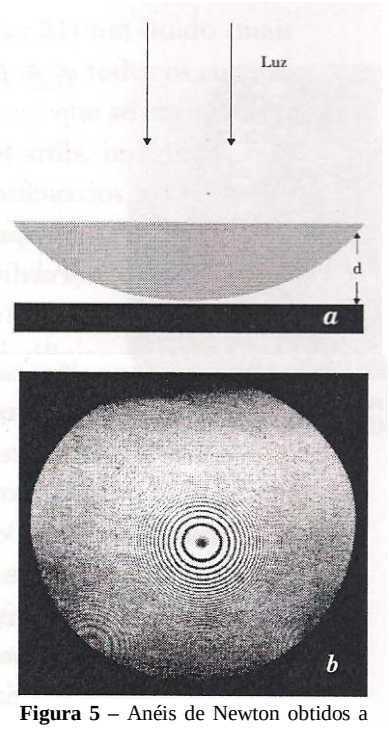


Figura 5 – Anéis de Newton obtidos a partir do arranjo mostrado em *a*.

A originalidade das concepções newtonianas relativas aos fenômenos luminosos pode ser melhor apreciada na Parte 3 do Livro II, da *Óptica* (p. 189), quando Newton se propõe a considerar o problema "das cores permanentes dos corpos e da analogia que há entre elas e as cores de lâminas transparentes delgadas", ou mais especificamente, se propõe a descrever o que ficou conhecido como os "anéis de Newton" (ver Figuras 4 e 5). Tais franjas coloridas já tinham sido observadas por Boyle, em 1663, mas foi Newton quem estabeleceu, com precisão, relações entre seus raios e a espessura da camada onde se formam. Para Nussenzveig, Newton "deu uma explicação *ondulatória* da sua origem, em termos de ondas que associava aos 'acessos de fácil reflexão e fácil transmissão' ([4]). Além disso, usou-os para medidas altamente precisas de comprimentos de onda da luz!". [7, p. 64].

O fenômeno das "cores em lâminas transparentes delgadas" está intimamente relacionado ao difícil problema de explicar porque parte da luz se reflete e parte se refrata ao chegar à interface entre dois meios (reflexão parcial da luz). Uma teoria corpuscular (clássica) tem dificuldades para explicar esse fenômeno, o que, como veremos mais adiante, não acontece com uma teoria ondulatória.[5] As dificuldades de uma teoria corpuscular ficam mais evidentes quando se tenta responder a seguinte questão: Se a luz é constituída de corpúsculos, o que "decidiria" se um certo corpúsculo seria refletido ou refratado? Conforme salienta Nussenveig, Newton percebeu essas dificuldades e para superá-la introduziu sua teoria dos acessos de fácil reflexão e fácil transmissão. Em tal teoria, Newton admite que na incidência do feixe de luz sobre uma superfície transparente uma onda ou vibração é iniciada num certo meio refrator ou refletor (um meio "muito mais sutil que o ar", o éter, que penetrava todos os corpos), a qual, viajando no mesmo sentido que os corpúsculos, pode ultrapassá-los sucessivamente, colocando-os em acessos de fácil reflexão ou fácil transmissão, predispondo-

---

[4] Na definição do que são os "acessos" Newton usou o termo *fits*. Na página 278 da edição em inglês da *Óptica* (Newton, I, *Opticks*, Dover Publications, Inc. New York, 1979**),** Newton escreve**: "***Definition***. *The returns of the disposition of any Ray to be reflected, I will call its Fits of easy Reflexion, and those of its disposition to be transmitted its Fits of easy Transmission, and the space it passes between every return and the next return, the Interval of its Fits"*. Na língua inglesa, o termo *fit* é usado com significados diversos. Na área médica é usado para designar um ataque repentino, mas transitório, de algum tipo de doença; um acesso, um espasmo; Newton parece ter sido o primeiro a utilizá-lo com este significado em Óptica. O termo *fits* pode ser traduzido por "acessos", mas conforme o próprio Newton esclareceu, os *fits* são "estados transitórios" e foi o termo "estado" que André K. T. Assis preferiu ao traduzir a *Óptica* para o português. Assis traduz a *Definição* citada acima nos seguintes termos: [5, p. 210] *"Definição. Chamarei estados de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio para ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno e o retorno seguinte, intervalo de seus estados".*

[5] Se o feixe for intenso a teoria ondulatória clássica da luz não tem dificuldade para explicar o fenômeno das cores em películas delgadas, mas se o feixe for suficientemente fraco tem dificuldade, conforme se descobriu no século XX.

os a refletir ou refratar, numa outra superfície. Essas ondas etéreas associadas ao corpúsculo luminoso newtoniano nos fazem lembrar as propriedades ondulatórias associadas aos corpúsculos de luz introduzidos por Einstein no início do século XX, e também nos fazem lembrar a "onda fictícia associada" ao elétron, proposta por de Broglie no seu trabalho apresentado à Academia de Ciências de Paris, datado de 10 de setembro de 1923!

Na *Óptica*, Newton esclarece o que são os "acessos". Ele diz claramente que os acessos são uma certa constituição ou estado transitório do raio [5, p. 210]:

> *"Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, assume uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno o raio tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela"*

No segundo parágrafo adiante ele diz:

> *Esta reflexão e refração alternada depende de ambas as superfícies de cada lâmina, porque depende de suas distâncias. Pela Observação 21, se molharmos uma ou outra superfície de uma lâmina fina de moscovita [um tipo de mica], as cores produzidas por essa reflexão e refração alternada tornam-se mais fracas; portanto, elas dependem de ambas as superfícies.*
>
> *Assim ela se efetua na segunda superfície, pois caso se efetuasse na primeira, antes de os raios chegarem à segunda ela não dependeria desta última.*
>
> *Além disso ela é influenciada por alguma ação ou tendência propagada da primeira para a segunda, porque do contrário, na segunda, ela não dependeria da primeira. E essa ação ou tendência, em sua propagação, cessa e retorna a intervalos iguais, porque em toda a sua trajetória ela faz com que o raio a uma dada distância da primeira superfície tenda a ser refletido pela segunda, e a uma outra a ser transmitido por ela, isso a intervalos iguais e por uma mudança inumerável. […]*
>
> *Que tipo de ação ou tendência é essa, se consiste num movimento circular ou vibratório do raio, ou do meio, ou de alguma outra coisa, não o indago aqui. Aqueles que se negam a admitir quaisquer novas descobertas, exceto as que conseguem explicar por uma hipótese [reflexo das controvérsias que durante anos opuseram Newton a Hooke e a Huygens], poderão supor que, assim como as pedras ao cair na água conferem a esta um movimento ondulatório, e assim como todos os corpos produzem vibrações no ar por percussão, assim os raios de luz[6], chocando-se com qualquer superfície refratora ou refletora, produzem vibrações no meio ou substância refratora ou refletora [o éter; ver Questão 18 da Óptica, de Newton] e, assim fazendo, agitam as partes sólidas do corpo refrator ou refletor e, agitando-o, fazem com que o corpo se torne morno ou quente; que as vibrações assim produzidas se propagam no meio ou substância refratora da mesma maneira que as vibrações se propagam no ar para causar o som e se movem mais rápido do que os raios, de modo a ultrapassá-los; e que, quando qualquer raio está naquela parte da vibração que contribui para o seu movimento, ele irrompe facilmente através de uma superfície refratora, mas quando está na parte oposta da vibração, que lhe impede o movimento, é facilmente refletido; e, por consequência, que todo raio tende sucessivamente a ser facilmente refletido ou facilmente transmitido por toda vibração que o*

---

[6] Newton concebe os raios de luz do seguinte modo: "Por raios de luz entendo as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas." (Newton, I. *Óptica*, Definição I, p. 39). Note que Newton considera a luz abstratamente, sem afirmar que o corpúsculo de luz é corpóreo, material. Descobrir o que seriam as partes mínimas da luz continua a ser um grande desafio ainda hoje, quando se fala em fótons. Numa carta ao amigo Besso, em 1951, Einstein escreve: "Cinquenta anos de ponderação não me trouxeram mais próximo da resposta à pergunta: o que são os fótons? Hoje em dia qualquer um acredita que a conhece – mas se engana". ([8]; [9, p. 10])

> *ultrapassa. Mas se tal hipótese é verdadeira ou falsa é coisa que não considero aqui. Contento-me com a simples descoberta de que os raios de luz tendem alternadamente, por uma ou outra razão, a ser refletidos ou refratados por um grande número de mudanças regulares."*

Em seguida, na página 212, ele define:

> *"Chamarei estado [fit] de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio para ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados [fits] de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno e o retorno seguinte, intervalo de seus estados".*

Mais adiante, no Livro III, ao considerar que seu projeto ainda não estava concluído, Newton relaciona uma série de *Questões* "na expectativa de que uma pesquisa adicional seja feita por outros" [5, p. 250]. Tais *Questões* revelam muito do seu pensamento sobre os temas ali tratados, apesar de não se constituírem afirmações categóricas sobre os mesmos. Na parte final da *Óptica*, na *Questão 17*, ele volta ao assunto:

> *"Questão 17. Se uma pedra for lançada em água estagnada, as ondas assim excitadas continuam a surgir durante algum tempo no lugar onde a pedra caiu na água e dali se propagam em círculos concêntricos a grandes distâncias sobre a superfície da água. E as vibrações ou tremores excitados no ar continuam durante algum tempo a mover-se a grandes distâncias a partir do lugar de percussão em esferas concêntricas. E, de maneira semelhante, quando um raio de luz incide sobre a superfície de qualquer corpo transparente, e ali é refratado ou refletido, não podem as ondas de vibração, ou tremores, ser excitadas no meio refrator ou refletor no ponto de incidência e continuar a surgir ali e a se propagar por tanto tempo quanto continuam a surgir e a se propagar, quando são excitadas no fundo dos olhos pela pressão ou movimento do dedo ou pela luz que procede da brasa nas experiências mencionadas acima? E essas vibrações não se propagam a grandes distâncias a partir do ponto de incidência? E elas não ultrapassam os raios de luz, e, ao ultrapassá-los sucessivamente, não os colocam nos estados [fits] de fácil reflexão e fácil transmissão acima descritos? Pois se os raios se esforçam por afastar-se da parte mais densa da vibração, ele podem ser alternativamente acelerados e retardados pelas vibrações que os alcançam."*

Mas não é só Nussensveig - citado anteriormente - que vê aspectos ondulatórios e corpusculares na teoria newtoniana para explicar os fenômenos luminosos. Isto é afirmado também por outros estudiosos e cientistas importantes como é o caso de Thomas Young e Edmund Whittaker. Young foi um dos primeiros a mostrar isso claramente. Ele o fez, por exemplo, nas suas *Notas de Aula Sobre Filosofia Natural e Experimental*, de 1802, onde, no Item 378, começa afirmando que "desde o tempo de Empédocles e Aristóteles os filósofos têm-se dividido a respeito da natureza da luz". ([4]; [10, p. 114]) De acordo com Young, enquanto, de um lado, Empédocles e outros defendiam um sistema em que considerava a luz como uma emanação de partículas separadas, Aristóteles, de outro, considerava a luz um impulso transmitido através das partículas sucessivas de um meio contínuo, o que, no século XVII, foi assumido também, com várias modificações, por Descartes, Hooke e Huygens.

Mais adiante, Young diz textualmente ([4]; [10, p. 115]):

> *"Newton tentou combinar as duas teorias mas, para explicar os fenômenos mais gerais, ele empregou o sistema de Empédocles da emanação de corpúsculos separados"*

Em outras oportunidades Young já tinha tratado desse mesmo problema da natureza da luz, comparando a teoria newtoniana para a luz com a teoria (ondulatória) que ele próprio estava desenvolvendo. Ele fez isso, por exemplo, nas *Bakerian Lecture*, de 1801, ([4]; [11]) onde cita explicitamente vários pontos de coincidência entre a sua teoria e algumas passagens selecionadas da obra de Newton, em que este admite, por exemplo, a ideia do éter e de suas ondulações. A ideia do éter era indispensável para Young e nada melhor que se apoiar em Newton para justificar a sua posição. Na época, era impensável (e ainda hoje é difícil imaginar) uma teoria ondulatória sem um meio de propagação das ondulações e a ideia do éter removia essa dificuldade, pelo menos em parte. Sobre os pontos de coincidência, ele cita explicitamente um trecho da resposta a Hooke, de 1672 (referida anteriormente) em que Newton afirma serem as vibrações do éter igualmente úteis nas teorias de ambos. Cita também um trecho de uma publicação de 1675, em que Newton reafirma a ideia do éter. E recorre ainda à *Questão 18*, da *Óptica*, que discute a transmissão do calor através do vácuo pelas vibrações do éter, o mesmo meio por cujas vibrações a luz comunica o calor aos corpos e é colocada em estados (*fits*) de fácil reflexão e fácil transmissão.

A originalidade da teoria newtoniana dos acessos ou estados de fácil reflexão e fácil transmissão não se revela somente pelo que foi dito até aqui. Nussenzveig chega a afirmar que "Essa teoria é até certo ponto reminiscente [sinal restante de coisas extintas] da atual teoria quântica da luz". Essa ideia é afirmada também por Edmund Whittaker, na página 21 de *A History of Theories of Aether and Electricity* [12, p. 21]:

> *"Newton deu considerável atenção às cores em lâminas delgadas, e determinou a lei empírica do fenômeno com grande precisão. A fim de explicá-la ele supôs que "todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora é colocada em uma certa constituição ou estado transitório, o qual, no progresso do raio, retorna a iguais intervalos, e dispõe o raio, em cada retorno, a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela". O intervalo entre duas disposições consecutivas de fácil transmissão ou 'comprimento do acesso [fit]' varia, como ele achou, com a cor, sendo maior para a luz vermelha e menor para a violeta. Se então um raio de luz homogênea incide sobre uma película delgada, sua sorte quando considerada a reflexão e transmissão nas duas superfícies dependerá da relação entre o comprimento do acesso [fits] e a espessura da película; e sobre essas bases ele construiu sua teoria das cores em películas finas. É evidente que o 'comprimento do acesso [fits]' da teoria de Newton corresponde em alguma medida à quantidade que na teoria ondulatória é chamada comprimento de onda da luz; mas a teoria dos acessos [fits] de fácil transmissão e fácil reflexão embora sirva para explicar com sucesso fenômenos que não eram conhecidos até o tempo de Newton, foi abandonada depois do triunfo da teoria de onda no século dezenove"*

Em nota de rodapé, Whittaker afirma [12, p. 21]:

> *"Foi, de certo, uma antecipação notável da explicação da teoria quântica do século vinte: os 'acessos [fit] de fácil transmissão e fácil reflexão' correspondem às probabilidades de transição da teoria quântica".*

Apesar das afirmações de Nussenzveig, Whittaker e outros, este é um tema sobre o qual não há consenso entre os historiadores da ciência. Sobre esse assunto é interessante saber o que diz André K. T. Assis, tradutor do livro *Óptica* de Newton, publicado em português em 1996. Na nota de *Apresentação* do seu trabalho [5, p. 24], Assis adverte que "não se deve superestimar as analogias entre os corpúsculos de luz de Newton e os fótons ou *quanta* de luz do século XX", nem "as interconexões entre os corpúsculos de luz e as ondas ou vibrações do

éter de Newton". Quanto a isso não há o que discordar. É claro que não devemos superestimar as analogias. Mas não deixa de ser admirável a intuição de Newton de que os fenômenos luminosos não podiam ser explicados apenas concebendo a luz como partícula, sem levar em conta os aspectos ondulatórios intrínsecos a esses fenômenos, nem podiam ser explicados apenas concebendo a luz como onda, sem levar em conta os aspectos corpusculares.

Na citada nota de *Apresentação,* Assis sintetiza a relação estabelecida por Newton entre luz, éter e matéria nos seguintes termos [5, p. 24]:

> "*Newton advoga uma interconexão entre os corpúsculos de luz, o éter e a matéria. O éter e suas ondas ou vibrações seriam os intermediários entre a luz e a matéria. As vibrações do éter seriam mais rápidas que a velocidade da luz e, ao ultrapassá-la, ele colocaria a luz alternadamente em estados [fits] de fácil reflexão e fácil refração (conceito introduzido por Newton para explicar a forma dos anéis de cores). Para Newton a luz ao ser refletida ou refratada excita vibrações no éter e seria através dessas vibrações que a luz transmitiria o calor aos corpos. Não só a refração seria causada por diferentes densidades desse éter, como também a gravitação seria provocada por um princípio semelhante. Apesar de Newton aceitar a existência de um éter e de suas vibrações, e da conexão éter-luz-matéria, a luz seria distinta dessas vibrações do éter."*

Apesar das ponderações de André Assis, ele afirma que o interesse pela *Óptica* de Newton tem se renovado após as reedições de 1931 e 1952, em Londres, motivado principalmente pelo renascimento do modelo corpuscular da luz com os trabalhos de Einstein, Compton e outros e, naturalmente, com o nascimento da teoria quântica de Planck. Hoje consideramos a luz como constituída de partículas, os fótons, e, de acordo com Feynman [13, p. 40]:

> *"Foi uma sorte para nós que Newton se tivesse convencido de que a luz é <corpúsculos> porque sabemos o que uma mente fresca e inteligente passa quando olha para esse fenômeno de reflexão parcial por duas ou mais superfícies e o tenta explicar"*

Mas se a luz é como partícula é oportuno então perguntar: O que é mesmo que oscila quando se considera a luz como sendo constituída por fótons?

Deixemos Eugene Hecht, responder [9, p. 575]:

> *"[...] o que oscila é a amplitude de probabilidade associada ao fóton! Uma quantidade que se propaga como uma onda e que descreve todo o conjunto de efeitos de interferências. Por exemplo, na experiência da dupla fenda de Young, a amplitude de probabilidade dos fótons no seu estado final é igual à soma de duas amplitudes, cada uma delas associada à passagem de fótons através de uma das fendas.*

Em outra passagem de seu livro Óptica, Hecht escreve [9, p. 37]:

> *"[...] a superposição de ondas eletromagnéticas é um eufemismo [ato de substituir palavra por outra mais suave] para um outro conceito, o de interferência entre amplitudes de probabilidades distintas.*

Se o éter e suas ondas ou vibrações soam hoje misteriosos, as amplitudes de probabilidades que se propagam como uma onda, usadas atualmente para descrever o comportamento da luz, não parecem soar diferentes. O que seriam essas amplitudes de probabilidade que se propagam como onda? Seriam apenas abstrações matemáticas? Não teriam realidade física? Note que quando Feynman afirma que a luz é como partícula, (conforme também Newton pensava), ele não tem como deixar de falar (em seus trabalhos em

Eletrodinâmica Quântica) de *amplitudes de probabilidade* (que se propagam como onda) para dar conta das evidências experimentais que escapam à ideia clássica de corpúsculo.

O problema da natureza da luz talvez possa ser sintetizado na seguinte citação de Hecht [9, p. 574]:

> *"Ondas e partículas são conceitos do universo macroscópico que perdem a sua aplicabilidade à medida que abordam os fenômenos do universo submicroscópico"*

Não é de admirar, portanto, que o problema da natureza da luz continue causando tanta discussão.

Após esta breve exposição de alguns aspectos da teoria newtoniana da luz, discutiremos no próximo item o problema da natureza da luz nos séculos XVIII e XIX.

4 O problema da natureza da luz nos séculos XVIII e XIX

Durante todo o século XVIII, prevaleceram as concepções newtonianas sobre a natureza da luz, mesmo que muitas ideias tidas como newtoniana não fossem de fato do próprio Newton e sim daqueles que tentaram desenvolver as questões propostas por Newton ou por outros.

Os modelos corpusculares da luz divulgados ao longo do século XVIII não coincidiam inteiramente com a teoria original. Conceitos como os de estados de fácil reflexão e fácil transmissão foram tratados superficialmente e aqueles relativos à materialidade da luz foram desenvolvidos ou modificados. A teoria de Huygens não chegou a ser uma rival séria para a teoria de Newton e aparentemente só foi estudada em profundidade por Antoine Parent (1666-1716) que tinha a disposição apenas de criticá-la. Em meados do século XVIII, Euler (1707-1783) apresentou sua teoria da luz baseada na propagação de ondas em meios elásticos, porém inspirada mais no Livro II dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* de Newton do que nos trabalhos de Huygens. [4]

O século XIX, entretanto, trouxe novidades. A primeira delas foi a explicação em termos corpusculares, dada pelo cientista francês Étiene Malus, em 1809, do fenômeno da dupla refração e da polarização por reflexão; este último descoberto pelo próprio Malus, em 1808. Apesar desse sucesso momentâneo do modelo corpuscular, o século XIX estava destinado a ser o período do modelo ondulatório, em que pese seu pouco desenvolvimento ao longo do século XVIII. Por volta de 1800, esse modelo ainda não conseguia explicar, por exemplo, o fenômeno das cores em lâminas transparentes delgadas. Essa limitação foi superada apenas nos primeiros anos do século XIX, após a descoberta de T. Young (e, independentemente, de Fresnel), do chamado princípio *de interferência* de ondas, a partir do qual é possível explicar os mais variados padrões de difração e interferência produzidos por obstáculos ou orifícios e ainda explicar a reflexão parcial de um feixe *intenso* de luz. Dissemos feixe intenso, porque, como citamos anteriormente, na hipótese do feixe ser suficientemente fraco as previsões teóricas com base no modelo ondulatório clássico se mostrarão falhas. Experiências com feixes suficientemente fracos (regime quântico) não foram realizados antes do início do século XX e, até essa época, não se compreendia que a Teoria (ondulatória) Eletromagnética da Luz, de Maxwell, desenvolvida na década de 1860, não descrevia o comportamento do campo eletromagnético para feixes suficientemente fracos. Esta limitação só foi superada no século XX, com a chegada da física quântica.

5 O problema da natureza da luz no século XX – A origem dos *quanta* de energia

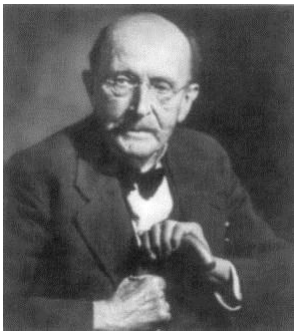


Figura 6 – Max Planck (1858-1947). Prêmio Nobel em 1918.

Ao longo do século XIX, os cientistas passaram a dedicar cada vez mais atenção ao estudo dos fenômenos relacionados à matéria microscópica, procurando entender sua composição e comportamento. A *teoria atômica* proposta por J. Dalton, em 1808, marca o ponto de partida dessa fase. O desenvolvimento da eletrólise, na década de 1830, é outro exemplo importante. Na Física, especificamente, este movimento foi estimulado pelas descobertas experimentais e teóricas nos ramos do eletromagnetismo (eletricidade, magnetismo e óptica), da termodinâmica, da teoria cinética e da mecânica estatística, tendo o desenvolvimento das técnicas espectroscópicas, especialmente a partir de 1858, jogado um papel importante nesse processo. Esses estudos e descobertas ajudaram a criar as condições para a grande revolução conceitual ocorrida na Física, a partir de 1900, com a introdução da hipótese dos *quanta* de energia (pacotes de energia, ou "elementos finitos de energia"), pelo físico alemão Max Planck.

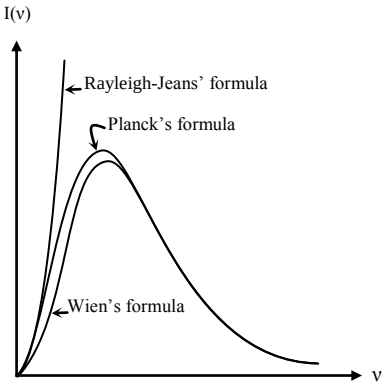


Figura 7 – Esboço da curva do espectro de radiação emitido por um *corpo negro*. A *radiância espectral* (intensidade da radiação por intervalo de comprimento de onda, ou freqüência) é representada aqui por *I(ν)*. Esta grandeza é medida em laboratório após o feixe passar por um prisma não absorvente e sofrer dispersão.

Ao introduzir o conceito de quantum de energia, Planck visava reproduzir matematicamente a forma empírica da curva do espectro de radiação (Figura 7) emitido por um corpo aquecido específico, chamado *corpo negro*[7], o que não se mostrou possível com base apenas nas ideias da física clássica.

Para melhor entendermos a ideia de Planck, devemos recordar que, naquela época, admitia-se classicamente que a absorção e emissão de radiação eletromagnética de frequência *f* por um sistema de cargas (átomo) ocorriam quando as cargas oscilavam com essa frequência. E mais, que a troca de energia entre a radiação do interior de uma cavidade metálica (esta é um modelo de *corpo negro*, Figura 8) e os "osciladores" associados às paredes da mesma ocorria de maneira *contínua*, de modo que *qualquer* quantidade de energia podia ser absorvida ou emitida. Surpreendentemente, porém, previsões teóricas feitas pelos físicos Wilhelm Wien, Lord Rayleigh (John William Strutt) e outros, com base em ideias clássicas, não se mostravam consistentes com resultados experimentais que vinham sendo obtidos naquele período, especialmente alguns resultados muito precisos, de 1899, para a faixa de longos comprimentos de onda (baixas frequências), obtidos pelos físicos alemães Otto Lummer e Ernst Pringshein (na região de λ=12-18μm) e, independentemente, pelos físicos alemães Ferdinand Kurlbaum e Heinrich Rubens, (na região de λ=30-60μm).

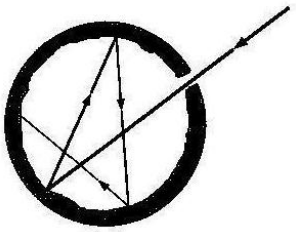


Figura 8 – Um corpo metálico oco com um pequeno orifício é um *modelo* de *corpo negro*. Um forno com um pequeno orifício é um exemplo caseiro.

Na sua c*omunicação* "Sobre um Aperfeiçoamento da Equação de Wien para o Espectro" [15], lida em 19 de outubro de 1900, na Academia Alemã de Física, Planck assim se refere aos

[7] Um corpo negro é definido como aquele que absorve toda energia incidente sobre ele, de qualquer comprimento de onda, sem refletir, difundir ou transmitir, e a reemite sob forma de radiação. Um corpo coberto por uma camada de fuligem é uma boa aproximação de corpo negro, pois "devolve" em forma de radiação térmica, 99% da radiação recebida. O veludo negro é outro exemplo. À temperatura suficientemente alta, um corpo negro pode tornar-se luminoso.

resultados experimentais acima citados, através dos quais ele obteve sua fórmula empírica da radiação, $E=(c_1/\lambda^5)(e^{c_2/\lambda T}-1)$, ([8]):

"Os interessantes resultados das medidas da energia espectral de longo comprimento de onda que foram comunicados pelo Sr. Kurlbaum no encontro de hoje, e que foram obtidos por ele e pelo Sr. Rubens, confirmam a afirmação do Sr. Lummer e do Sr. Pringsheim, baseada em observações, que a lei de distribuição de energia de Wien não é válida de modo tão geral, quanto muitos supunham até agora, mas que esta lei, no máximo, tem a marca de um caso limite, e sua forma, excessivamente simples, deve estar restrita apenas a comprimentos de onda curtos e baixas temperaturas".



Figura 9 – Heinrich Rubens (1865-1922). Em 7 de outubro de 1900, Rubens visitou Planck - um parceiro de trabalho - e informou-lhe os novos resultados experimentais obtidos, junto com Karlbaun. Tais resultados indicavam que para longos comprimentos de onda a radiância espectral era diretamente proporcional a *T*. Naquele mesmo dia Planck descobriu a sua fórmula da radiação e, à noite, informou a Rubens sua descoberta através de um cartão postal.

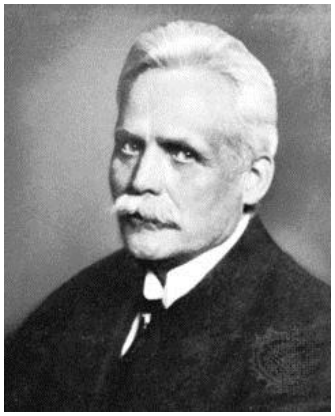


Figura 10 – Wilhelm Wien (1864-1928). Prêmio Nobel de 1911 por suas descobertas referentes às leis que governam a irradiação do calor.

Nos dois meses que se seguiram, Planck se dedicou a deduzir teoricamente a referida fórmula empírica da radiação para finalmente comunicar, em 14 de dezembro de 1900, numa nota curta e de difícil compreensão, com o título *Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia no Espectro Normal*, sua hipótese da descontinuidade da energia dos "osciladores" das paredes da cavidade. Somente três semanas depois, Planck enviou para a revista alemã *Annalen der Physick* um trabalho teórico completo apresentando uma dedução mais aprimorada da lei de distribuição espectral [17]. O fato de Planck ter se apressado em apresentar a comunicação de 14 de dezembro, data considerada de nascimento da física quântica, mostra que ele percebia a importância de sua proposição, mesmo não estando inteiramente convencido da não existência de soluções alternativas àquela da quantização da energia.

Na sua forma original, o postulado de Planck referia-se apenas a quantização das energias totais das partículas oscilantes - que deveria satisfazer a relação $E=nh\nu$, onde ν é a frequência de oscilação, h uma constante e n=0, 1, 2, 3,… - e não incluía a quantização das ondas eletromagnéticas que se encontravam em equilíbrio térmico com tais partículas. Somente depois é que o postulado de Planck foi ampliado para incluir a quantização das próprias ondas eletromagnéticas, o que foi feito por Einstein, em 1905, conforme veremos mais adiante.

---

[8] A "fórmula da radiação com duas constantes" Planck expressou na forma $E=(c_1/\lambda^5)(e^{c2/\lambda T}-1)^{-1}$, onde λ é o comprimento de onda e T a temperatura do corpo (Na equação de Wien não aparece a parcela -1, no denominador). Planck representou as constantes c_1 e c_2 por, respectivamente, C e c, o que evitamos fazer aqui para não confundir com o símbolo usado para representar a velocidade da luz. Em dezembro de 1900, Planck determinou as constantes como sendo $c_1=2\pi hc^2$ e $c_2=(h/k)c$, onde c, neste caso, é a velocidade da luz. A "fórmula da radiação com duas constantes" é a expressão matemática da chamada *radiância espectral* ou *emitância espectral*, isto é, intensidade da radiação por intervalo de comprimento de onda, representada neste trabalho por $I(\lambda)=(2\pi hc^2/\lambda^5)(e^{hc/\lambda kT}-1)^{-1}$ ou, equivalentemente, por $I(\nu)=(2\pi h\nu^3/c^3)(e^{h\nu/kT}-1)^{-1}$. Note que $I(\lambda)d\lambda=I(\nu)d\nu$ e $\lambda\nu=c$, com $|d\nu|/\nu = |d\lambda|/\lambda$, onde ν é a frequência da radiação. A radiância espectral $I(\lambda)$ ou $I(\nu)$ se relaciona com a densidade de energia (por unidade de volume), $\rho(\nu)$, das ondas eletromagnéticas em uma cavidade, através da expressão $\rho(\nu)=(4/c)I(\nu)$. A dedução do fator geométrico $4/c$ pode ser vista na referência [16, p. 310] A radiância espectral é a grandeza medida em laboratório.

Com sua proposta de proporcionalidade entre energia e frequência, e mesmo não estando ainda muito convencido do acerto de sua inovação conceitual, Planck acabara de definir uma nova constante fundamental da natureza, depois denominada (por Einstein) *constante de Planck*, a qual posteriormente se mostrou tão fundamental na Física quanto a constante gravitacional, *G*, a constante de Boltzmann, k_B, e a velocidade da luz, *c* ("*c*" de *celeritas*, velocidade, em latim).

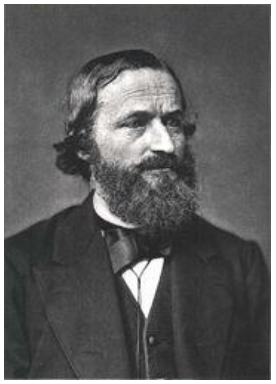


Figura 11 – Gustav Kirchhoff (1824-1887).

No que diz respeito às suas raízes históricas, o estudo da radiação do corpo negro tem duas vertentes diferentes. Por um lado, na vertente teórica, especialmente nos trabalhos de G. Kirchhoff, a partir de 1859, quando o mesmo mostrou as propriedades universais da emissão dos materiais incandescentes e introduziu o problema da radiação do "corpo negro", isto é, o problema de encontrar a função universal $I= I(\lambda,T)$ (obtida, finalmente, em 1900, por Planck), que não dependeria das características particulares de um corpo, tais como composição química, volume e forma. Por outro lado, na vertente experimental (da física fundamental e aplicada), no interesse da indústria alemã de controle da temperatura dos altos fornos com o objetivo de produzir aço de melhor qualidade, para o que era necessário estudar o espectro (cores) das radiações térmicas emitidas pelos altos fornos a diferentes temperaturas, já que os termômetros comuns não podiam ser usados para isso em razão das temperaturas serem muito altas. De acordo com Max Born, o estudo do espectro de radiação era de interesse das indústrias de lâmpadas, a qual estava em franco desenvolvimento desde a invenção da lâmpada elétrica, por volta de 1879.

6 O nascimento do conceito de fóton

A ideia de Planck dos *quanta* (plural de *quantum*) de energia não obteve, entretanto, adesão imediata; e nada de novo aconteceu na física quântica por cinco anos. Somente em 1905, um quase desconhecido jovem físico que trabalhava num escritório de patentes, na Suíça, revelou compreender profundamente as implicações da descoberta de Planck. Nesse ano, a partir de argumentos estatísticos, fazendo uma analogia entre a radiação no regime de Wien (de pequenos comprimentos de onda ou $h\nu >> kT$, onde $\nu=c/\lambda$) e o gás ideal clássico de partículas materiais, Einstein extraiu a hipótese do *quantum* de luz. Não é difícil imaginar porque Einstein escolheu o regime de Wien para fazer sua analogia. Einstein sabia que no regime oposto, isto é, de grandes comprimentos de onda ou $h\nu << kT$, valia a expressão [$\rho(\nu)= (8\pi h\nu^2/c^3)kT$, ([9])], deduzida por Rayleigh com base em ideias clássicas (isto é, aplicando o teorema de equipartição de energia às oscilações eletromagnéticas da radiação na cavidade metálica); e seria então apropriado explorar o lado oposto da curva de distribuição de energia, onde talvez propriedades corpusculares pudessem ser reveladas!



Figura 12 – Einstein, à direita, conversando com Max Planck

Einstein fez a analogia acima citada comparando a variação de entropia em função da variação do volume, em dois sistemas físicos distintos. Em um deles, ele analisou a mudança finita e reversível da entropia, *S*, à temperatura constante *T*, para o caso em que *n* moléculas do gás, no volume V_o, estão

[9] Esta importante lei foi obtida por Rayleigh, nos primeiros anos do século XX, com base em argumentos da física clássica (Ver *Física Quântica* de R. Eisberg e R. Resnick). A expressão matemática da lei de Rayleigh-Jeans também pode ser obtida da lei de Planck no regime em que $h\nu << kT$, usando a aproximação $e^x \approx 1-x$,

confinadas na porção V do volume V_o. No outro sistema, ele analisou a variação da entropia para o caso em que a radiação monocromática de frequência ν e energia E, encerrada num volume V_o, encontra-se confinada na porção V do volume V_o, no regime de validade da lei de Wien, no qual $\rho(\nu)=(4/c)I(\nu)=(8\pi h\nu^3/c^2)(e^{h\nu/kT})^{-1}$. Os resultados obtidos podem ser expressos na forma [14, págs. 80 e 445-6], [16, p. 330]):

$$S(V,T) - S(V_o,T) = (R/N)\ln(V/Vo)^n \quad \text{(para o gás molecular)}$$

e

$$S(\nu,V,E) - S(\nu,V_o,E) = (E/\beta\nu)\ln(V/Vo) = (R/N)\ln(V/Vo)^{NE/R\beta\nu} \quad \text{(para a radiação)}$$

onde, N é a constante de Avogadro**,** h a constante de Planck, k (β=h/k) a constante de Boltzmann e R a constante universal dos gases. No momento, não importa muito como essas expressões foram deduzidas (o que pode ser visto nas referências citadas). Para os nossos propósitos, é suficiente a comparação de tais resultados. Na última expressão, E é a energia total e $R\beta\nu/N = h\nu$ (pois β=h/k, R/N=k), o que permite comparar $E/(R\beta\nu/N)$ com n, o número de moléculas do gás (confinado no volume V) da equação anterior. Da comparação desses dois resultados para a entropia, Einstein então conclui ([18], [14, p. 445-6]):

> *"[...] podemos concluir ... que a radiação monocromática de baixa densidade (dentro dos limites de validade da fórmula de radiação de Wien) comporta-se termodinamicamente, como se ela consistisse em quanta de energia, mutuamente independentes, de magnitude Rβν/N."* [$R\beta\nu/N=h\nu$]

Em outras palavras, a componente de frequência ν da radiação eletromagnética de baixa densidade de um corpo negro, comporta-se como um gás ideal com n partículas, cada uma com energia $h\nu$.

Vemos, portanto, que nesse citado artigo de 1905 [18] Einstein estendeu a ideia dos *quanta* de Planck para o espaço livre, propondo que não só a energia da partícula oscilante fosse quantizada (como fez Planck), mas também que as próprias ondas eletromagnéticas fossem constituídas de *quanta* de energia, ou *quanta* de luz, os fótons (nome cunhado por G. N. Lewis, em 1926). Ao mostrar que a energia da onda luminosa era proporcional à frequência, de imediato ele foi capaz de explicar também o efeito fotoelétrico.

É importante salientar que o conceito de partícula expresso no termo fóton ainda não estava completo em 1905. Os *quanta* de luz, em 1905, eram *quanta de energia* que satisfaziam à relação $E=h\nu$ e nenhuma referência era feita às relações $\boldsymbol{p=hk/2\pi}$ (para o momento) e $E=cp$ (para uma partícula com massa de repouso nula).

A expressão do momento do fóton não aparece explicitamente nos trabalhos de Einstein antes de 1916. Só nesse ano, ao investigar o equilíbrio térmico entre a radiação eletromagnética e um gás molecular, Einstein introduziria explicitamente o momento do fóton**.** [19] Esta demora pode ser compreendida, em parte, se considerarmos a forte reação à hipótese do *quantum* de luz, especialmente nos dez anos que se seguiram à proposta de Einstein. Antes disso, porém, em 1909, a expressão para o momento do fóton foi escrita explicitamente por Johannes Stark, inspirado talvez nas novas descobertas de Einstein, anunciadas nesse mesmo ano.

É possível que Einstein não tenha explicitado a expressão do momento do fóton por não querer aumentar a polêmica em torno da hipótese dos *quanta*, que, em 1909, ainda não tinha recebido confirmação experimental. A equação do efeito fotoelétrico, por exemplo, só foi considerada como válida em 1916, após a conclusão e publicação dos trabalhos de Millikan. Em artigo publicado muito depois de 1916, por ocasião das comemorações do septuagésimo aniversário de Einstein, Millikan escreveu [21, p. 344]:

> *"Passei dez anos da minha vida testando aquela equação de Einstein de 1905 e, contra todas as minhas expectativas, em 1915 fui compelido a afirmar sua completa verificação experimental, embora nada tivesse de razoável, pois parecia violar tudo o que sabíamos sobre a interferência da luz".*

Devemos considerar o ano de 1916 como uma data limite, pois dois anos antes já havia uma certa concordância entre os físicos experimentais de que a equação do efeito fotoelétrico era válida.

Em um artigo publicado ainda em 1909, Stark afirma que, de acordo com a hipótese do quantum de luz, "o momento eletromagnético total emitido por um elétron acelerado é diferente de zero e […] em magnitude absoluta é dado por hv/c". Como exemplo, citou o *Bremsstrahlung* (palavra alemã que significa "freio de radiação") ([14, p. 486], [16, p. 339]) para o qual escreveu:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2' + (hv/c^2)\, c$$

Essa foi a primeira vez em que o fóton com momento $p=h/\lambda=hv/c = (hv/c^2)/c$ entra explicitamente na lei de conservação do momento num processo elementar.

Mas isso não encerra a discussão. Em 1911, Einstein ainda insistia em dar um caráter provisório à hipótese do *quantum* de luz, como de fato o fez no primeiro Congresso de Solvay [14, p. 454}:

> *"Insisto no caráter provisório deste conceito [quanta de luz], que não parece reconciliável com as consequências, verificadas experimentalmente, da teoria ondulatória"*

Nessa época, a teoria ondulatória tinha a força de muitas confirmações experimentais e, naturalmente, declarações como esta levaram muitos a acreditar que, nesse período, Einstein estava a um passo de retratar-se da sua hipótese dos *quanta* de luz. Esta crença é atestada por afirmações desse período feitas por P. Debye, A. Sommerfeld, R. Millikan e outros. Em 1912, Sommerfeld escreveu [14, p. 454]:

> *"Einstein extraiu as maiores consequências da descoberta de Planck [do quantum de ação] e transferiu as propriedades quânticas dos fenômenos de emissão e absorção para a estrutura da energia da luz no espaço, mas creio que não mantém hoje seu ponto de vista inicial [de 1905] em toda sua audácia".*

Em 1916, Millikan afirma [14, p. 454]:

> *Apesar do êxito […] aparentemente da equação de Einstein [para o efeito fotoelétrico], a teoria física de que estava destinada a ser sua expressão simbólica mostrou-se tão insustentável que o próprio Einstein, creio, não a defende mais.*



Figura 13 – Michele Besso com sua noiva Anna, em 1898. Um amigo dileto de Einstein, desde os tempos de estudante em Zurique.

Nota-se então que o conceito de fóton como partícula com energia e momento bem definidos desenvolveu-se gradualmente nos trabalhos de Einstein e isto aconteceu em meio a muita resistência da comunidade científica, reforçada pela demora das evidências experimentais que confirmassem as hipóteses envolvidas.

O problema da realidade dos quanta era ainda mais agudo. Em uma carta a seu amigo Michele Besso, em 1918, Einstein escreve:

"Não duvido mais da *realidade* dos *quanta* de radiação, embora esteja praticamente isolado nesta convicção".

Finalmente, deve ser dito que, apesar da insistência de Einstein em dar um caráter provisório à sua hipótese dos quanta de luz, não há registro que ele em algum momento tenha rejeitado seu ponto de vista inicial, de 1905.

Efetivamente, a resistência da comunidade científica só diminuiu a partir dos experimentos realizados, em 1923, por A. Compton, junto com o também americano A. W. Simon, e em 1925, pelos físicos berlinenses H. Geiger e W. Bothe, nos quais as hipóteses de Einstein foram amplamente confirmadas, conforme veremos a seguir.

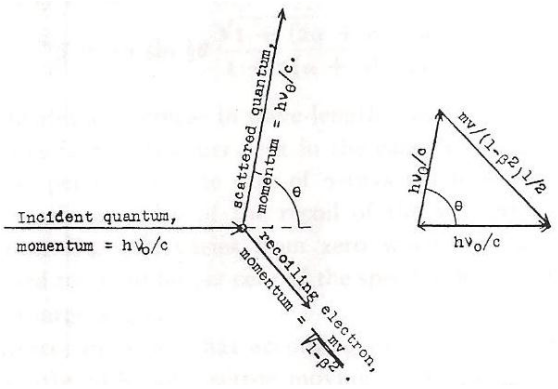


Figura 14 – Figura extraída do artigo de Compton

Em seu artigo de 1923, Compton deduziu a cinemática relativística para o espalhamento de um fóton por um elétron em repouso, aplicando as leis de conservação do momento e da energia e usou a Figura 14 para ilustrar o citado espalhamento. Das expressões da conservação do momento e conservação da energia, ele tirou a seguinte equação:

$$\lambda_\theta - \lambda_o = (h/mc)(1-\cos\theta)$$

onde λ_o e λ_θ são os comprimentos de onda do fóton incidente e espalhado, respectivamente e θ está indicado na Figura 14.

No mesmo artigo, Compton concluiu que "o suporte experimental da teoria indica, muito convincentemente, que um *quantum* de radiação transporta consigo um momento orientado, bem como energia" [22, p. 501], descoberta essa que "provocou sensação entre os físicos desse tempo" e que foi classificada por A. Sommerfeld, em 1924, como, provavelmente, "a mais importante descoberta que poderia ter sido feita no estado atual da física".

Bohr e outros, entretanto, continuaram resistentes ao fóton. Em meados de 1925, experimentos realizados por H. Geiger e W. Bothe mostraram serem infundadas as tentativas de Bohr, Kramers e Slater (em artigo recebido para publicação em janeiro de 1924) de "explicar teoricamente as propriedades energéticas da luz sem lançar mão da hipótese de que a radiação é constituída de *quanta* análogos a corpúsculos". A chamada teoria *BKS* (das iniciais dos autores) dispensava a ideia do *quantum* de luz (fóton), fazendo com que a conservação da energia e a conservação do momento nos fenômenos atômicos tivessem um caráter apenas estatístico. Estas experiências que eram um desdobramento daquelas feitas por Compton, reafirmaram o princípio da causalidade na Física**,** ao confirmarem, através de medidas, que ambas as partículas – o fóton secundário e o elétron atingido - ocorrem ao mesmo tempo e não aleatoriamente como exigido pela teoria *BKS*. Outras experiências, utilizando técnicas diferentes, realizadas por A. Compton e A. W. Simon, também em meados de 1925, estabeleceram a validade das leis de conservação (energia e momento) em processos elementares individuais para o efeito Compton, o que também era negado pela teoria *BKS*: "… [as medidas] dão suporte à visão de que a energia e o momento são conservados durante a interação entre a radiação e os elétrons individuais". Todas essas evidências terminaram por remover as últimas resistências sérias ao fóton, inclusive as de Bohr. Em junho de 1925, o caminho estava preparado para a chegada de uma nova mecânica; ela veio através das mãos de W. Heisenberg e E. Schrödinger.

Apesar do apoio experimental à ideia do *quantum* de luz, já em 1927 foi mostrado que a *equação de deslocamento* de Compton [$\Delta\lambda=(h/mc)(1-\cos\theta)$], apresentada anteriormente, podia ser deduzida sem se usar a ideia de fóton. [23, p. 151]. Da mesma forma, desde 1927 já se sabia que o efeito fotoelétrico podia ser explicado sem o uso do conceito de partícula de luz. De acordo com M. Nussenzveig, o físico austríaco Guido Beck mostrou, nesse ano, que a relação de Einstein para o efeito fotoelétrico resulta da quantização da matéria, sendo a quantização da radiação desnecessária para obtê-la. Nas palavras de Nussenzveig [24]:

> *"Numa carta para Einstein em 1927, Besso menciona um manuscrito que Beck lhe enviara, sobre "o efeito fotoelétrico (à la Schrödinger)". Nesse trabalho Beck demonstra que várias características do efeito fotoelétrico, inclusive a relação de Einstein, não constituem, ao contrário do que livros-texto afirmam até hoje, evidência para a existência de fótons, deduzindo-as a partir do que chamamos atualmente a teoria semiclássica da radiação. Este resultado, obtido independentemente por Wentzel, foi redescoberto muitos anos mais tarde, no contexto de discussões sobre os fundamentos da óptica quântica".*

Em 1968, W. E. Lamb e M. O. Scully [25] explicaram o efeito fotoelétrico, aplicando as leis da física quântica ao átomo emissor, usando a noção de onda eletromagnética e não a de fóton (consideravam os fótons, entretanto, indispensáveis para explicar as propriedades da radiação de corpo negro, o espalhamento Compton, o deslocamento Lamb, etc.). Muitos podem ficar surpresos, mas as evidências experimentais definitivas sobre os fótons - que não apenas sustentassem o conceito de fóton, mas que também não pudessem ser explicadas pelo conceito de onda – apareceram somente em 1974, com os trabalhos de J. F. Clauser e, especialmente, em 1986, com os resultados obtidos por P. Grangier, G. Roger e A. Aspect. [26] A inovação trazida pelos experimentos de Aspect e colaboradores está no fato de que eles conseguiram fazer experiências de interferência com apenas um fóton de cada vez, utilizando o chamado interferômetro de March-Zehnder.

É de interesse saber se já antes de 1926 experimentos foram realizados para investigar as propriedades ondulatórias de fótons individuais em fenômenos de difração e interferência de luz. A resposta é sim e o primeiro deles foi realizado na Inglaterra por G. I. Taylor [27], em resposta a um questionamento de J. J. Thomson, que pode ser expresso do seguinte modo: O *que ocorreria com uma figura de difração se tivéssemos um feixe de luz com intensidade muito baixa a ponto de poder ser considerado como constituído por um número muito pequeno de fótons? Nesse caso, será que fenômenos como difração e interferência seriam observados ou seriam importantes apenas os aspectos corpusculares da luz?*

O que Taylor verificou foi que, interpondo uma agulha entre a fonte de luz e uma placa fotográfica, a figura de difração que se formava na placa (depois de um tempo suficientemente longo) tinha o mesmo padrão que aquela formada por um feixe intenso. Este resultado foi importante, pois mostrou que a difração não era decorrente de interações entre os fótons do feixe.

7 A origem do conceito de *dualidade onda-partícula*

O conceito de dualidade onda-partícula foi exposto formalmente, por Einstein, pela primeira vez, no citado artigo de 1909, intitulado "Sobre o estado presente do problema da radiação". [20] Nesse artigo, a ideia de dualidade surge como decorrência dos seus estudos sobre o chamado *fenômeno das flutuações*.[10]

[10] Segundo Einstein, na teoria corrente da época, "as flutuações eram devidas somente a que os infinitamente muitos raios cruzando o espaço, que constituem a radiação presente em *u* [um espaço delimitado por paredes completamente refletoras],

De acordo com Pais, Einstein voltou-se para as flutuações pela primeira vez em 1904, quando considerou um sistema com energia variável, *E*, em equilíbrio térmico com um segundo sistema, muito grande, à temperatura *T*. Ao abordar esse problema, ele foi capaz de obter a energia de equilíbrio, $\langle E \rangle$, para o primeiro sistema. A partir desse resultado, ainda em 1904, Einstein deduziu, para o mesmo sistema, a fórmula para a flutuação quadrática média da energia, para o que ele usou a definição de variância, que mede o grau de dispersão dos valores de *E* em torno de $\langle E \rangle$ [14, pp. 78 e 478]:

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = \langle (E - \langle E \rangle)^2 \rangle = \langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2$$

Essa expressão pode ser reescrita na forma

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = -\partial \langle E \rangle / \partial \beta = kT^2 \partial \langle E \rangle / \partial T$$

Em 1909, a expressão acima para $\langle \varepsilon^2 \rangle$ foi o ponto de partida para a descoberta da dualidade onda-partícula na radiação eletromagnética. Isto foi feito com um certo refinamento, tomando-se um subvolume, V, de uma cavidade cheia de radiação térmica suposta fechada com parede que impedia a saída de todas as frequências, exceto as contidas no intervalo de frequência entre ν e $\nu + d\nu$, o que permitia aplicar a equação acima, fazendo $\langle E \rangle = \rho V d\nu$, onde ρ é a função densidade de energia, de Planck. O cálculo resultou na seguinte expressão:

$$\langle \varepsilon^2(\nu, T) \rangle = [h\nu\rho + (c^3\rho^2 / 8\pi\nu^2)] V d\nu,$$

A importância desta fórmula está na interpretação que Einstein deu a ela. Na discussão da fórmula para as flutuações de energia, Einstein frisou que "[…] a atual teoria da radiação [teoria ondulatória clássica] é incompatível com este resultado". De fato, se em lugar da lei de Planck, usássemos a lei de Rayleigh-Jeans da teoria clássica, [$\rho(\nu) = (8\pi h\nu^2/c^3)kT$, válida para $h\nu << kT$], o resultado seria apenas o segundo termo da equação acima, de maneira que a fórmula para as flutuações de energia pode ser obtida apenas parcialmente se a teoria utilizada for a teoria de ondas clássicas. Isso permite interpretar o segundo termo como um termo ondulatório. O primeiro termo, por sua vez, foi reconhecido por Einstein como não usual. Ele também seria obtido sozinho se em lugar da lei de Planck, usássemos a lei de Wien [$\rho(\nu) = (8\pi h\nu^3/c^3)/\exp(h\nu/kT)$, válida para $h\nu >> kT$]. Este termo pode ser obtido também da teoria de partículas clássicas e pode ser interpretado como um termo corpuscular.

Einstein interpreta o primeiro termo do seguinte modo [20, p. 73]:

> *"[...] então o primeiro termo, se estivesse presente sozinho, forneceria uma flutuação da energia da radiação tal como se a radiação consistisse de quanta pontuais de energia* $h\nu$ ([11]) *se movendo independentemente uns dos outros"*

A equação $\langle \varepsilon^2(\nu, T) \rangle = [h\nu\rho + (c^3\rho^2 / 8\pi\nu^2)] V d\nu$ ou, equivalentemente, $[\langle \varepsilon^2(\nu, T) \rangle] = [\langle \varepsilon^2(\nu, T) \rangle]_{part} + [\langle \varepsilon^2(\nu, T) \rangle]_{onda}$ sugere, portanto, que os aspectos de partícula e de onda da

interferem uns com os outros, assim fornecendo um valor momentâneo da energia que é ora maior, ora menor do que a soma da energia que os raios individuais forneceriam se eles não interferissem entre si de nenhum modo".

[11] Aqui, Einstein se refere aos *quanta*, como *quanta* pontuais, sem designá-los de partículas. Até essa época, sua maneira de se referir ao aspecto de partícula consistia de chamá-lo de "ponto de vista da teoria newtoniana da emissão" De acordo com Pais, naquele período, era comum a associação entre o conceito de partícula e um alto grau de localização espacial, mas isto não é correto de modo geral.

radiação aparecem lado a lado.[12] Este foi um dos argumentos que levaram Einstein, em 1909, a resumir o seu ponto de vista sobre o estado da teoria da radiação, da seguinte maneira [28]:

> *"[…] é minha opinião que a próxima fase do desenvolvimento da física teórica nos trará uma teoria da luz que possa ser compreendida como uma espécie de fusão da teoria ondulatória com a teoria da emissão da luz"*.

E mais adiante ele afirma:

> "*[…] Ambas as propriedades estruturais (a estrutura ondulatória e a estrutura quântica), […] não devem ser consideradas como mutuamente incompatíveis"*.

Esta teoria chegou em 1925 com o nome de Mecânica Quântica, mas Einstein não aceitou a dualidade onda-partícula inerente a esta teoria como sendo algo fundamental e definitivo. Atualmente, o termo *complementaridade* é usado para expressar o que pode ser entendido como "uma espécie de fusão da teoria ondulatória e da teoria quântica".

8 O conceito de dualidade onda-partícula estendido para a matéria, no século XX

Já vimos, em linhas gerais, como evoluiu o problema da natureza da luz, no início do século XX. É importante, porém, voltarmos ao assunto em razão do papel desempenhado pelo conceito de dualidade onda-partícula da luz, no desenvolvimento do conceito de dualidade onda-partícula de matéria.

No que diz respeito ao estudo da natureza da luz, os resultados experimentais e teóricos, nas duas primeiras décadas do século XX, deixaram muitos físicos convictos da necessidade de formulação de uma nova teoria fundamental para explicar consistentemente as descobertas daquele período. O início dessa nova fase data de 1923. Nesse ano, dois fatos importantes marcaram o desenvolvimento da física quântica. O primeiro, um resultado experimental já discutido anteriormente, conhecido como efeito Compton, que confirmou a ideia do fóton. O segundo, uma ideia teórica revolucionária, formulada e desenvolvida pelo físico francês Louis de Broglie, na qual ele generalizou e estendeu para todas as partículas *materiais*, o conceito de dualidade onda-partícula da luz. No prefácio à reedição da sua tese (reedição de 1963), de Broglie assim se refere à sua descoberta (L. de Broglie, prefácio à reedição da tese de 1924, *Recherches sur la théorie dos quanta*, p. 4, Paris, Masson, 1963; citado por Pais, [14, p. 518]):

> *"Após longa reflexão em isolamento, ocorreu-me repentinamente a ideia, no ano de 1923, de que a descoberta feita por Einstein em 1905 deveria ser generalizada e estendida a todas as partículas materiais, particularmente aos elétrons"*

Essa ideia foi apresentada por L. de Broglie, em setembro de 1923, em duas breves comunicações à Academia Francesa de Ciências. No seu artigo de 10 de setembro ([14, p. 518]) de Broglie afirma que $E=h\nu$ deve ser válida não só para os fótons, mas também para os elétrons, aos quais atribuiu "uma onda fictícia associada". Em outro artigo, ainda em setembro, ele aponta a direção em que "deviam ser procuradas as confirmações experimentais das nossas ideias". De acordo com de Broglie, uma corrente (feixe) de elétrons que atravesse uma abertura cujas dimensões sejam pequenas comparadas com o comprimento de onda das

[12] Em 1925, Einstein mostrou que deveria existir também uma dualidade onda-partícula para a matéria, após obter uma fórmula para as flutuações do "gás quântico molecular", intimamente ligada à fórmula para as flutuações de energia, mas, para o caso do gás, com os dois termos desempenhando papéis invertidos, conforme veremos adiante.

ondas de elétrons "deve apresentar fenômeno de difração". Em outras palavras, L. de Broglie considerou que, assim como a um feixe de luz de frequência *f* pode ser associado um fóton de *energia E* e frequência *f=E/h*, a um feixe de partículas de massa *m* e velocidade *v* pode ser associada uma partícula de energia *E* e frequência *f=E/h*; generalização que foi feita também para o momento do fóton através da expressão $\lambda=h/p$.

De acordo com L. de Broglie, ao ser entregue, ainda em 1923, uma cópia de seu trabalho para o físico P. Langevin, para que o mesmo decidisse se aceitaria o texto escrito como *these*, este, provavelmente perplexo pela novidade das suas ideias, pediu-lhe que lhe fornecesse uma segunda cópia datilografada para enviá-la a Einstein. Somente após Einstein declarar que as ideias defendidas no texto lhe pareciam muito interessantes é que Langevin decidiu aceitar seu trabalho. Numa carta a Lorentz, em dezembro de 1924, Einstein assim se refere à tese de de Broglie [14, p. 518]:

> *"Um irmão mais novo de […] de Broglie fez uma tentativa muito interessante para interpretar as regras quânticas de Bohr-Sommerfeld (dissertação, Paris, 1924). Creio que é o primeiro raio tênue de luz sobre o pior dos nossos enigmas em física. Também descobri algo que fortalece sua interpretação".*

Nesta última frase, Einstein está referindo-se certamente ao resultado de seus estudos sobre o "gás quântico molecular", em que ele estabeleceu a necessidade de ondas de matéria a partir da análise das flutuações desse gás, utilizando uma fórmula intimamente ligada à fórmula para flutuações de energia, mas, para o caso do gás, com os dois termos desempenhando papéis invertidos em relação aos aspectos de onda e de partícula. Estes resultados foram depois anunciados num artigo submetido a publicação em 8 de janeiro de 1925 e, junto com os trabalhos de de Broglie, serviu também de referência para Schrödinger criar a mecânica ondulatória. Nesse artigo, Einstein sugeriu que um campo ondulatório do tipo de de Broglie poderia ser associado ao gás.

9 O quadro da pesquisa em física no início de 1925

Qual era então o quadro da pesquisa em física, no início de 1925, logo após de Broglie publicar sua tese? Para responder a esta questão ninguém melhor que Einstein.



Figura 15 – Conferência de Einstein realizada na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, no dia 8 de maio de 1925. Foto disponível em http://www.mast.br/nav_h05_txt511d.htm

Entre 4 e 11 de maio de 1925, depois de uma visita à Argentina (de um mês) e ao Uruguai (de uma semana), Einstein visitou o Brasil. Aqui fez duas conferências. Uma no Clube de Engenharia, sobre a relatividade restrita, e outra na Escola Politécnica do Rio de Janeiro (Figura 15), sobre a teoria da Relatividade Geral. No dia 7 de maio, apresentou uma *comunicação* à Academia Brasileira de Ciências, sob o título "Observações sobre a situação atual da teoria da luz", na qual falou do estágio em que se encontravam as pesquisas físicas na Europa, naquele momento, fazendo uma comparação direta, embora genérica, entre a ideia de fóton e a proposta da já citada teoria *BKS*. A ata da academia registra que "O professor Einstein, agradecendo as homenagens que lhe são prestadas, ao invés de um discurso, diz ele, mostra o

seu reconhecimento e o seu apreço à Academia fazendo uma rápida comunicação sobre os resultados que, na Alemanha, estão sendo obtidos nos estudos realizados sobre a natureza da luz, comparando a teoria ondulatória e a dos *quanta*." [29]

Na sua comunicação, Einstein escreve [30]

> *"Até pouco tempo atrás, acreditava-se que, com a teoria ondulatória da luz, na sua forma eletromagnética, tivéssemos adquirido um conhecimento definitivo sobre a natureza da radiação. No entanto, sabemos, há cerca de 25 anos, que essa teoria não permite explicar as propriedades térmicas e energéticas da radiação, embora descreva com precisão as propriedades geométricas da luz (refração, difração, interferência, etc.). Uma nova concepção teórica, a teoria quântica da luz, semelhante à teoria da emissão de Newton, surgiu ao lado da teoria ondulatória da luz e adquiriu uma posição bem estabelecida na ciência devido ao seu poder explicativo (explicação da fórmula da radiação de Planck, dos fenômenos fotoquímicos, teoria atômica de Bohr). Entretanto, apesar de todos os esforços dos físicos, não se conseguiu, até hoje, uma síntese lógica da teoria quântica e da teoria ondulatória. É por essa razão, muito discutida a questão da realidade dos quanta de luz de forma corpuscular".*
>
> *Há pouco tempo, Bohr, juntamente com Cramers [N. T.: Einstein escreveu com 'C'] e Slater, tentou explicar teoricamente as propriedades energéticas da luz sem lançar mão da hipótese de que a radiação é constituída de quanta análogos a corpúsculos. Segundo a opinião desses pesquisadores, devemos continuar a imaginar a radiação como constituída de ondas que se propagam em todas as direções. Essas ondas, embora absorvidas pela matéria de modo contínuo, como quer a teoria ondulatória, produzem, de acordo com as leis da estatística, efeitos que são idênticos aos de átomos similares aos quanta. Tudo se passa como se a radiação fosse constituída de quanta, de energia hn e de momento igual a hn/c. Com essa concepção, esses autores abandonaram a validade exata dos teoremas da conservação da energia e da quantidade de movimento, substituindo-os por uma relação que possui apenas um valor estatístico.*

Continuando, Einstein fala também sobre os já citados experimentos dos físicos berlinenses H. Geiger e W. Bothe que estavam sendo realizados na Europa, quando de sua saída, e que não se sabia ainda os resultados, mas que, ainda em 1925, estes mostraram não serem procedentes as tentativas de Bohr, Kramers e Slater, de "explicar teoricamente as propriedades energéticas da luz sem lançar mão da hipótese de que a radiação é constituída de quanta análogos a corpúsculos".

A Comunicação de Einstein continua por mais parágrafos. Mas o que queremos acrescentar no momento é o fato de que ela ocorreu apenas alguns meses antes do nascimento da chamada Mecânica Quântica: dois meses antes do primeiro artigo (julho) do físico alemão W. Heisenberg sobre a chamada *mecânica das matrizes*, desenvolvida com base nos estudos da dinâmica do átomo, e oito meses antes do primeiro artigo do físico austríaco E. Schrödinger (recebido para publicação em 27 de janeiro de 1926) sobre a chamada *mecânica ondulatória*, desenvolvida com base nas ideias de Planck-Einstein-de Broglie. A primeira experiência que confirmou a natureza ondulatória da matéria foi realizada por C. Davisson e L. Germer, em 1927.

10 A dualidade onda-partícula em sala de aula: apresentação do problema da natureza da luz

Nesta segunda parte, como já foi anunciado, procura-se desde o início evidenciar o problema da natureza ou constituição da luz, dentro de uma abordagem, simultaneamente, histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, mas sem ênfase no cálculo diferencial e integral. O relato que se segue diz respeito principalmente ao que foi ministrado nesta disciplina nos últimos três semestres em que foi oferecida.

Começa-se por se realizar dois sugestivos experimentos com luz, os quais, eventualmente, exigem explicações aparentemente contraditórias – Figura 16. De um lado, o experimento da *câmara escura* de orifício, em que a imagem de uma vela aparece invertida e, de outro, um experimento de difração, em que um padrão de interferência é formado num anteparo após um feixe de luz laser incidir num orifício circular ou numa fenda estreita retangular.

Ao explicar e comparar as explicações teóricas do que se observa nesses experimentos, geralmente os alunos se defrontam com um aparente paradoxo: se para explicar a imagem invertida da chama de uma vela na câmara escura, os alunos usam o "princípio de propagação retilínea" ([13]), o mesmo não se pode fazer para explicar as franjas claras e escuras que aparecem no anteparo, no caso do experimento com a luz de um laser. Essas sutilezas do comportamento da luz – explicadas classicamente por Augustin Fresnel, nas primeiras décadas do século XIX – servem de motivação para se introduzir o problema da natureza da luz.

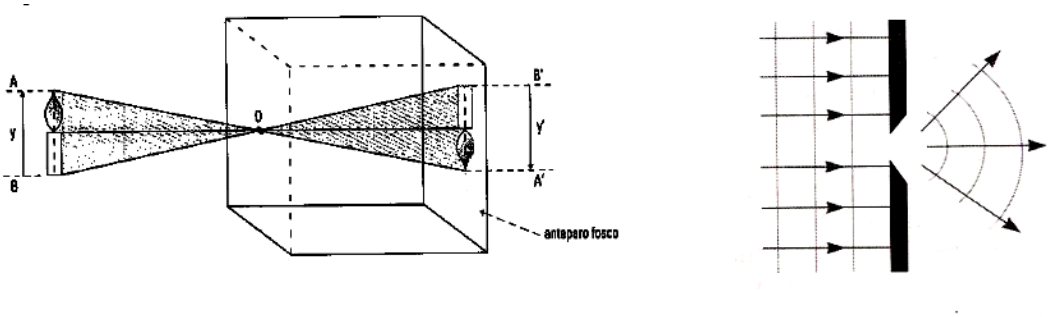


Figura 16 – Representação esquemática do experimento da câmara escura e do experimento de difração por uma fenda.

Após as discussões desses dois experimentos fica evidente que a óptica geométrica (que é, essencialmente, um *modelo* de partícula) é um conjunto de fenômenos ópticos em situações nas quais os efeitos de interferência e de difração são desprezíveis, isto é, em situações em que o aspecto de onda da radiação luminosa não é relevante. Em tais situações, o chamado comprimento de onda (λ) da luz, é muito menor que as dimensões típicas (d) envolvidas na propagação da onda (dimensões de obstáculos e orifícios, etc.).

A discussão precedente é então ampliada, cogitando-se sobre o que ocorreria em cada uma dessas experiências na hipótese da intensidade do feixe de luz ser suficientemente fraca a ponto de chegar ao anteparo uma partícula de luz de cada vez (regime chamado quântico). Apresentado dessa forma, o problema da natureza da luz fica claramente estabelecido e o aprofundamento da discussão transferido para um outro momento do curso.

Estes experimentos e discussões revelam-se significativos, porque, mais adiante, será mostrado que a mecânica clássica pode ser considerada também um caso especial da

[13] É um dos princípios básicos da óptica geométrica. Do ponto de vista ondulatório, a óptica geométrica é uma aproximação válida para situações em que os comprimentos de onda são muito pequenos em comparação com as dimensões típicas envolvidas (no caso, o diâmetro, a, do orifício e o comprimento de onda, λ), ou seja, é aplicada a um conjunto de fenômenos ópticos em situações nas quais os efeitos de difração e interferência são desprezíveis.

mecânica ondulatória de Schrödinger, isto é, que a mecânica clássica descreve situações em que o chamado comprimento de onda de L. de Broglie, é muito menor que as dimensões típicas envolvidas na propagação da onda de matéria.

Na sequência imediata, aborda-se o problema da natureza da luz de um outro ponto de vista, isto é, de um ponto de vista puramente teórico e com base em ideias da Física moderna. Apresenta-se assim o postulado de Planck, $E=hf$, no seu conteúdo mais simples, mostrando-se que este postulado, se tratado do ponto de vista clássico, contém internamente um "absurdo", desde quando, do lado esquerdo desta equação, E refere-se à energia de uma partícula que, supostamente, é algo de pequena extensão, enquanto, do lado direito da equação, f refere-se à frequência de uma onda que supostamente ocupa uma larga extensão do espaço! O problema naturalmente é o de como superar este conflito. Mostra-se então que o caminho seguido foi o de abandonar, a contragosto, a ideia do *determinismo* clássico, substituindo-o pela ideia de determinismo estatístico, de forma que o conceito de *probabilidade* passa a jogar um papel essencial na Física moderna**,** como elemento unificador das teorias ondulatória e corpuscular.

Com estas considerações iniciais, ficam então fixadas as ideias básicas do curso. Nas aulas que se seguem, conforme já foi citado, são abordados, em detalhes, dentro de uma abordagem histórico-fenomenológica-matemático-conceitual, sempre do ponto de vista do modelo de partícula e de onda, os principais fenômenos da óptica clássica (reflexão, refração, difração, interferência e polarização), sem a compreensão dos quais, inclusive nos seus aspectos matemáticos mais simples, torna-se difícil apreciar as sutilezas do comportamento da luz e da matéria. É oportuno ressaltar que todas as discussões realizadas em sala de aula são sempre precedidas da realização de experimentos demonstrativos (para garantir o aspecto fenomenológico do curso), muitos dos quais acompanhados de medidas de grandezas físicas a serem usadas nas discussões teóricas que as acompanham.

11 Os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização

Na sequência, a reflexão da luz é o primeiro fenômeno a ser estudado. De um conjunto de cerca de dez itens experimentais de interesse, citaremos três para ilustração. Primeiro, o experimento em que duas velas iguais (uma acesa e outra apagada) são fixadas dentro de dois copos de vidro vazios iguais (depois um deles é preenchido com água), e estes são colocados em lados opostos de um espelho semitransparente de forma que, se observada de uma posição adequada, a chama da vela parece encontrar-se imersa na água do outro copo. Segundo, o experimento em que se compara a reflexão de luz visível com a de um feixe de micro-ondas incidindo em uma superfície semelhante à de uma caçarola de alumínio. Terceiro, o experimento em que se estuda as imagens formadas por combinações de espelhos e em que se observa a imagem da mão direita em um dos espelhos. Essa última observação geralmente induz a seguinte pergunta: se o espelho inverte a esquerda e a direita, por que também não inverte em cima e embaixo? Tais experimentos, e outros não relacionados aqui, são acompanhados de discussões teóricas com base na lei da reflexão da luz, deduzida a partir dos modelos corpuscular e ondulatório. Esta lei, como se sabe, já era conhecida por Euclides de Alexandria no século III a.C. e foi completada, no século XI, pelo físico e matemático iraquiano Al-Hazen, ao enfatizar que o raio incidente, o raio refletido e a normal estão no mesmo plano.

É necessário salientar que a dedução teórica da lei da reflexão da luz, a partir do modelo de partícula, não é tão simples quanto pode parecer. Se considerarmos a hipótese de que as partículas de luz são semelhantes a pequenas esferas de matéria, um feixe dessas partículas incidindo numa superfície como a do vidro, não seria refletido unidirecionalmente e se dispersaria em todas as direções. Newton já considerava este tipo de dificuldade e

acreditava que deveria existir alguma propriedade do corpo distribuída uniformemente pela superfície, a qual atuaria sobre o raio sem contato direto, para que houvesse a reflexão regular. Ele afirma [5, p. 201]:

> *"A reflexão de um raio é efetuada não por um ponto único do corpo refletor, mas por algum poder do corpo que está espalhado uniformemente por toda sua superfície e pela qual ele age sobre o raio sem contato imediato. Pois que as partes dos corpos agem sobre a luz a distância será mostrado daqui por diante".*

O modelo mais simples para representar este "poder do corpo" é o de uma força perpendicular à superfície. À medida que a partícula se aproximasse de um outro meio, poderia sofrer reflexão pela ação de uma força repulsiva. Para haver a refração, primeiro a partícula teria de vencer a força repulsiva e, se conseguisse, encontraria uma força atrativa, com a velocidade aumentando no meio mais denso (geralmente mais refringente). Por interesse apenas pedagógico, considera-se então a hipótese da luz como partícula, com cada partícula tendo uma quantidade de movimento $\boldsymbol{p}_i$ e sobre a qual, em algum instante, atua uma força exercida perpendicularmente pela superfície. Neste modelo simples, supõe-se que o raio incidente faz um ângulo θ com a normal, e com base na lei da conservação do momento (da componente paralela à superfície) encontra-se a lei da reflexão da luz. Na dedução da lei da reflexão, a partir do modelo ondulatório, procede-se de forma análoga ao que Huygens fez em seu livro "Tratado sobre a Luz". [6]

No caso do fenômeno de refração a situação é análoga. Dos oito itens experimentais de interesse, citaremos três para ilustração: primeiro o experimento padrão de se fazer incidir um feixe de luz laser sobre o lado reto de um bloco semicilíndrico de acrílico ou vidro colocado sobre uma escala angular para determinar os vários ângulos de incidência e de refração. Segundo, aquele em que se usa um feixe de luz laser para se determinar o índice de refração de uma placa de vidro, a partir da medida do deslocamento lateral desse feixe; e, terceiro, aquele em que se usa um feixe de luz laser para determinar o índice de refração de um prisma a partir da medida do ângulo de *desvio mínimo*. É interessante lembrar que, já no século XVII, Isaac Newton usava a medida do ângulo de *desvio mínimo* para determinar o índice de refração de diferentes materiais.

Após a realização dos citados experimentos, deduz-se a lei da refração com base no modelo teórico corpuscular de Descartes, de 1637 ([5, p. 85, Nota do Tradutor], [31, p. 93]), que prevê velocidade maior para a luz em meios mais densos, resultado que foi motivo de muito debate nos anos que se seguiram, recebendo adesão de cientistas importantes, como Newton, e sofrendo críticas de outros, a exemplo de Pierre de Fermat. Na sequência, deduz-se a lei da refração com base no modelo ondulatório de Huygens, no qual este supõe que a luz viaja com velocidade menor nos meios mais densos. Esta lei é usada para calcular o índice de refração do vidro e do acrílico a partir de algumas medidas feitas na parte experimental.

A discussão dos modelos teóricos para explicar os fenômenos de reflexão e refração cria a oportunidade para se introduzir o princípio de percurso mínimo, de Heron, e o princípio de tempo mínimo, de Fermat. A relação entre o princípio de Fermat e o princípio de *ação mínima*, de Maupertuis, é abordada do ponto de vista histórico, em momento posterior, precedida naturalmente de sua parte experimental específica, em que se compara o movimento de duas esferas metálicas deslocando-se por trajetórias diferentes (ao longo de uma cicloide e ao longo de uma reta, feita em madeira), partindo ao mesmo tempo de pontos de alturas iguais e passando por pontos de alturas menores. Esta experiência permite apresentar o problema da *brasquistócrona* (ou do menor tempo de descida) o qual está na raiz da descoberta do chamado *cálculo das variações*, que, por sua vez, teve um papel importante no desenvolvimento do formalismo matemático da Mecânica e da Física de modo geral.

Verifica-se que Maupertuis foi levado a este princípio (1744) ao analisar as críticas que Fermat fazia a Descartes (desde 1637) sobre a dedução da lei da refração da luz, em que este considerava a velocidade da luz maior nos meios mais densos.

Passa-se então ao estudo do fenômeno da visão e da visão em cores, primeiro do ponto de vista experimental e depois, histórico-conceitual. Dos seis itens experimentais de interesse, citaremos dois para ilustrar. O primeiro, o experimento em que se superpõe um feixe de luz monocromática vermelha e outro verde e se obtém como resultado o amarelo; segundo, aquele em que se mistura pigmentos vermelhos e verdes e, ao contrário do caso anterior, não se observa o amarelo. Estes resultados são discutidos à luz da ideia de combinação de cores primárias no processo aditivo e combinação de cores primárias no processo subtrativo. É claro que é indispensável realizar também o famoso experimento da dispersão de um feixe de luz branca (realizado por Newton com luz natural), em que um feixe de luz produzido por uma lâmpada incandescente sofre dispersão ao atravessar um prisma, sendo depois projetado numa parede. Este experimento pode ser completado, fazendo-se o feixe passar por um segundo prisma posicionado adequadamente. Após a realização dos experimentos, passa-se à discussão histórico-conceitual dos fenômenos apresentados, comparando o ponto de vista da teoria newtoniana com o da teoria de Young. Acrescenta-se a isto as explicações da visão em cores dadas pela teoria tricromática de Young-Helmholtz e da teoria das cores oponentes de Karl Hering (1834-1918).

Após o estudo introdutório da visão em cores, os fenômenos de difração, interferência e polarização são explorados exaustivamente, pois eles nos conduzirão diretamente aos problemas fundamentais da física quântica.

Ao se iniciar o estudo da interferência de luz, o fenômeno das cores em películas finas é o primeiro a ser discutido. Dos cinco experimentos demonstrativos previstos, destacamos dois para ilustração. O primeiro é aquele em que dois feixes de luz laser são projetados numa parede após incidir, respectivamente, em uma lâmina fina de mica e em uma placa de vidro, esta última com 3mm de espessura. O outro é o famoso experimento para mostrar os chamados "anéis de Newton", obtidos facilmente com luz de lâmpada de vapor de mercúrio incidindo sobre duas placas de vidro colocadas superpostas sobre um mesa em sala escura. A discussão de como Newton os descreveu a partir da sua teoria dos "acesso de fácil reflexão e fácil transmissão" (ver Item 3) é feita logo em seguida, enquanto a explicação desse mesmo fenômeno com base na teoria ondulatória de T. Young, introduzida no início do século XIX, é deixada para uma aula posterior.

Em seguida, é estudado o fenômeno de difração, para o qual existe um grande número de itens experimentais possíveis de serem realizados (cerca de quinze). Na maior parte deles, faz-se um feixe de luz laser incidir em obstáculos e orifícios de tamanhos e formas diferentes, colocados a diversas distâncias da fonte e do anteparo, com destaque para aquele em que aparece o "ponto de Poisson" ou "ponto de Arago". Mas não só luz laser é usada. Experimentos são realizados também com luz de lâmpada de tungstênio e com feixe de micro-ondas. Durante as discussões, aproveita-se para apresentar o relato de Francesco M. Grimaldi referente ao que ele denomina "Primeiro Experimento" e "Segundo Experimento" sobre o fenômeno de difração por ele descoberto (Ver Figuras 17 e 18). Neste item, é esclarecido ainda que Newton, após publicar os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, voltou a fazer experimentos sobre o fenômeno de difração, mas foi obrigado a interromper tais trabalhos por razões alheias à sua vontade. Newton considerava a difração (ou *inflexão*, como ele a denominava) um tipo especial de refração.

Após estes estudos preliminares sobre o fenômeno de cores em películas finas e difração, passa-se aos estudos das contribuições de T. Young, datados do início do século XIX, época em que ele realizou seu famoso experimento da dupla fenda. Verifica-se então que o *princípio da interferência* descoberto por T. Young, e redescoberto por A. Fresnel, é um

poderoso instrumento para a explicação dos fenômenos de interferência e difração apresentados anteriormente. Nesta parte são deduzidas as expressões matemáticas para a condição de máximos e de mínimos de interferência, como também a condição de mínimo para a difração de fenda única. As expressões matemáticas obtidas são usadas para a verificação de medidas efetuadas na parte experimental, tanto fazendo uso de luz visível quanto de radiação de micro-ondas. Aqui a discussão é restrita a feixes intensos de radiação, deixando-se a discussão de experiências com feixes fracos (regime quântico) para outra oportunidade.

Quanto ao fenômeno da polarização da luz, da mesma forma que nos casos anteriores, este fenômeno é estudado inicialmente do ponto de vista fenomenológico e depois do ponto de vista teórico (histórico-conceitual). Dos cerca de 15 itens experimentais, é indispensável ser apresentada a experiência demonstrativa na qual a imagem de uma agulha aparece duplicada, quando colocada entre um cristal de calcita e o vidro de um retroprojetor. É importante também mostrar o que ocorre quando um feixe de luz laser incide sobre o cristal de calcita e, em seguida, os feixes emergentes são interceptados por uma placa polarizadora. As diversas experiências com luz, onde são observados os fenômenos de polarização por dupla refração, por absorção, por reflexão e por espalhamento, não terão o mesmo impacto se não se dispuser de pelo menos duas placas polarizadoras (de qualidade).

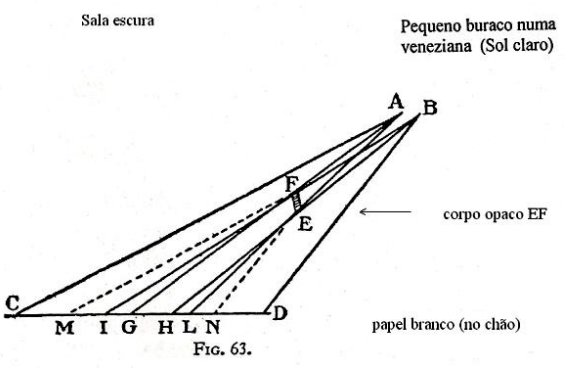


Figura 17 – Primeiro Experimento" de Grimaldi. Ele escreve: "Mas o que deve ser especificamente notado é que a sombra IL aparece consideravelmente maior de fato do que deveria ser caso a luz viajasse em linha reta". [32, p. 294**]**

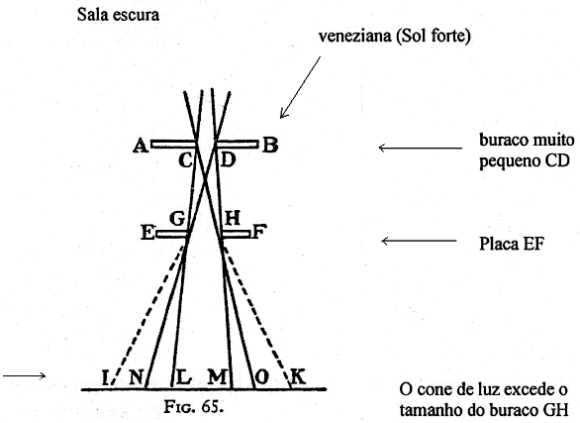


Figura 18 – "Segundo Experimento" de Grimaldi. Aparece sobre a superfície uma base iluminada IK notavelmente maior que aquela que os raios marcariam se fossem transmitidos em linha reta através do mesmo lado. [32, p. 294]**.**

Em razão das características das ondas eletromagnéticas (ondas transversais), o fenômeno de polarização mostra-se com grande potencial para discussões. No processo de discussão do fenômeno de polarização mais uma vez são usados os modelos de partícula e de onda para explicar os fenômenos apresentados. É esclarecido inicialmente que Étienne Malus, em 1809, estimulado pela Academia de Ciências de Paris – que ofereceu um prêmio a quem apresentasse um estudo matemático da dupla refração e o confirmasse experimentalmente –, explicou este fenômeno como consequência de forças repulsivas atuando em *moléculas luminosas* não esféricas, mas arredondadas, que comporiam o raio [2, p. 83]. Em seguida, são apresentadas as contribuições de T. Young e de Augustin Fresnel para a explicação do famoso resultado experimental obtido por Arago e Fresnel, em 1816, em que eles, imaginando que só poderia haver interferência de ondas luminosas se estas fossem provenientes de uma única fonte, tentaram interferir os raios emergentes do cristal de calcita (raios ordinários e extraordinários) e notaram que estes não produziam franjas de interferência, formando, em lugar disto, apenas uma iluminação uniforme. A explicação desse fenômeno foi dada por Young e Fresnel, após Young levantar a hipótese de que a luz deveria ser uma onda do tipo transversal, e não longitudinal, e de Fresnel explicar que os raios ordinários e extraordinários emergentes da calcita não produzem franjas de interferência porque vibram transversalmente e em direções perpendiculares.

Após a apresentação da lei de Malus, que dá a intensidade de um feixe de luz que atravessa um analisador depois de passar por um polarizador, discute-se teoricamente a hipótese de o feixe de radiação eletromagnética ser suficientemente fraco a ponto de um fóton de cada vez chegar ao analisador. Introduz-se então a ideia de que tudo que podemos afirmar neste caso é a probabilidade de que o fóton passe ou não pelo analisador. Faz-se então uma aplicação prática desta ideia, na qual se supõe uma corneta emissora de micro-ondas emitindo um fóton de cada vez (com antenas emissora e receptora orientadas numa direção fixa vertical, designada por θ, com um amperímetro acoplado) e se tenta responder à questão: *Qual seria a probabilidade deste fóton ser detectado pela corneta receptora se esta fosse reorientada para a direção φ? Ou melhor: Qual seria a probabilidade de o fóton preparado no estado de polarização θ ser detectado no estado de polarização φ?* O resultado calculado para uma reorientação de 45º dá uma probabilidade de 50%, e este resultado é então relacionado com os valores de corrente indicados no aparelho, antes e depois da reorientação (no detector chegam muitos fótons de cada vez, no mesmo estado de polarização). Verifica-se então que a relação entre os valores de corrente lidos antes e depois da reorientação da antena confirma a previsão teórica do cálculo probabilístico (nesse experimento, a corrente é proporcional à componente do campo elétrico na direção da antena).

12 Planck, Einstein, L. de Broglie, Schrödinger…

Após as discussões dos citados fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização, passa-se então para uma outra fase do curso em que se pretende introduzir noções de física moderna, etapa em que é indispensável o uso do espectrômetro. Com tal objetivo, inicia-se o estudo das propriedades das redes de difração unidimensional (inclusive, deduzindo a equação para a condição de máximos de intensidade), bidimensional e tridimensional, com atenção voltada para a rede tridimensional que será usada no passo seguinte, ao se discutir a simulação de experiências de raios-x, usando micro-ondas. O uso de radiação de micro-ondas para simular experiências de raios-x será muito importante em momento posterior, quando se estiver apresentando as ondas de matéria propostas por Luis de Broglie (1924) e verificadas por Davisson e Germer, para elétrons (1927), já que a experiência com um feixe de elétrons é análoga à experiência com o feixe de raios-x, simulado por micro-ondas.

As discussões sobre *onda de matéria* são antecedidas pela apresentação de três temas importantes: a Experiência de Michelson-Morley, a Radiação do Corpo Negro e o Efeito Fotoelétrico. Como nos casos anteriores, os assuntos apresentados são sempre apoiados por experimentos demonstrativos, sendo o caso da radiação do corpo negro o mais difícil de ser tratado em um curso introdutório. Isto não impede, entretanto, que a proposta apresentada na referência [33], para o estudo da radiação do corpo negro, possa ser adaptada para determinar experimentalmente (de forma aproximada) a constante de Stephan-Boltzmann (e, consequentemente, avaliar a constante de Planck), a partir de medidas simples de tensão e de corrente, quando essa corrente passa através do filamento de tungstênio de uma lâmpada de farol de automóvel. A medida da temperatura do filamento é um resultado fácil de se obter.

As quatro horas de aulas semanais geralmente permitem que se avance até o tema *ondas de matéria* e, às vezes, um pouco mais. Ao finalizar a discussão do tema *onda de matéria* é então feito um resumo, conforme apresentado no diagrama da Figura 19, que ajuda a entender qualitativamente a pista seguida por Schrödinger para a obtenção de sua famosa equação:

$$[- (h^2/4\pi^2)(1/2m)(\partial^2/\partial x^2 + \ldots) + U(\mathbf{r},t)]\ \Psi(\mathbf{r},t) = i(h/2\pi)\ \partial\Psi(\mathbf{r},t)/\partial t$$

onde *m* é a massa da partícula num campo potencial *U*, *h* é a constante de Planck e $\Psi(\mathbf{r},t)$ é a chamada *função de onda* associada à partícula.

Ao comentar o diagrama da Figura 19, primeiro devemos dizer que antes de Schrödinger obter sua famosa equação já era de seu conhecimento que o cientista inglês W. Hamilton (1805-1865), na década de 1830, tinha descoberto uma analogia entre a óptica geométrica e a mecânica clássica (ver lado direito do retângulo da Figura 19). Sabia também que, com as descobertas de A. Fresnel e outros, no início do século XIX, a óptica geométrica tinha passado a ser considerada como um caso limite da óptica física, válida nas situações em que o comprimento de onda da luz (λ) era muito pequeno, comparado com as dimensões típicas (*d*) envolvidas na propagação das ondas ($\lambda/d << 1$), tal como tamanho de obstáculos ou de orifícios (ver lado superior da Figura 19). Por outro lado, antes de 1925, Louis de Broglie já tinha publicado suas descobertas e considerava que seria possível obter o fenômeno de difração em situações em que o comprimento de onda das ondas de matéria fosse pequeno, comparável às distâncias interatômicas, como no caso de raios-x. Com tudo isso, Schrödinger compreendeu que poderia criar uma nova mecânica de ondas (ondas de de Broglie), inspirando-se na óptica física (ondulatória) e nas relações $p=h/\lambda$, *e* $E=hv$, de de Broglie, de forma que houvesse uma analogia entre a óptica física e a nova mecânica de ondas (ver lado esquerdo da Figura 19). Se as leis dessa nova mecânica fossem descobertas, elas teriam a mecânica clássica como um caso limite (ver lado de baixo da Figura 19).

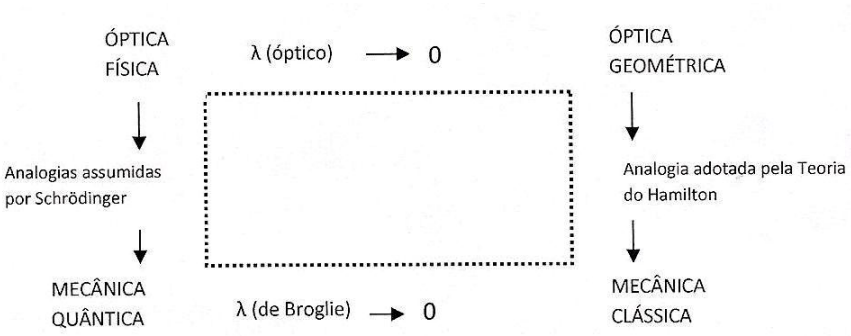


Figura 19 – O esquema mostra a analogia entre óptica geométrica e mecânica clássica adotada por Hamilton e também a analogia entre óptica física e mecânica quântica, adotada por Schrödinger.

Em seu citado artigo de 27 de janeiro de 1926, Schrödinger assim se refere à citada analogia entre mecânica e óptica:

> *"Nossa mecânica clássica é talvez completamente análoga à óptica geométrica e por isso falha e está em desacordo com a realidade ... Portanto é preciso estabelecer uma mecânica ondulatória, e o método mais óbvio é a elaboração de uma teoria ondulatória a partir da analogia hamiltoniana".*

Após a apresentação da equação de Schrödinger, discute-se a interpretação da função de onda, $\Psi(\mathbf{r},t)$, dada por Max Born, em junho de 1926, inspirado em uma interpretação sugerida por Einstein para o caso de fótons. De acordo com Einstein, o quadrado da amplitude de uma *onda luminosa* poderia ser visto como uma densidade de probabilidade de ocorrência de fótons e, por analogia, Max Born propôs que o quadrado (do módulo) da função de onda poderia ser visto como a densidade de probabilidade de ocorrência da partícula material.

13 Conclusão

Em vista do que foi exposto, podemos dizer que a abordagem utilizada, simultaneamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, apresenta algumas vantagens em relação a alguns cursos tradicionais. Primeiro, humaniza a Física enquanto ciência, isto é, ajuda o aluno a ver a Física como uma agradável atividade com muitas facetas

humanas. Segundo, reduz significativamente o alegado problema da fragmentação de conteúdos que ocorre nos cursos tradicionais, ou seja, concentra-se nas ideias que melhor caracterizam a Física enquanto ciência. Terceiro, oferece ao aluno a oportunidade de discutir fenômenos que estão diretamente relacionados ou que podem ser relacionados ao nosso cotidiano e que, naquele momento, estão sendo apresentados em laboratório. Quarto, mostra que a Física tem uma tradição ao mesmo tempo que possui modos de se adaptar e mudar frente a novos problemas ou desafios. E quinto, torna possível ao professor a adaptação do curso aos interesses e capacidade variados de seus alunos. Estas vantagens são depois somados àqueles advindas do curso de Física Geral e Experimental IV (para a área de ciências exatas), onde geralmente a atenção é mais voltada para os aspectos matemático-conceituais.

Concluímos afirmando que esta é uma experiência efetiva de como transpor para a sala de aula a ideia muito difundida nos meios acadêmicos de que História e Filosofia da Ciência podem e devem ser utilizadas para melhorar a aprendizagem dos conteúdos de Física apresentados em sala de aula [34].

Para finalizar, deixemos um ex-aluno (semestre 2011.2) dar sua visão do que representa um curso com este formato:

– *Quanto à parte experimental*, diz o aluno: "Tomar experimentos como ponto de partida desperta muito mais a curiosidade do que qualquer forma "teórica" de começar. Participar da execução de um experimento sob a orientação de um bom professor é algo que me parece extremamente valioso, até mesmo quando as coisas não saíam como planejado. Na verdade dá para aprender mais ainda quando é necessário reajustar os equipamentos". *No que diz respeito aos aspectos históricos tratados no curso*: "A técnica é a parte integrante da cultura humana, e por ser parte torna criminosa qualquer tentativa de reduzir o conhecimento ao aspecto puramente técnico. O andamento das aulas, permeadas por aspectos históricos da evolução da ciência liberta os estudantes do velho esquema de aplicação de técnicas matemáticas o tempo inteiro. Penso que esse caminho serve a um duplo propósito: mostrar as relações entre o conhecimento científico e o contexto no qual está inserido e do qual é também resultado, e dar vida, sentido, cores ao estudo da Física, lembrando-nos de que isto deve ser também uma atividade bastante prazerosa."

– *Quanto à estratégia de problematizar o assunto apresentado*: "Manter em foco os problemas é fundamental para compreender porque este, e não aquele caminho foi tomado em determinado momento histórico. Esta talvez seja a maior virtude do curso."

– *No que se refere aos aspectos matemáticos*: "Mais um pouco (só um pouco mesmo) de matemática nos exercícios e na exposição. Vou justificar: combinar o conhecimento formal com o dinamismo do curso pode jogar uma luz sobre o próprio aspecto formal, que é, sem dúvida, uma fonte de dores de cabeça da maioria dos meus colegas. Para ser mais exato: seria como usar cores para escrever aquelas equações que sempre estiveram em preto-e-branco."

– *Quanto ao aprendizado efetivo dos conceitos*: "Percebi que na realidade eu não compreendia aquilo que julgava saber por ter feito outras disciplinas. Tive tempo, espaço e incentivo para desconstruir e reconstruir idéias, impressões e até mesmo intuições a respeito do conteúdo estudado."

– *Quanto aos aspectos negativos do curso*: "Honestamente, não tenho objeções. Mas para não deixar esta parte em branco, um aspecto negativo é o fato de o curso não ser obrigatório para o bacharelado. E uma pena…"

Referências

[1] J. M. F. Bassalo, *Crônicas da Física*, Universidade Federal do Pará (1990), Tomo 2.

[2] J. Rosmosduc, *De Tales a Einstein*, Editorial Caminho, Lisboa (1983).

[3] I. Newton, *Philosofical Transaction*, 88, 5084 (1672). Disponível em http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/diplomatic/NATP00028. Acesso em 7 de agosto de 2011.

[4] F. W. O. da Silva, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1601 (2009).

[5] I. Newton, *Óptica*, Edusp. São Paulo (1996). Tradução de André Koch Torres Assis.

[6] C. Huygens, *Tratado sobre a Luz*. In. "Cadernos de História e Filosofia da Ciência". Suplemento 4/1986, Unicamp.

[7] M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo (1998), v. 4.

[8] M. Nussenzveig, Curso ministrado na *Escola "Jorge André Swieca"*, Campinas (1994)

[9] E. Hecht, E., *Óptica*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (1991).

[10] T. Young, *A Syllabus of a Course of Lecture on Natural and Experimental Philosophy.* Disponível em http://gallica.bnf.fr/ar:/12148/bpt6k21597c. Acesso em 7 de agosto de 2011.

[11] T. Young, *On the Theory of Light and Colours*. The Bakerian Lecture, 1801.Disponível em http://gallica.bnf.fr/ar:/12148/bpt6k55897c. Acesso em 7 de agosto de 2011.

[12] E. Whittaker, *A History of Theories of Aether and Electricity*, Humanities Press, New York (1973).

[13] R. Feynman, *QED, A Estranha Teoria da Luz e da Matéria*, Gradiva, Lisboa (1985).

[14] A. Pais, *"Sutil é o Senhor" – A Ciência e a Vida de Albert Einstein*, Nova Fronteira., Rio de Janeiro (1995). Tradução de Fernando Parente e Viriato Esteves.

[15] M. Planck, *"Sobre um Aperfeiçoamento da Equação de Wien para o Espectro"*. Publicada em *Verhandlungen der Deutschen Physicalishen Gesellschaft Bd*. 2, 202-204 (1900). Republicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 5, Dezembro, 2000. Tradução de Nelson Studart.

[16] F. Caruso e V. Oguri, *Física Moderna*, Editora Campus, Rio de Janeiro (2006).

[17] M. Planck, *Annalen der Physik*, 4, 553-563 (1901). Republicado pela *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 4, Dezembro, 2000. Tradução de Nelson Studart. O trabalho de Planck (*Zur Theorie dês Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum*, Verh. Deutsch. Phys. Ges, Bd. 2, S. 237 (1900)) comunicado em 14 de dezembro de 1900, pode ser encontrado em H. Kangro (organizador), *Planck's Original Papers in Quantum Physics*, Taylor & Francis, Londres (1976).

[18] A. Einstein, "Sobre um ponto de vista heurístico referente à produção e conversão da luz", *Annalen der Physik*, 17, 132, 1905. Republicado em "*O Ano Miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da física"*. Organização de L John Stachel. Tradução de Alexandre Carlos Tort. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 2001.

[19] A. Einstein, "Sobre a teoria quântica da radiação". *Physikalische Zeitschrift*, 18, 121, 1917. Republicado pela *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 27, n. 1, p. 93-99

(2005). (O artigo de 1916 foi publicado em *Mitteillungen der Physikalischen Gesellschaft zu Zürich*, 16, p. 47, 1916).

[20] A. Einstein, "Sobre o estado presente do problema da radiação", *Physikalische Zeitschrift*, 10, 185-193 (1909). Traduzido na Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, Jan/Mar. 2005. pp. 69-76.

[21] R. A. Millikan, *Rev. Mod. Phys.*, 21, 343, 1949.

[22] A. Compton, *Phys. Rev.*, 21, 483, 1923.

[23] D. Halliday, R. Resnick e K. Krane, *Física IV*, 5ª. LTC Editora, Rio de Janeiro, (2004), v. 4.

[24] H. M. Nussenzveig, *Guido Beck: 1903-1988*. Discurso proferido por ocasião da Sessão Solene em homenagem à memória do Professor Guido Beck, do CBPF, no dia 17 de março de 1989. Disponível em http://biblioteca.cat.cbpf.br/pub/apub/cs/1989/cs00289.pdf. Acesso em 04 de fevereiro de 2011.

[25] W. Lamb e M. O. Scully, "The Photoelectric Effect Without Photons" (*Phys. Rev.*, a ser publicado, 1968). Center for Theoretical Studies, University of Miami, Florida, February, 1968. Disponível em http://www.physics.rutgers.edu/ugrad/313/Lamb%20Scully%20Photoelectric%20effect.pdf. Acesso em 4 de fevereiro de 2011.

[26] P. Grangier, G. Roger. e A. Aspect, "Experimental Evidence for a Photon Anticorrelation Effect on a Beam Splitter: A New Light on Single-Photon Interferences", *Europhysics Letters*, 1, 173-9, 1986.

[27] G. L. Taylor, "Interference fringes with feeble light", Trinity College (Communicated by Professor Sir J. J. Thomson). [Reed, 25 Januery, 1909]:

[28] A. Einstein, "Sobre o desenvolvimento das nossas concepções sobre a natureza e a constituição da radiação". *Deutsche Physicalisch Gesellschaft, Verhandlung*, 7, 482-500 (1909) ou, equivalentemente, diferindo apenas em ortografia, *Physikalische Zeitschrift*, 10, 817-826 (1909). Traduzido na Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, p. 77-85, Jan/Mar. 2005.

[29] A. T. Tolmasquim e I. de C. Moreira, *Um Manuscrito de Einstein no Brasil*. Ciência Hoje, vol. 21, n. 124, setembro/outubro de 1996. Disponível em http://www.mast.br/downloads/Um%20manuscrito%20de%20Einstein%20no%20Brasil.rtf. Acesso em 06.02.2011.

[30] A. Einstein, "Observações sobre a situação atual da teoria da luz". Disponível em http://www.mast.br/downloads/Um%20manuscrito%20de%20Einstein%20no%20Brasil.rtf. Acesso em 06/02/2011.

[31] A. L. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981, p. 93.

[32] W. F. Magie, *A Source Book in Physics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.

[33] M. A. Cavalcante e R. Haag, Rev. Bras. de Ens. de Fís., vol. 27, no. 3, 2005.

[34] M. R. Matthews, *Science Teaching – The role of history and philosophy of science*. London, Routledge, 1994.

ANEXOS

ANEXO 1: Entrevistas

ANEXO 1.A

OLIVAL FREIRE JÚNIOR

(Entrevista não revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Olival Freire Júnior (OFJ)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 27/12/2012

[JF] – Olival, conte-nos um pouco da sua trajetória acadêmica.

[OFJ] – Vixe Zé, aí vai longe. Eu não preciso contar muito, porque parte dessa trajetória é comum com você. Quer dizer, nós éramos aluno de Engenharia que, por alguma razão, fomos atraídos aqui pelo Curso de Física, parte dessa atração certamente teve a ver com o professor Pepe e as boas aulas que ele dava e eu acho que a gente chegou a trabalhar naquele laboratório que ele tinha ali da Fraca. Eu me lembro que era eu, você e um outro Zezinho, se eu não me engano, e tinha um outro rapaz, que eu não me lembro o nome, um mais mulato e eu tenho muito esta imagem das coisas que o Pepe me influenciou, as boas aulas, porque você se lembra que Pepe, às vezes, passava do meio dia dando aula de Física Moderna. Naquele tempo, o programa facilitava, porque a gente tinha duas Físicas Gerais, I e II, que cobriam tudo, até Física Moderna, Partículas, o livro era Jay Orear, depois III e IV, era que vinha eletricidade, magnetismo e ondas. Então o curso era muito bom, o Pepe até hoje, não é a toa que ele não quer pendurar as chuteiras, mas, naquele laboratório também, e hoje eu entendo que ele não tinha saco nem paciência de ficar fazendo aquelas medidas. Mas, rapaz, para mim foi uma descoberta, eu achava o máximo entrar naquele diabo daquele laboratório ir lá pra baixo. Você lembra que era no subsolo, eu achava que aquilo ali era um mundo. Então foi isso o porquê que eu fui atraído pra Física. Bom, me graduei em Física, fiz primeiro Licenciatura, também nós tivemos uma trajetória comum de militância política, isso teve uma implicação que, a certa altura, eu me dei conta que eu teria muita dificuldade de virar funcionário federal, foi exatamente depois de 75, que teve aquela greve aqui e eu perdi a monitoria no final da… Então, na minha cabeça foi assim, vou fazer Licenciatura, porque como professor de Física - nessa época eu já dava aulas particulares e dava aula em colégios particulares; eu lembro que quando teve a greve de 75 eu dava aula em Feira de Santana, num pré-vestibular lá - então a minha percepção foi assim: é com Licenciatura que eu vou ganhar a vida e daí me concentrei e fiz a Licenciatura. Saí tarde, saí em 78, no final de 78. Pra quem entrou em 72 é um tempo absolutamente extraordinário. Metade desse tempo eu gastei exclusivamente fazendo política na universidade. Se você olhar meu histórico escolar, eu fui um bom aluno no primeiro ano, metade do segundo e no último ano e meio; o miolo era uma vergonha. Bom, mas quando eu me formei, o país tinha começado a mudar, em 79 a Anistia, e eu fui chamado pra ensinar aqui, o cara que assinou o meu contrato foi o mesmo reitor que tinha me tirado da monitoria, que foi o Mascarenhas. Então, eu comecei a ensinar aqui no Instituto, dei continuidade então

aos estudos para fazer o Bacharelado porque era importante aqui pro Instituto e eu acabei o Bacharelado no final de 81 e início de 82. Mas, naquela altura, a ideia de uma atividade propriamente acadêmica, como pesquisador, não estava no meu horizonte. Meu horizonte era ser professor e quando eu entrei aqui no Instituto, eu me lembro que Aurino foi bater na porta da casa onde eu morava, que precisava de professor no Instituto de Física. Então o meu horizonte era esse, mas aqui convivendo no Instituto, 81, 82 teve aquela greve, 83, não me lembro bem, mas todos nós que éramos professores colaboradores viramos professor auxiliar ou assistente, não me lembro. Eu então diria que, paulatinamente, fui pensando na ideia de fazer uma carreira acadêmica, me voltar mais pra pesquisa. Cheguei a pensar em fazer em Física. Cheguei a pensar em fazer em Geofísica. Mas senti que meu ânimo já não era muito grande e, de qualquer maneira, a cachaça que me atraia muito na Física era essa coisa da Física Moderna. A Física Moderna tem cálculos, tem conta, mas essa coisa do átomo, da estrutura da matéria, e justamente a Geofísica lida com a Física mais clássica, mais do mundo macroscópico. Então eu fiquei aí, 83, 84, 85, sem saber direito o que fazer na vida, tanto que saí daqui pra ser chefe de gabinete da prefeitura de Camaçari, evidência de quem não sabia direito o que ia fazer na vida. E voltei. E por uma circunstância, absolutamente circunstância, eu precisei botar um plano de estudo no papel. Circunstância, por que? Porque quando eu fui pra Camaçari, eu reduzi a minha carga horária em 20 horas. Pra você ter uma ideia de que eu não sabia o que é que eu queria fazer da vida, eu ia pedir demissão. Quem me impediu de pedir demissão foi Haroldo Lima, me sugeriu isso… aí eu vi que poderia reduzir a carga horária e assumir lá. Bom, quando eu voltei de Camaçari, o salário de 20 horas não dava para eu sobreviver. Então, eu pensei em pedir dedicação exclusiva. Mas para pedir dedicação exclusiva era preciso um plano de estudo, e aí eu escrevi um plano de estudo, que até hoje eu tenho guardado, que eu juntei àquelas inquietações que tinham atravessado toda a minha graduação, o tempo da participação política, o tempo de interesse em Física Moderna. O título do plano de estudo é mais ou menos assim: "O materialismo dialético e as ciências da natureza". O que eu queria estudar era um tema que eu já tinha familiaridade, um pouco, à época, era o debate que existia, que tinha existido na União Soviética sobre a Mecânica Quântica, sobre a Cosmologia e sobre a Relatividade, esses três tópicos, é isso que estava lá, e apresentei e comecei a estudar. Mas, pra mim, era um plano de estudo pra eu ter a dedicação exclusiva, tanto que eu fiz disciplina com Aurino, fiz disciplina com o Felipe, na Educação. Nessa época eu tive uma influência importante que foi Paulo Miranda. Paulo Miranda ficava na minha… Paulo Miranda é aquele paizão que fica dando conselhos pros outros, diferente de Pepe. Pepe só me desencaminhou na vida. Porque se eu tivesse dito pra minha mãe que foi Pepe que me convidou pra largar a Engenharia e fazer Física, a minha mãe odiaria o Pepe. A minha mãe até conhece o irmão, o parente do Pepe, que é de Jequié, porque quando eu larguei Engenharia pra fazer Física foi um escândalo em minha casa. Paulo Miranda, não. Era sempre dando lição de moral, e ele batia no seguinte: você, como comunista, tem que ter um doutorado, porque você vai ter mais autoridade quando tiver um doutorado. Eu não levava aquela história a sério, mas aquela história ficava mexendo na minha cabeça, e então, em algum momento, na altura de 87, eu achei que precisava fazer um mestrado. Certamente o fato de que na carreira tinha progressão, isso deve ter me atraído e comecei a fazer. Mas aí, claro, eu queria fazer, claro, ligado nesse plano de estudo: "O materialismo dialético e as ciências da natureza". A essa altura, eu já tinha compreendido que o problema que mais me interessava era o da Mecânica Quântica. O problema da Relatividade, da Cosmologia, eu já tinha deixado de lado… Só uma curiosidade, para você vê… a gente falou da tragédia que é pra esse Instituto a biblioteca fechada. Você sabe que eu hoje tenho um aluno francês que está trabalhando sobre o negócio dos marxistas franceses e tal, e aí, um dos livros que ele traz, é a primeira publicação feita na França com os textos dos soviéticos criticando a Mecânica Quântica. Ele trouxe todo. Aí eu disse pra ele: "Virgílio, sabe onde eu li esse livro? Aqui, na

biblioteca do Instituto de Física". Tinha aqui, tava em Francês. E você pode me perguntar como é que eu li. Sabe quem traduziu? Você não vai acreditar, uma louca que tinha aqui chamada Valnice Salignac. Não sei onde aquela mulher aprendeu francês. Ela me ajudou a traduzir, e nós fizemos uma pequena tradução mimeografada do texto. Eu não me lembro se foi do Terlestky ou Blokhintsev. Bom, então era Mecânica Quântica e eu comecei a pensar, procurar um mestrado e vi que aqui era difícil. Conversei com o Fernando Bunchaft, mas Fernando Bunchaft me sinalizou que tinha que ser uma dissertação em Física, com complemento mais epistemológico e, àquela altura… Física requer disciplina, chega um momento em que você não**…** Depois eu adquiri disciplina pra outra coisa, mas pra humanidade. Aí eu fui pra São Paulo, conversei como Roberto Martins, na UNICAMP, que ele achou difícil, com aquela temática, eu entrar na UNICAMP e, se entrasse, ele achava que eu teria dificuldade pra sair. E, na USP, eu conversei com a Amélia Hamburguer, que - quem me apresentou foi Cristininha, Cristina Penido, eu sou sempre devedor a Cristina, que já estava fazendo mestrado na USP, com Miriam Krasilchik. Ela pegou o texto que eu escrevi para a disciplina do Aurino, que era as interpretações do Langevin e do Fock e entregou para Amélia, ou o contrário, ela trouxe o texto em que Amélia estava interessada em Langevin é assim, é através de um interesse comum em Paul Langevin que eu fui conversar com Amélia. A conversa com a Amélia foi coisa de paixão a primeira vista, porque a gente levou meia hora conversando e ela tinha todo o interesse em Langevin, todo o interesse na temática que eu tava interessado, sendo que o interesse dela era ainda mais amplo. O interesse dela era em psicologia, questão de criatividade, todo interesse nesses pensadores marxistas. Então eu saí de lá e disse: "Vou fazer aqui professora". Dentro de sete dias tinha a prova de seleção. Eu fiz a prova de seleção, passei, voltei pra Bahia e fiquei aqui inquieto, sem fôlego pra tomar a decisão de sair daqui. Na época, eu estava ainda muito engajado politicamente e achava que o meu espaço na política era aqui, na Bahia. Aí, no carnaval de 88, aconteceram contingências. Eu era ligado ao Partido Comunista do Brasil. Teve uma pessoa que se chama Renato Rabelo, que é o atual presidente, irmão de Jorge Rabelo, que foi nosso colega. O Renato então trazia a proposta que eu fosse pra São Paulo pra reforçar o partido lá. Quando ele me disse isso rapaz, na hora eu disse: "Eu topo". Claro que eu disse pra ele, eu tô com o mestrado aceito e tal - é que na minha cabeça desatou o nó - eu vou e faço as duas coisas. Aí na ida, o apoio de Judite foi absolutamente essencial, Judite tudo o que a gente faz sobre ensino daqui nesse Instituto a gente é devedor a capacidade de Judite. Zé, eu procurei Judite ainda no meio do carnaval, em meados de fevereiro. Judite me disse: "Vá e deixe que o resto eu cuido". Eu viajei no dia 14 de março. No dia 14 de março, portanto, menos de um mês depois, tava publicada no diário oficial a minha autorização de afastamento e a concessão da bolsa, e com um detalhe, que nem eu tava atento, mas a Judite estava atenta, é que ia mudar o reitor. O reitor que estava lá, o dentista ligado ao candomblé, sabe quem é de quem eu tô falando, Tabacof, ia mudar o reitor e não se sabia quem seria o reitor. Eu não era atento, apesar de eu ser muito ligado a política e apesar da gente fazer tudo ligado na questão do reitor, mas eu não estava atento na questão do poder que um reitor tem. Um reitor pode resolver não assinar a autorização de afastamento e, nos últimos dias, rapaz, foi dito e feito, nos últimos dias, antes de eu viajar, quem é que é nomeado, o sexto ou o quinto da lista: Rogério Vargens. A UFBA virou uma conflagração. Eu lembro, eu antes de eu viajar fomos eu e Bira, da APUB, e se eu não me engano, João Augusto, ter uma audiência com o Governador da Bahia, Waldir Pires, pra vê se revertia o processo aqui em Ondina. Reverteu nada, rapaz. O fato é o seguinte. O cidadão Rogério Vargens tomou posse no dia 15. No dia 14 eu tava embarcando no avião, autorizado. Se Judite tivesse sido lenta, eu não sei se teria saído. Então eu fiz o mestrado e aí o mestrado foi uma experiência que transformou a minha vida, minha experiência acadêmica é essa. Foi muito mesclado com a minha atividade política, intensamente, a campanha de Erundina, a campanha do Lula em 89. É dessa época que eu me aproximei mais do Mercadante. Mas foi

uma experiência que mudou, porque eu fiz um mestrado assim… foi bem feito, eu não tinha a autoconfiança, que eu poderia me sair bem naquela esfera de atividade, e foi na reta final do mestrado que eu fui adquirindo essa autoconfiança. Amélia foi muito importante nisso. Eu lembro que no terceiro ano, ela mandou eu representar o grupo dela num encontro no Rio Grande do Sul. Eu achei aquilo um negócio de louco e, no final de um ano, ela me mandou passar um mês na França, ainda não tinha acabado o mestrado, analisando os arquivos do Paul Langevin. Então, quando eu voltei, eu já voltei com a cabeça… Nessa época, eu já tinha articulado para começar o doutorado, mas eu já voltei com uma decisão cristalizando na minha cabeça, que eu tinha que me dedicar de maneira mais intensa ainda à atividade acadêmica. Então foi quando eu tomei uma decisão que foi uma decisão crucial em minha vida, de inverter a equação. Eu não abandonei minhas convicções políticas, mas… um pouco também você em algum momento da sua vida, deve ter também tomado essa decisão, largou aquela cachaça da APLB, em algum momento… Então, pronto, aí eu tomei essa decisão. E de lá pra cá, o que é que eu posso dizer assim… Eu corri rápido, porque eu tinha a percepção de que eu tinha me dedicado tardiamente e eu tinha que correr. Me dediquei com energia. Eu lembro, eu tenho uma irmã mais nova, ela diz assim: "Esse negócio de pesquisa agora pra você é uma nova religião, antes era o partido agora é a pesquisa". O que ela tava dizendo com isso? Assim… porque eu me dedico integralmente com entusiasmo… e paulatinamente, quer dizer, eu trabalhando com a Amélia, eu tinha a vertente História da Física, Epistemologia da Física e Ensino de Física. Então, o meu mestrado era mais epistemologia, mas as três vertentes estavam presentes. Só ao longo do doutorado é que eu fui compreendendo que eu tinha uma vertente, que eu tinha que priorizar e me profissionalizar, que era História da Física, sem deixar o interesse nas outras duas. Então, ao longo do doutorado é que isso ficou absolutamente cristalizado e… Bom, então, em suma, foi isso. Eu concluo o doutorado em 95 e de lá pra cá são 15, 17 anos, eu posso também dizer assim que quando eu voltei do doutorado, eu tive muita dificuldade de me readequar aqui a Bahia, porque não tinha programa de pós-graduação aqui onde eu pudesse atuar, apesar de eu ter feito o doutorado em História, eu só conhecia, na época, da História, o João Reis e a (Maria Hilda) Baqueiro Paraíso, mas não tinha perspectiva de a gente trabalhar com eles. Na Educação, alguma perspectiva. Na época, era uma coisa assim. Se falava muita coisa, mas nada saía do papel. Eu lembro que se falava de criar uma área de Ensino de Física, dentro do Mestrado em Física. Então, era uma época que eu cheguei a considerar seriamente a possibilidade de sair daqui e fazer um concurso. Eu me lembro que, a uma certa altura, eu tive na eminência de mandar os papéis para fazer um concurso em Bauru. Mas o prazo era muito apertado e quando eu fiz a conta do tempo que eu ainda precisava passar na UFBA, porque eu tinha saído para o *pós-doc*, eu vi que não dava pra sair. Mas, nesse tempo, o que é que foi mudando… eu diria assim… hoje mesmo Salvador estando uma cidade acabada, eu diria assim que minhas raízes estão aqui e eu dificilmente sairia daqui pra qualquer outra coisa. É que a minha inserção, a minha relação com o Instituto e com a universidade foi mudando, dentro e fora, então, em particular, você e o Aurino são duas pessoas assim… que a minha relação com vocês tem a fase I que era a fase da política, e tem a fase II, que eu não quero saber em quem você votou pra reitor, não quero saber em quem você votou pra prefeito, se você me disser aqui que votou no ACM Neto eu não vou ficar chocado, entendeu? E Aurino é a mesma coisa, são duas pessoas… com Cristina também foi um pouco assim, quer dizer, são pessoas que eu fui redefinindo o tipo de relação pessoal na qual o interesse profissional passou pra o primeiro plano. Mas você e Aurino foram muito importantes nisso. A outra pessoa que também foi muito importante nisso foi Felipe. Também foi outra pessoa que eu paulatinamente fui discutindo, trocando ideias. Nesse tempo, também, no final do meu doutorado, e aí Aurino também teve um papel muito importante, porque ele era o diretor aqui na época, o Michel Paty, que foi o meu orientador, se dispôs a passar um mês aqui na Bahia. Eu tinha acabado de

fazer doutorado e não tinha a menor ideia de como é que você fazia pra conseguir dinheiro pra trazer alguém aqui e o Aurino me pegou e levou pra conversar com Felipe e disseram vamos trazer algum professor visitante. A UFBA, naquela época, tinha recurso pra trazer, e o Michel veio e fez um ciclo de palestras aqui, na Filosofia, em Feira de Santana, no Instituto de Saúde Coletiva e, se você olhar depois, o programa de pós-graduação que a gente criou aqui, de certa maneira, as raízes, as ligações começaram entre as pessoas na UFBA e na UEFS, essas ligações começaram a ser estabelecidas, naquele momento. Então você pega, André Mateddi era aluno de Felipe, e Felipe veio e trouxe o Michel e se interessou pelo que o Michel fez. É assim que eu conheci André Mateddi. Através do André Mateddi eu conheci o Zé Carlos. Na Filosofia, nós levamos lá, foi Waldomiro, que recebeu o Michel Paty lá. Na Biologia, foi também, é o Charbel. Então, se você olhar o programa. Aqui era o Aurino, então se você olhar o grupo que foi se nucleando depois, eu diria assim, que o Michel, a viagem em 95, foi um catalisador. Depois o Felipe, ainda como reitor, organizou um seminário, um negócio de Instituto de Estudos Avançados, nós organizamos isso, saiu um volumezinho foi feito aqui na UFBA. Depois nós fizemos um semelhante em Feira. Aí, em algum momento, em 98, provavelmente, a gente cristalizou a ideia de que ao invés da gente em um dos programas, a gente deveria criar um programa próprio e aí é toda uma história que eu não vou contar aqui, mas só para lhe dizer então que quando chega em 98, 99, em particular, 99, o projeto estava assim criado e aprovado, ainda não reconhecido pela Capes. Foi uma fase de muita briga para aquele reconhecimento, mas eu diria assim que de 99 pra frente até me apareceram outras oportunidades de concurso, mas aí já não me interessava, porque aí a minha cachaça, a minha raiz, já era aqui, e assim de 2000 até 2012 foi uma dedicação integral aqui à UFBA e ao programa.

[JF] – Continuando, na década de 1990, como você se lembra, muito se falou numa crise da educação científica do mundo ocidental, o que foi bem documentado nos Estados Unidos, Grã-Bretanha e outros países. Você considera que essa crise já foi superada?

[OFJ] – Zé, esse é um dos temas mais delicados pra eu lhe responder. Primeiro, porque eu não conheço os dados mais recentes. Eu sei que os americanos mesmo investiram muito em educação. Então eu não tenho dados recentes. A primeira constatação é essa. Mas, a segunda constatação também é que eu, em 2004, 2005, eu vivi um ano nos Estados Unidos e eu fiz questão de compreender melhor a realidade da escola americana, como eu tinha feito, quando eu tinha morado na França. A escola francesa é de excelente qualidade, o Liceu. Mas eu diria que é um pouco a escola dos nossos sonhos, aqui. A parte pesada da Física, me lembro que o Liceu francês, a parte experimental de Física era com osciloscópio, coisa desse tipo. A escola americana, na época tinha dois filhos de um amigo meu, que estavam na escola, e eu alugava esses meninos, sempre que a gente saía, eu queria saber o que eles tinham feito na escola e fui me dando conta do seguinte. É verdade que os americanos têm uma parte pequena de ciência obrigatória, não só Física, e isso é responsável pelo problema da educação científica nos Estados Unidos, que de alguma maneira, se você me pergunta se ainda há algum sinal de crise, se não da educação, mas da cultura científica, certamente, há! Se você for ver a onda que esses americanos fizeram, quer dizer, onde foi mais forte o medo do fim do mundo, agora, com o negócio dos maias, foi nos Estados Unidos. Mas o que eu quero dizer é assim. A crise da educação em ciências no mundo Ocidental, em particular, não é, necessariamente, a crise da educação em geral, porque eu me dei conta que eles têm escola de manhã e de tarde, que eles têm muita literatura, muita história, claro que história americana, muita geografia, geografia americana, muito esporte, muita arte, muita música, muita discussão. Então, pra mim, foi um certo choque, porque eu passei a olhar para o problema da escola secundaria, olhando que certamente a educação em ciências é um componente essencial, mas não é toda. Você não

pode dizer, porque a educação em ciências é fraca, o conjunto da educação é necessariamente fraco, mas eu volto a dizer que eu não tenho dados atuais para comentar o assunto.

[JF] – Como especialista na área de História e Filosofia da Ciência, de que forma a História e a Filosofia da Ciência podem contribuir para melhorar o ensino de ciências, particularmente o de Física, em nível superior e médio?

[OFJ] – Olha, minha experiência é mais no nível superior. É uma experiência que você… que dou aqui… que você está estudando, a experiência aqui do curso noturno, e a minha experiência, eu posso falar da minha experiência, mais de dez anos ensinando disciplinas aqui, não só Física Básica I, mas ensinava outras, Tópico de Física Moderna, a minha experiência ela reforça tudo aquilo que o pessoal que trabalhou com o projeto Harvard, o Gerald Holton, é que criou o projeto Harvard ou aquilo que o Michael Mathews disse quer dizer a abordagem histórico-filosófica, ou a abordagem contextual, ela pode ser muito útil no ensino de ciências, e eu vou dizer, em particular, no ensino de professores de Física, porque eu vou dizer, isso foi muito da minha vivência aqui, quer dizer, o professor de Física, ele precisa ter uma cultura mais vasta do que da disciplina, para que ele possa se impor na escola, ele tem que ser um professor que é capaz de conversar com alunos que tenham interesse em Física, ele tem que ter capacidade de conversar com outros professores, conversar com a diretora, não pode ser um professor bitolado. Então a minha experiência aqui, da minha disciplina, da disciplina que você ministrou, enfim dessa vivencia aqui, da experiência que eu tenho tido no mestrado é que essa mescla do conteúdo de ciência com o contexto, e aí o contexto é histórico, filosófico, religioso, econômico, enfim é o contexto, é algo que pode ter vários efeitos, pode motivar mais os alunos e aí, pra mim, claramente é uma motivação. Certamente tem alunos que não precisam dessa motivação, às vezes eu encontro aqui alunos que são tão encantados com a Física, com as contas, que a abordagem contextual… eu tive uma aluna aqui, que entrou aqui na Física, você deve se lembrar dela Luciana Cendon, lembra dela?

[JF] – Não.

[OFJ] – Ela era do noturno, era uma das melhores alunas, rivalizava o primeiro lugar entre ela e o Márcio, disputando quem era o primeiro. E a Luciana, ela fazia iniciação científica comigo e ela dizia "Eu acho meio chato essas coisas de história e tal", aí eu vi aquilo .. Bom, a Luciana hoje está fazendo mestrado na Itália, fez, largou aqui pra fazer Engenharia e largou a Engenharia pra fazer a Politécnica de Turin. Então, certamente você tem alunos que o interesse na ciência é de tal modo forte, intenso que a abordagem contextual pode ser uma a mais, mas não faz a diferença. Mas para uma grande parte de alunos que não tem essa ligação e, portanto, em particular, pra esses que vão se voltar mais pra licenciatura, a abordagem contextual pode ter um elemento motivador, quer dizer, a ciência passa a ser vista como parte da cultura, então a abordagem é motivadora; segundo pode ter um papel para que eles compreendam melhor os conceitos que estão em jogo, porque muitas vezes os conceitos que são absolutamente triviais, o conceito de inércia, o conceito de força gravitacional, eles são… nós tratamos eles da maneira mais matemática possível, mas são conceitos extremamente profundos, são conceitos… pra você entender aquele conceito, foi uma revolução no pensamento e justamente a abordagem contextual no meu pensamento, ela ajuda o aluno a compreender melhor a natureza da luz, quer dizer, você trabalha… entender qual é a natureza da luz, é um problema que atravessou os séculos. Então, a minha impressão, portanto, é de que ela é muito positiva na formação dos licenciados, pela motivação, pela formação cultural que ela pode propiciar; e terceiro, pela ajuda que dá na compreensão dos próprios conceitos. No ensino médio, eu falo menos porque eu não tenho uma experiência direta com o ensino médio, alguns dos meus alunos têm, mas eu não quero falar de…

[JF] – Continuando, em meados da década de 1990 o Curso de Física (diurno) passava por certo esvaziamento, expresso por altos índices de evasão, o que não era uma particularidade da Bahia.

[OFJ] – Eu lembro que era coisa de três, cinco formandos em 40 ou 50 por ano.

[JF] – Como você avalia a criação e implantação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, em 1998 e 1999, ampliando o numero de vagas em um período em que o próprio Curso de Física diurno passava por dificuldades convivendo com altos índices de evasão?

[OFJ] – Olha Zé, eu acho que hoje a gente está em uma posição melhor para falar nisso, porque acho que é uma experiência que foi aqui no Instituto de Física completamente à frente do seu tempo. A própria ideia de um curso noturno de qualidade depois virou a regra no REUNI, e na época eu lembro que fora Direito, que tinha curso noturno, a Física era o único curso noturno integralmente noturno.

[JF] – Direito fechou, aquele curso de Direito depois fechou.

[OFJ] – Fechou. E agora voltou a abrir? Nos marcos do REUNI?

[JF] – Não. Naquela época que foi criado o Curso de Física, noturno, Direito já tinha fechado. ([1])

[OFJ]- Já tinha fechado, então era a minha memória que falava, pois é, então é isso mesmo, porque eu me lembro que teve uma época que Física era o único curso noturno na UFBA. Então assim… se você olhar que hoje isso virou regra pro Brasil inteiro e aquilo ali foi feito numa época em que a universidade estava contingenciada, o auge do governo FHC, não tinha contratação de professor novo, não tinha contratação de funcionário, não tinha dinheiro, não tinha nada, acho que foi uma experiência, eu não vou dizer utópica, no mau sentido, porque ela deixou frutos - que eu vou falar daqui a pouco - mas foi completamente a frente do seu tempo, quer dizer, se fez aqui com dez anos de antecedência, aquilo que depois virou política pública no Brasil, isso de um lado. Por outro lado, eu acho que o curso, e aí agora estou falando como professor, como quem vivenciou o curso, o curso também foi uma experiência que desmentiu ou esvaziou preconceitos que certamente existiam aqui no Instituto, e fora daqui, quanto ao tipo de aluno que existia no curso. A gente sabia que esse preconceito não tinha esse fundamento todo, não podiam ter esse fundamento todo, porque a USP sempre teve bons cursos noturnos, mas tinha esse fundamento, a ideia de que um aluno não pode fazer Física se não for manhã, tarde e noite pensando em Física, isso era muito forte, e a experiência que nós tivemos aqui é que essa turma é uma turma diferente do diurno, mas na média, pra melhor, e não pra pior. Não porque eles tenham nada no traço genético, é que simplesmente, eu diria, é uma turma já um pouco mais madura, então o típico problema que você tinha aqui - eu ensinei Física II aqui muito tempo, você pega aluno de Engenharia Química pra você dar aula e prender a atenção deles é muito difícil - então você não tinha na turma noturna, porque dois, três anos a mais, ali, fazem a diferença. Além disso, da faixa etária, quase todos trabalhavam, então gente que tinha um senso de responsabilidade maior e, portanto, era um público interessado, era um público motivado, e a minha percepção desse público era assim… você teve um espectro muito diferenciado, eu sempre era o primeiro professor deles, eu sempre perguntava por que eles foram fazer Física e eles respondiam com muita franqueza. Tinha gente que respondia que era o único curso noturno, "eu queria fazer Odontologia", "eu queria fazer isso, mas…".

[OFJ] – Vamos dar uma paradinha pra pegar uma água?

---

[1] O curso noturno de Direito tinha sido criado em 1991 e desativado em 1992. Em 2009, a UFBA voltou a ter curso noturno de Direito.

[JF] – Continuando então a palavra do professor Olival.

[OFJ] – Então, o espectro de alunos que você tinha aqui certamente era um espectro diversificado. Você tinha, numa ponta, alunos que estavam aqui por acaso, porque era o único curso noturno, eu colocaria numa categoria alunos que eram muito fracos, alunos que… a primeira disciplina era uma disciplina que eu ministrava e reprovava em casos extremos, mas eu sempre tinha três, quatro, cinco reprovações e, às vezes, o cara desistia na reta final. Então você tinha uma parcela pequena muito fraca e, na outra ponta, você teve alunos muito bons, em geral vocacionados para a licenciatura… Eu vou dizer nomes com quem eu convivi, mas certamente não são os únicos. Mas desse curso saiu Fábio Pena, Fábio Freitas, saiu Wilson - hoje é professor do Instituto Federal -, saiu Frederik, isso pra falar da turminha mais nova. Agora você teve, um meio de campo, que eu diria assim, que eram pessoas que tinham experiência profissional, às vezes experiência de banco, às vezes experiência de polo petroquímico, às vezes experiência já de ensino, como professor, e esse pessoal, a minha percepção deles é de que esse pessoal, eles aprenderam aqui no curso e que eram alunos de médio pra cima. Certamente eles traziam a vantagem, alguns desses alunos, eu lembro, tinham passado na Escola Técnica, então tinham a formação em Matemática e Física melhor, às vezes era experiência profissional, alguns trabalhando com informática, às vezes experiência de ensino. Nós tivemos passando por aqui alguns dos melhores professores de Física da Bahia. Tem um rapaz, que faleceu, Luciano, se eu não me engano, era um dos melhores professores e era um aluno estupendo aqui. Recentemente, um dos alunos que eu não vou me lembrar o nome, mas ele mora no mesmo prédio que eu, ele era um professor muito bom, e era um aluno muito bom e, recentemente, ele veio falar comigo pra dizer "Professor, lamento, eu voltei pra Engenharia, fiz o concurso da Petrobras". Eu disse, rapaz, você não tem nada que lamentar, o fato de antes você, como engenheiro estar dando aula de Física é porque o país estava em crise, é ótimo que hoje o país esteja absorvendo todos os engenheiros e outros tantos que apareçam. Então nós tivemos um público aqui… São nomes que eu estou trazendo a tona só pra eu ilustrar. Ioná, que é técnica da Petrobras, Ioná é uma técnica da Petrobrás que viaja para os Estados Unidos pra dar curso a americano que está trabalhando lá na Petrobrás, nos Estados Unidos, ou seja, é gente que traz uma bagagem, às vezes a mais variada, profissional, às vezes de conhecimento, mas o que eu quero dizer é assim… que eles formam um meio de campo, da experiência que eu tive aqui do curso noturno, que é uma experiência muito agradável, muito positiva. Eu falo, às vezes, que alguns dos meus bons alunos de iniciação saíram daqui. Eu citei alguns, mas eu gosto de dizer assim… que um dos bons trabalhos que eu fiz aqui com eles, ainda hoje é um trabalho que é referência, foi usado numa tese do Elder, é um trabalho que eu fiz com dois alunos que não fizeram iniciação científica, porque você sabe que o pessoal não podia fazer iniciação porque não podia acumular bolsa com emprego, que é aquele trabalho sobre a queda da Lua, feito com o Adriano e o Manoel. Aqueles dois meninos são muito bons, tinham coisas… demonstração de teorema de geometria, que eu identificava, e antes que eu resolvesse, no outro dia, eles já estavam trazendo a solução. Eu fui com eles e mais alguns alunos pra um Seminário Internacional de Ensino de Física, em Curitiba, e eles foram e voltaram muito animados. Então a minha percepção é de que é assim… foi e tem sido uma experiência positiva, porque ela trouxe para a universidade um público que, de outra maneira, não poderia estar na universidade por causa do trabalho, mas um público que tinha uma vivência, que tinha uma experiência e, infelizmente, muitos deles não continuam no ensino de Física, é o caso desse que voltou pra Engenharia. A minha gerente de banco, foi minha aluna aqui, ela é gerente do Banco do Brasil, então é isso, a função da universidade, e generalizando a universidade, às vezes não é só formar o cara em Física pra ser físico. Quer dizer… é melhorar a formação da pessoa para que a pessoa exerça bem uma profissão que, às vezes, é indiretamente relacionada. Eu não tenho dúvida que essa professora ou esse rapaz lá da Petrobrás, o que eles aprenderam aqui, eles levaram pra profissão. Eu não sei lhe dizer

exatamente o que é que eles levaram, mas certamente alguma coisa eles levaram. E finalmente, a última coisa dessa experiência daqui, noturna, que é a coisa mais subjetiva, porque eu não tenho como trazer evidências muito objetivas, mas veja, aqui e, em geral, nos cursos de Física pelo Brasil afora, quando um aluno quer fazer licenciatura, e é um bom aluno, em geral ele é dissuadido pelos professores sob o argumento de que se ele é um bom aluno, ele deve fazer bacharelado. Isso é uma coisa que se você pega Climério, que é meu aluno, Climério me disse, Climério fez o bacharelado, que "não foi um, nem dois professores que viviam me perguntando por que eu me dirigi pra área de ensino". No caso do Climério, inclusive, ele acabou o bacharelado. Então essa ideia, o reverso dessa prática, de valorizar o bacharel, o aluno mais bem dotado vai pro bacharelado e o menos dotado fica na licenciatura, o inverso disso é que o licenciado tem sua autoestima abalada, eu não sei te falar isso, certamente você… não sei nem se você fez licenciatura, mas sua experiência também não é essa, porque a gente… são coisas que só com o tempo é que eu entendo, por exemplo, eu entrei aqui, como você entrou, viemos de um vestibular mais exigente que é o da Engenharia Elétrica, então eu nunca olhei de maneira rebaixada pra nenhum dos meus colegas aqui da Física, mas eu imagino que alguém tem um pouco mais de dificuldade e tal e se é colado esse rótulo de que se ele não é bom, ele vai fazer licenciatura, isso é uma coisa que derruba a autoestima das pessoas. Mas volto a dizer, eu não tenho dados muito evidentes. Agora, a vantagem do curso noturno é que esse problema não existiu porque não tinha bacharel na sala de aula, era todo mundo licenciado, era pra formar licenciado, então essa distinção do bacharel pra o licenciado, com uma hierarquização do bacharel face ao licenciado, não existiu no curso noturno e eu acho que isso foi um elemento positivo, é a minha impressão.

[JF] – Continuando, o currículo da Licenciatura noturna trazia algumas inovações em relação ao currículo da Licenciatura diurna, entre elas a criação de quatro novas disciplinas, denominadas Física Básica I, II, III e IV, oferecidas paralelamente às tradicionais Físicas Gerais e Experimentais. Até onde sabemos, não havia projeto de formação de licenciados igual a este em nenhuma parte do Brasil, contemplando quatro disciplinas iguais a estas. Como você avalia a criação e implantação dessas novas disciplinas?

[OFJ] – Olha Zé, muito do que falei do curso noturno é fruto da minha experiência em uma dessas disciplinas e, às vezes, eu peruava outra disciplina**,** que você oferecia, Física Básica IV ou III, não me lembro. Então a minha experiência, a minha percepção, ela é um pouco assim… ela tem uma certa marca de ambiguidade. Qual é a marca de ambiguidade? Eu não tenho dúvida de que foi uma experiência positiva. Tudo que eu falei antes… eu tive bons alunos, que trabalham comigo ainda hoje, são professores universitários, professores substitutos federais, que estão fazendo carreira em pesquisa, que eram desse curso. Eu conheço bons professores que passaram… Eu me esqueci de falar do Rodolfo, Rodolfo não teria se formado, não teria feito Licenciatura em Física, se não fosse esse curso noturno. Então a experiência é essencialmente positiva, e é parte dessa experiência essas disciplinas, digamos assim, era um traço distintivo e positivo dessas disciplinas. Eu não posso avaliar muito a disciplina que é a Física Básica II, porque essa eu acompanhei menos… além do que nós tivemos uma experiência inovadora também, porque você disse que era o único curso no Brasil que tinha essa grade, com essa particularidade. Mas eu diria também que era o único no Brasil onde o Harvard virou material curricular obrigatório, não tem outra experiência. A gente estava falando antes do Harvard, e depois eu procurei levantar isso, quem falava do Harvard no Brasil era a Suzana Souza Barros, na UFRJ, ninguém mais. O Harvard era desconhecido no Brasil. O Harvard era um objeto de estudo distante. Agora por que é que eu falei de ambiguidade? Esse curso noturno, quer dizer, ele foi pioneiro, foi precursor em vários aspectos, e um dos aspectos que eu acho que, como precursor, ele enfrentou dificuldade - eu não sei como é que tá hoje, não sei qual é o desfecho - qual é a dificuldade de adequação curricular comparando com os outros. Então, eu sei que tem resistência aqui no Instituto

quanto ao fato de você ter dois cursos, com dois currículos diferentes. Eu acho que, certamente, em algum momento, isso tem que ser equacionado, se não foi equacionado, se não foi, mas a minha impressão é assim… que o curso pagou o preço do pioneirismo.

[JF] – No segundo semestre de 2000…

[OFJ] – Ah, sim, só um detalhezinho, o Instituto bancou esse curso, mas a minha impressão também é de que, de um certo momento pra frente, o Instituto também baixou a guarda de tomar esse curso pra si. Então esse conflito das duas licenciaturas, eu acho que ele aumentou com o tempo, na medida em que o Instituto… quer dizer, deixou de ser uma coisa muito importante, no Instituto, a existência desse curso ou melhor, na medida que virou rotina, entrou na normalidade.

[JF] – Então, continuando, nos semestres 2000.2 e 2001.2 você ministrou a disciplina Física Básica IV em parceria com outro professor oferecida aos alunos do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Como você avalia a experiência de ministrar essa disciplina?

[OFJ] – Isso foi em 2004, não é isso?

[JF] – 2000 e 2001.

[OFJ] – 2000 e 2001. Rapaz aí agora você me pegou pela memória.

[JF] – Foi comigo.

[OFJ] – Foi com você. Então, eu lembro que uma dessas vezes a gente fez uma experiência com um material que a Ileana tinha usado no Rio Grande do Sul e a minha impressão é que foi uma experiência positiva. Especialmente porque você estava botando mecânica quântica direto no curso de Física Básica IV. Mas é uma experiência que eu não pude avaliar melhor. Certamente, na continuidade, precisaria de inovações, ajustes e a experiência portanto, foi limitada. Mas eu lembro que foi uma experiência positiva. Na verdade, essa ideia de que o aluno precisa, desde cedo, ter contato com a Física Moderna, pra mim, isso é claro. Aquela conversa que a gente teve aqui antes aqui sobre aqueles cursos que o Pepe dava com base no Jay Orear, uma parte do sucesso era o Pepe, mas a outra parte do sucesso é o fato de que, em um ano, pega o Jay Orear, você cobria, chegava em Física de Partícula e Relatividade.

[JF] – Na sua visão qual foi a recepção dos alunos em Física Básica IV?

[OFJ] – Positiva, muito positiva. Essa é a minha impressão. Eu não fiz uma avaliação das disciplinas… aliás, quase nenhuma dessas disciplinas. Só bem depois, em Física Básica I, que o Elder, com base na tese dele, começou a fazer avaliação mais sistemática. Eu fiz uma avaliação na primeira turma de Física Básica I, ou na II, e depois, infelizmente, eu nunca tive fôlego pra fazer uma avaliação sistemática. Mas as referências que eu tinha do que os alunos falavam, do que os alunos comentavam, foi sempre uma experiência muito positiva. Eu tive uma experiência negativa, que foi um curso que veio uma greve pelo meio, e os alunos não apareceram e aí eu viajei e deixei o curso aí, e o curso acabou, certamente, não deve ter sido uma experiência boa.

[JF] – Continuando, em 1999, você ministrou o curso de Física Básica I tendo sido inclusive a primeira pessoa a fazê-lo. Na época você usou uma abordagem histórico-conceitual, aliás, com muito sucesso. Quais as vantagens de uma abordagem desse tipo nos cursos das Físicas Básica I, II, III e IV?

[OFJ] – Olha, eu vou dar uma opinião, Zé, que é independente da Física Básica I, II, III e IV. Independente, que eu digo é assim… a forma desse currículo da Licenciatura noturna, pra mim, não é o essencial. O grande desafio, aqui no Instituto, era, digamos assim… é preciso unificar as licenciaturas, que se unifiquem as licenciaturas preservando o que de bom e de novo a licenciatura noturna trouxe, e o que de bom e de positivo tinha na licenciatura diurna.

Então, um dos elementos bom e positivo foi a abordagem contextual usada especificamente na Física Básica I, III e IV e eu digo isso pela percepção que eu tenho de como os alunos reagiram a isso, e mais recentemente, se você pegar os dados da pesquisa que o Elder conduziu na pesquisa dele, está bem analisado, bem documentado, durante dois ou três semestre seguidos o Elder analisou, gravou o curso, entendeu? Isso hoje está publicado na forma de artigo, você pode pegar a tese dele, tá tudo lá. Então, pra mim a coisa positiva que deveria, que precisava ser preservado aqui no Instituto é a presença de uma abordagem contextual na formação do Licenciado em Física… Sim, e as vantagens são aquelas que eu falei aqui no começo, motiva mais os alunos, situa os alunos num horizonte cultural mais vasto e ajuda a compreender melhor certos conceitos, que o ensino tradicional torna esses conceitos digamos assim, opacos. Você não compreende direito esses conceitos. Às vezes esses conceitos são absolutamente preliminares no entendimento da Física. No caso Básica I, como eu falei, de inércia, e o conceito de força gravitacional, a abordagem contextual ajuda imensamente a que os alunos pudessem compreender melhor o que é que tava em jogo.

[JF] – Com base na experiência em ministrar Física Básica I e Física Básica IV, em que você considera úteis as Físicas Básicas para a formação do licenciado, na Licenciatura noturna?

[OFJ] – Bom, eu posso falar melhor da Básica I que é a minha experiência maior, e um pouco da Básica IV, mas também de uma disciplina que eu cheguei a oferecer aqui uma ou duas vezes que chamava Tópico da Física Moderna. As vantagens dessa Física Básica, as vantagens da abordagem contextual, é isso que eu quero frisar, eu não quero fazer aqui um cavalo-de-batalha defendendo a fórmula Física Básica, eu quero fazer um argumento aqui a favor do peso da abordagem contextual na formação do licenciado em Física. Então eu não tenho dúvida de que motivou mais esses alunos, eles passaram a compreender melhor uma série de questões, alguns desses alunos, que eu fiz referência aqui, o Walker, que eu me esqueci, o Fábio Pena, o Fábio Freitas, todos eles têm um aprendizado dessas disciplinas, que volto e meia eu me surpreendo conversando com eles, interagindo hoje com eles, fazendo pesquisas com eles, coisas que eles aprenderam por aquele caminho, por aquele viés daquela abordagem. Ah, sim, eu queria dizer o seguinte, de um lado a abordagem contextual, de outro lado, aí é a minha experiência limitada de Física Básica IV, e em Tópico em Física Moderna, é que acelerar o contato desses alunos, os futuros licenciados, com Física do século XX, é uma coisa que só temos a ganhar, porque isso atrai o aluno, prende o aluno, a conexão que eu queria fazer na experiência de Física Básica IV, aquela experiência que eu vivi, a experiência de Tópicos de Física Moderna e a experiência de 30 a 40 anos atrás nos cursos do Jay Orear.

[JF] – Continuando, como você deve ter tomado conhecimento, foi aprovado recentemente alterações nos currículos do curso de Física diurno e do currículo no Curso de Física, Licenciatura, noturno, a vigorar a partir de 2013, entre outras iniciativas foram unificados os currículos das licenciaturas diurna e noturna, tornando inclusive obrigatórias para o curso diurno e noturno, inclusive para o bacharelado diurno, as antigas Físicas Básicas I, II e III, agora denominadas Conceitos de Física A, Conceitos de Física B e Conceitos de Física C, além disso, foi tornada optativa para o curso de Física diurno a antiga Física Básica IV, agora com o nome de Conceitos de Física D. Como você vê tal reformulação?

[OFJ] – Em princípio, positiva. Por que eu digo em princípio? Bom, eu tava completamente por fora disso, como eu lhe falei. Então, quando eu disse que era importante a unificação preservando o que a experiência da Licenciatura noturna tinha de positivo então, aparentemente, é isso. Mas por que eu estou dizendo em princípio e aparentemente? É que da minha experiência e da minha vivência na universidade, muitas vezes são poucas as disciplinas que a ementa e a bibliografia dizem o que é. Boa parte das disciplinas, são disciplinas que vão depender sempre do que é que vai ser ensinado. Então, eu acho que pode ser positiva, dependendo do que vai ser ensinado, quem vai ensinar e de maneira muito clara,

se for… se de baixo de conceitos de Física tiver abordagem contextual, eu acho ótimo e excelente. Se for outra coisa, não sei, vamos ver. É uma nova experiência, porque pode ser outra coisa, pode ser alguém que vá, por exemplo, trabalhar só com computadores, com simulações, hipoteticamente é outra, não quer dizer que seja negativa, eu quero dizer que é outra experiência.

[JF] – Quais os benefícios que estas disciplinas poderiam trazer para a formação dos alunos de Bacharelado em Física?

[OFJ] – Aí eu prefiro não falar, porque eu não tenho experiência na formação do bacharelado.

[JF] – Continuando, como você avalia o desempenho na Licenciatura noturna nos últimos 12 anos?

[OFJ] – Pra mim é essencialmente positiva, é uma coisa que dinamizou o Instituto e eu acho que o Instituto todo tem essa percepção. Dinamizou, formou mais gente, trouxe gente às vezes do noturno para o diurno, deu vida ao Instituto. Eu não tenho número, era importante ter números, mas certamente aumentou o número de pessoas se formando, talvez no diurno também, provavelmente. Mas certamente trouxe vida para o Instituto.

[JF] – Encerrando a entrevista como professor Olival.

CARTA DE CESSÃO

Salvador, ... de ..... de .....

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, ...OLIVAL FREIRE JÚNIOR...., estado civil, ..., documento de identidade, ..., declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em ...27/12/2012 para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

Olival Freire Jr

ANEXO 1.B

RAIMUNDO MUNIZ TEIXEIRA FILHO

(Entrevista revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Raimundo Muniz Teixeira Filho (RMTF)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 05/12/2012

[JF] – Iniciando a entrevista com o Professor Raimundo Muniz Teixeira Filho, no dia 5 de dezembro de 2012.

[JF] - Professor Raimundo, conte-nos um pouco de sua trajetória acadêmica.

[RMTF] – De uma maneira geral?

[JF] – De uma maneira geral, sinteticamente.

[RMTF] – Vou me restringir às atividades de ensino. Olha, eu comecei a ensinar na Universidade Federal da Bahia em 1986, no Departamento de Engenharia Elétrica. Ensinei diversas disciplinas que envolviam: Análise de Sistemas Lineares, Teoria de Controle, Telecomunicações, Circuitos Elétricos e Eletrônica. Depois fui transferido pro Instituto de Física, em 1992. Afastei-me para o doutoramento em 1993, retornei em 1997 e desde este período até hoje ministrei diversas disciplinas; tanto da área de formação geral, as Físicas Gerais, para os estudantes de Física e para os estudantes da Área I, e disciplinas profissionalizantes. Nas disciplinas profissionalizantes, Introdução à Mecânica Quântica e Tópicos de Física Moderna. Ensinei também disciplinas do curso de pós-graduação em Física.

[JF] – Continuando, como você se recorda, em meados da década de 1990 o Curso de Física (diurno) passava por certo esvaziamento, expresso por altos índices de evasão, o que acontecia não só com o curso de Física da UFBA, mas também com outros cursos de ciências, no Brasil. Que avaliação você faz da criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, em 1998, ampliando o número de vagas num período em que o próprio Curso de Física, diurno, passava por este processo de esvaziamento?

[RMTF] – Bom, a criação do Curso de Licenciatura em Física, noturno, da Universidade Federal da Bahia - esse curso foi o primeiro e por um bom tempo ficou sendo o único - foi um dos momentos mais importantes do Instituto de Física, ao meu ver. Desde o tempo de estudante de graduação, sempre achei que uma Universidade com esse espaço, essa capacidade imensa, tinha que ter curso noturno. Eu nunca entendi, enquanto aluno de graduação, e depois como professor, porque não existiam cursos noturnos na UFBA. Vale observar que as aulas noturnas que tinham eram apenas algumas turmas, principalmente lá na engenharia, eu me lembro muito disso, tinham turmas, mas não era um curso noturno. Então o

curso noturno, do ponto de vista de uma instituição, principalmente de uma instituição pública, era e é fundamental. Particularmente, o curso noturno permite que pessoas que trabalham durante o turno diurno, possam ter uma formação de nível superior. Isso é algo fundamental pra essas pessoas; e nesse grupo existe a demanda de uma série de professores de ensino médio que não se formaram, tá certo? Então quando se abriu o curso noturno não só pra professores, a Universidade Federal da Bahia passou a ter um curso noturno, então as pessoas diziam "a UFBA tem um curso noturno!", quer dizer, fundamental, pois é público, gratuito. A demanda desse curso, eu diria que, apesar do curso diurno ter tido esvaziamento, tinha uma demanda natural por ser noturno, tá certo? Então foi um momento muito importante do Instituto de Física e da Universidade Federal da Bahia.

[JF] - O currículo da Licenciatura, noturno, trazia algumas inovações importantes em relação ao currículo da Licenciatura diurna, entre elas a criação de quatro novas disciplinas, denominadas Física Básica I, II, III e IV, oferecidas paralelamente às tradicionais Físicas Gerais e Experimentais. Até onde sabemos, em nenhuma parte do Brasil havia um projeto de formação de licenciados igual a este da Licenciatura, noturna da UFBA, contemplando quatro disciplinas iguais a estas.

[RMTF] – Olha, isso aí, como você mesmo falou, foge ao padrão usual. As Físicas Gerais são normalmente distribuídas em quatro disciplinas e, quando se tem a conjugação com laboratório, correspondem a seis horas por semana, tá certo? O problema dessas disciplinas Físicas Gerais, nessa forma, é que devido ao conteúdo muito grande, como a gente sabe, tem que envolver toda a Física, inclusive a Física contemporânea, nessas disciplinas, certas discussões que envolvem as questões conceituais, históricas, elas se tornam muito compactas, vamos dizer assim. Desta forma, o estudante termina tendo que fazer isso extra aula. Então, nesse sentido, surgiu a ideia das disciplinas Físicas Básicas que também estavam nesse mesmo nível, tá certo? Onde o enfoque mudaria um pouquinho. Sairia da ênfase em matemática… não é que não teria a parte matemática, mas ela seria um pouco diminuída em prol de uma ênfase maior na questão conceitual, histórica, porque a gente sabe que tem uma deficiência muito grande dos estudantes que ingressam - eu diria que é no Brasil inteiro - essa formação que vem do ensino médio nas questões de laboratório, desenvolvimento de conceitos, da parte histórica. No Brasil temos esse problema, historicamente os alunos estudam aquelas memorizações, conseguem resolver problemas, mas não conseguem contextualizar como certos conceitos foram desenvolvidos e o significado das leis físicas. Então, nesse sentido, eu achei muito positivo. Disciplinas que têm uma carga horária de quatro horas semanais, basicamente com o mesmo conteúdo das Físicas Gerais, mas o enfoque um pouco diferente, de tal maneira que os estudantes desenvolvem melhor os conceitos da Física, vinculados com a parte histórica, que é muito importante.

[JF] - De certo modo essa pergunta que segue você já tocou um pouco, mas eu vou retomar. Que papel a História e Filosofia da Ciência podem desempenhar na formação dos futuros licenciados?

[RMTF] – Eu estava falando no geral, na formação do físico graduado, seja licenciado ou bacharel. Particularmente, para o licenciado isso é fundamental, mais ou menos no que falei da questão do ensino médio. A Física, se ela é ensinada de uma maneira, vamos dizer assim, como se fosse algo algoritimizável, onde tem um "tipo de problema", tem uma fórmula que é essa, é aquela, isso desvirtua totalmente o que é o processo de desenvolvimento de uma ciência. Alguém pode dizer que é excessivo ficar falando sobre a história. Não é. A parte histórica é para o estudante entender como é o desenvolvimento das ideias, dos conceitos na física. É claro que necessita enxugar um pouco, porque não é um curso de História da Ciência. Eu diria que é fundamental para o entendimento, para saber como nasce um conceito, como ele se transforma e ele se moderniza; tudo isso tem a ver com a história. Eu sempre digo a

meus alunos que existe a genialidade, mas a genialidade não é de um, é do conjunto, é da civilização, vamos assim dizer. É o processo histórico, é acumulação, que, em certo momento, podemos dar um salto. Não é um gênio que veio independente, ele está dentro de um contexto, por exemplo, a Mecânica de Newton: nas próprias palavras de Newton, ele diz que estava sobre os ombros de três gigantes, se referindo ali a Descartes, Galileu e Kepler. Então ele foi um sintetizador e não um independente. Então, todo esse processo… sempre é importante aprender ciência e em particular a Física, sempre que possível, no processo de como as ideias, como os conceitos, evoluíram.

[JF] – No segundo semestre de 2006, você ministrou a disciplina Física Básica III oferecida aos alunos do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Como você avalia a experiência de ministrar essa disciplina?

[RMTF] – Bom, Física Básica III é o conteúdo de eletricidade e magnetismo. Essa disciplina, antes de mais nada, eu ensinei apenas um semestre. Para um professor ter impressões mais efetivas tem que ensinar pelo menos dois a três semestres. Então, no caso de Física Básica III, a impressão será um pouco limitada. A disciplina que eu ensinei mais semestres foi a Física Básica II. Então, a Física Básica III trata de eletricidade e magnetismo. Século XIX, ela é desenvolvida, naturalmente, a partir de uma base empírica, mas também desenvolve-se sua formulação teórica, e chega-se a algo que é fantástico no século XIX, que é a grande síntese de Maxwell e a previsão de ondas eletromagnéticas. Então, é sempre muito agradável dar esse conteúdo. Para o estudante é desafiador, porque, diferente da Mecânica - a Mecânica trata do movimento dos corpos, em que as pessoas convivem diariamente desde a infância - a eletricidade é algo mais distante, mais desconhecido, então, nesse caso, o desafio, exatamente a questão do desenvolvimento das ideias, do conceito de carga, de corrente elétrica, isso vai se dando num processo linear, historicamente, durante o século XIX, na primeira metade. Na segunda metade, eu diria que é principalmente o desenvolvimento da parte teórica, com Maxwell, naquela sintetização das quatro equações, e tudo isso. Então, é muito positivo… quando a gente começa a colocar essas questões de como é essa nova força, da interação, fazendo os primeiros experimentos dos papeizinhos eletrizados, essas discussões para que os estudantes comecem a ponderar que é outro tipo de interação, que nesse caso, tem atração, tem repulsão, a intensidade dela é diferente da intensidade gravitacional. Então, toda essa discussão envolve questões históricas, é fundamental, é uma das teorias que podemos apresentá-la acompanhando a sequência histórica, tá certo? Então eu diria que o desafio em Física Básica III, é exatamente tentar "enxugar" a linguagem matemática. Isso foi o que eu achei mais difícil, porque a linguagem da eletricidade e magnetismo, naturalmente, as equações que vão surgindo, elas são algo novo, mais sofisticado do que na Mecânica, o conteúdo de Cálculo é maior, fica realmente "pesado", os alunos têm mais dificuldade. Desta forma, eu não eliminei o conteúdo de Cálculo, mas dei mais ênfase na parte conceitual. Então, esse eu diria que foi um grande desafio pra mim na época. Foi basicamente isso aí.

[JF] – Qual foi a recepção dos alunos?

[RMTF] – Eu sempre conversei com você na época. Você ensinou bastante Física Básica III, e eu tava na Física Básica II… as Físicas Básicas… como era uma novidade pedagógica aqui do curso, a gente fica sempre com aquele conflito, tudo o que é novo é meio conflituoso. Às vezes, eu saía de uma aula pensando "poxa, será que realmente vai dar certo?" Outros momentos, eu saía muito feliz, porque eu conseguia perceber que, na média, as pessoas tinham dado um salto qualitativo sobre a questão de como é a Física, como ela se constrói, os conceitos, então, eu diria a você, no caso de Física Básica III, como foi a primeira e foi uma só vez, tive algumas dificuldades. Certos momentos foram muito bons, o entendimento da Física, como a Física se desenvolve, seus conceitos, foi muito positiva a resposta. Em outros momentos, me causava dificuldade, que eu ficava realmente com muita dúvida de como

construir tudo aquilo. Quer dizer, é um desafio… é importante, foi a primeira vez. Desde esse período, eu estou querendo ensinar novamente esta disciplina, pois são disciplinas que exigem do professor uma abordagem não convencional, por ser uma novidade. Mas, de uma maneira geral, a resposta dos alunos foi boa. Quando o aluno entende como os conceitos surgem, você percebe na própria expressão facial que, pra ele, existe algo fantástico, pra ele, naquele momento, é uma grande descoberta! A Física, muitas vezes, como ela é ensinada, é destituída do ser humano. É apenas fórmulas, tipos de problemas e soluções. Eu sempre achei essa coisa horrorosa. Então, quando você discute os conceitos, o conteúdo da disciplina torna-se mais envolvente. Eu acredito que a ciência é atraente por isso, pelos desafios de entendimento, de compreensão da realidade, não essa coisa distante da realidade, estando apenas no livro e resolvendo problemas. Eu acho que é positivo. Não diria em todos, mas que em grandes momentos, em vários momentos, você percebe uma boa resposta dos estudantes.

[JF] – Completando, só para deixar claro, sua abordagem acentuava o desenvolvimento histórico e as implicações sociais ou culturais da ciência?

[RMTF] – Olha, eu não iria tanto às questões, vamos dizer, da transformação da sociedade frente à nova ciência, a questão do desenvolvimento, da indústria e etc., senão o conteúdo da disciplina ficaria muito grande. Esse é um problema, isso tudo é muito vasto. Evidentemente eletricidade e magnetismo é um tipo de teoria que a tecnologia resultante quase que imediatamente foi usada pela civilização. Então, isso é claro que a gente vai citando ao longo do curso como algo muito importante, e a própria transformação da sociedade frente essa nova maneira de ver a natureza. Minha abordagem era sempre mais o laboratório, o desenvolvimento das ideias, dos conceitos. Em eletricidade e magnetismo, por exemplo, o conceito de carga e os conceitos de campo elétrico e campo magnético são muito importantes. No caso do campo, eu falo aos alunos, ele não nasce como algo abstrato, ele nasce, na ideia de Faraday, como algo muito concreto. É engraçado como surgem as coisas… eu gosto de evidenciar como as ideias surgem de uma maneira que não é como a gente tem hoje em dia, tá certo? A ideia de campo de força de Faraday não é a visão que nós temos hoje em dia. É um processo evolutivo que nasce com Faraday, que foi um personagem muito importante. Então, os conceitos vão evoluindo, o eletromagnetismo, ele se tornou muito importante no século XX, porque é uma teoria de campo, é a primeira grande teoria de campo, tá certo? No caso da teoria gravitacional de Newton, não é uma teoria de campo, é ação a distância. O eletromagnetismo, do ponto de vista teórico, é uma evolução das ideias, tá certo? Então, nesse sentido, temos que construir a noção de campo com o estudante, para entender que são visões diferentes de como as interações ocorrem. Isso é conceitualmente importante. No primeiro momento, eu sempre digo a eles, parece só uma brincadeira teórica, mas não é. No segundo momento, isso vai evoluindo, isso é um desenvolvimento de uma ideia, de um conceito, que começa simples e vai sofisticando no próprio desenvolvimento histórico do eletromagnetismo no século XIX. Então, eu diria que esse encadeamento das ideias, que parte do laboratório, usa-se a Física que já existia no desenvolvimento desse novo conceito (campo), e esse próprio conceito evoluindo e fugindo das ideias anteriores. Isso é fantástico, eu diria que é muito importante apresentar esse processo histórico num curso básico.

[JF] – Quais os benefícios que as Físicas Básicas poderiam trazer para a formação dos alunos do bacharelado em física?

[RMTF] – Sobre essa questão que estamos discutindo aqui, no geral, essa distinção entre alunos de licenciatura e alunos de bacharelado, eu não gosto, ainda mais nas Físicas Gerais, Físicas Básicas. A nível dos conceitos, eu acho que é fundamental para os dois. É fundamental para o licenciado, porque depois ele vai falar sobre aquilo, ele vai transmitir, então para ele transmitir ao jovem, ao aluno novo, ao adolescente, ele tem que ter o conhecimento mínimo, mas o conhecimento mínimo não é a sofisticação matemática. Eu

estava ontem conversando com um aluno sobre formação mínima de um graduado e fiz uma analogia: "olha em certos momentos da vida que se tem que olhar para um objeto em cima de uma mesa e dizer se conseguimos carregar ou não esse objeto, não é preciso pegar o objeto na mão para saber se é possível carregar esse objeto. Outros objetos mais pesados, olhamos e dizemos talvez eu consiga carregar, talvez não". Isso é uma analogia que eu estou fazendo, em relação à formação. Existem conceitos na Física que é fundamental o seu entendimento de maneira precisa. Eu não estou dizendo que as visões são unânimes, uniformes, pois sabemos que sempre existe a visão individual, ainda mais quando estamos aprendendo. Eu me refiro às deformações dos conceitos. Por exemplo, sobre o mundo microscópico, certas deformações, elas podem ser muito prejudiciais, tanto para o professor licenciado, que participa da formação de estudantes, como aquele bacharel que vai trabalhar em pesquisa e ensino superior. Se ele não conhece as ideias básicas, os conceitos básicos, esse reflexo será ao longo de toda sua vida. Eu lhe digo, pode ocorrer que certos conceitos, certas questões, certas lacunas, permaneçam por muitos anos. Isso é ruim para o bacharel e é ruim para o licenciado. Isso eu não tenho dúvida, nas disciplinas básicas é muito importante o entendimento dos conceitos, das leis físicas e suas aplicações a sistemas simples… eu costumo dizer, nas matérias profissionalizantes temos a sofisticação dos sistemas físicos, sistemas mais complicados. Contudo, os conceitos básicos, o seu entendimento, já devem estar presentes nas disciplinas básicas. Se se tem uma deformação, isso pode ficar por muitos e muitos anos, seja bacharel, seja licenciado. Isso é fundamental, todo esse processo, esse desenvolvimento das ideias e dos conceitos.

[JF] - Como você avalia o desempenho do Curso de Física, Licenciatura, noturno, nos últimos 12 anos?

[RMTF] – Bom, essa é uma pergunta complicada, porque aí vão ser impressões, eu não trabalho diretamente na parte de ensino, então é um pouco complicado responder. Eu diria que vão ser impressões. Bom, o curso noturno ele tem uma característica, porque, em geral, as pessoas trabalham. Jovens ou com mais idade, professores, alguns de Física, que não têm o título de licenciado. O que se percebe é o interesse desses alunos. Eles trabalham durante o dia e têm dificuldades de chegar no horário. Dificuldades que são inerentes de um curso noturno, mas, de uma maneira geral, eu sempre percebi muito interesse, a receptividade das discussões sobre qualquer assunto. Eu ministrei outras disciplinas além da Física Básica e sempre percebi este interesse. Alguns trabalhavam em regime de turno e me pediam para eu flexibilizar, é um desafio.

[JF] – Professor Raimundo você também ministrou o curso de Física Básica II, com base na sua experiência de ministrar Física Básica II e Física Básica III em que você considera úteis as Físicas Básicas I, II, III e IV à formação dos alunos de licenciatura.

[RMTF] – Bom, eu tinha comentado um pouco da Física Básica III, em que eu ensinei apenas um semestre. Mas a Física Básica II foi um pouco diferente, eu ensinei vários semestres. O conteúdo da Física Básica II é o mesmo conteúdo da Física Geral e Experimental II, só que o enfoque é mais conceitual, histórico e empírico, com experimentos demonstrativos. É diferente de Física Básica III, que é apenas um conteúdo, a teoria eletromagnética, a Física Básica II envolve diversos assuntos. Inicia com a parte de oscilações, daí ondas, que é um conceito muito importante na Física - uma aplicação da Mecânica -, a propagação de uma perturbação provocada num meio material. Essa é uma parte muito boa do ponto de vista de conteúdo pra gente discutir em sala de aula. Nessa parte de oscilações e ondas a resposta foi muito interessante. Eu usava essas molas helicoidais de densidades diferentes que podem ser ligadas uma na outra e assim podíamos apresentar de maneira simples a passagem da onda de um dado meio para outro meio, reflexão, refração, uma serie de coisas. A reação dos alunos era muito boa. Os alunos entendiam, percebiam o fenômeno, isso é muito importante, um

sistema simples e eles entendiam as questões envolvidas. Aí depois vem o conteúdo de calor, algo que o ser humano também convive desde pequeno. A palavra calor é popularmente conhecida. A gente tem ideia do fogo, do frio, da transmissão do calor. Esse conceito, a sua sistematização na Física também é do século XIX e é também muito desafiador no processo da formação da ideia, porque ele começa primeiramente sem a gente saber sua natureza, o que é transmitido de um corpo pro outro. Isso é bacana, porque, num primeiro momento, a gente pode desenvolver uma teoria, que não é preciso falar da natureza microscópica do calor, a Termodinâmica. Mas, como no século XIX, também se desenvolveu o conhecimento da estrutura da matéria, que também é parte disso, lá pras tantas a gente começa a discutir com os alunos sobre a teoria atômica da matéria e aí surge a pergunta: Neste contexto, o que é então o calor? E aí confronta-se uma teoria que é a Termodinâmica, com outra grande teoria que é a Mecânica. Como já falei, a Termodinâmica não preciso falar em si da estrutura da matéria, tá certo? As grandezas são macroscópicas: pressão, temperatura, volume… Com o surgimento da teoria atômica, naturalmente, a teoria do micro que é Mecânica, os primeiros modelos é Mecânica Clássica, newtoniana, e aí, do ponto de vista do desenvolvimento das ideias, dos conceitos, são momentos muito importantes, de síntese, porque, por exemplo, com o modelo da Teoria Cinética dos Gases, passamos a entender pressão como algo mecânico, o choque das partículas, esse tipo de modelo, que é relativamente simples sua construção, o estudante começa a percebê-lo e usá-lo. Assim ele pode usar essa nova visão do conteúdo microscópico da matéria para entender qual a natureza calor, que está associado às partículas terem energia mecânica, em média, maior no corpo mais quente do que no corpo mais frio. No contato com o corpo mais frio a energia mecânica é transmitida deste corpo para o outro corpo, no final das contas, o calor está associado a energia mecânica. Então, temos uma grande síntese, é uma coisa fantástica. A dificuldade é que, muitas vezes, o estudante já estudou este conteúdo anteriormente e ele mistura os assuntos, não sabe a sequência histórica. Nesses momentos, percebemos a importância destas discussões nas físicas básicas. O processo histórico neste caso é muito importante. Então, a teoria atômica, por exemplo, os experimentos que conduziram à vitória da teoria atômica são do século XIX e início do século XX. Na Física Moderna, que é o conteúdo de Física Básica IV, é muito importante toda essa parte da teoria atômica, do desenvolvimento da teoria atômica no século XIX, que você começa a ver na Física Básica II. Eu diria que a discussão conceitual é fundamental na formação do estudante. É importante que o graduado saiba a sequencia de fatos que conduziram ao grande desenvolvimento da Física nestes dois últimos séculos. Então, a Termodinâmica, a teoria atômica da matéria, tudo isso foi fundamental para a Física do século XX. Não existe entendimento da Física moderna se não entendermos a Física do século XIX. Tudo está concatenado neste processo evolutivo das ideias.

[JF] – Perfeito. Então encerrando a entrevista com o professor [RMTF].

CARTA DE CESSÃO

Salvador, 15 de MARÇO de 2013

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, RAIMUNDO MUNIZ TEIXEIRA FILHO, estado civil, CASADO, documento de identidade, 00.774.351 33, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 05/12/2012, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

R M Teixeira Filho

ANEXO 1.C

ARTHUR MATOS NETO

(Entrevista revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Arthur Matos Neto (AMN)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 12/12/2012

[JF] – Professor Artur, conte-nos um pouco da sua trajetória acadêmica.

[AMN] – Fiz graduação em Física no Instituto de Física. Fiz mestrado no Instituto de Física com orientação do professor Davi Viana, professor da UNB e doutoramento no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro, também com orientação do professor Davi e esse tempo todo eu sou professor do Instituto de Física.

[JF] - Como você se recorda, em meados da década de 1990 o Curso de Física (diurno) passava por certo esvaziamento, expresso por altos índices de evasão, o que acontecia não só com o curso de Física da UFBA, mas também com outros cursos de Física, no Brasil. Como você avalia a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, em 1998, ampliando o número de vagas em um período em que o próprio Curso de Física diurno passava por este processo de esvaziamento?

[AMN] – Bom, então aí agora eu tenho até uma observação sobre a pergunta por que você está fazendo uma afirmação. Eu não acho que o Curso de Física estava passando por um esvaziamento. Isso é normal. Os cursos de física são assim. A sua própria pergunta traz nela embutida, traz um certo conflito. Não tinha esvaziamento de curso, formávamos o que sempre formamos, um número muito reduzido de estudantes tanto no bacharelado quanto na licenciatura. Me lembro que no ano que me formei no Instituto de Física, no final de 77, portanto, a formatura no inicio de 78, o número de formandos era uns quatro, cinco ou seis, normal. Eu acho que a questão não era essa. Eu acho que a questão se colocava em outro ponto. Eu mesmo tinha discutido muito com…, na época, uns anos, uma outra preocupação que está ligado com o que você está perguntando, mas não diretamente, porque em vista desse número muito reduzido de alunos que se formavam em Física e que ainda se formam, das suas duas habilitações usuais, tradicionais, o bacharelado e a licenciatura, todos nós, do Brasil inteiro, todas as pessoas ligadas ao ensino, preocupados com a formação dos nossos professores para o ensino médio, então não tinha (eu nunca tive, professores de Física formados, como docentes, no ensino médio, eu estudei no Colégio Central da Bahia e os meus professores ou eram alunos então do Instituto de Física, como o professor Luiz Augusto de Carvalho Malbouisson, que foi meu professor durante meses no Central, ou médicos, ou profissionais das mais variadas formações. Então isso é uma coisa da tradição brasileira uma tradição científica pobre, e isso vem de muito tempo, todos preocupados, eu conversei muito sobre isso inclusive com o professor Felipe Serpa, como é que nós deveríamos fazer para que

a gente aumentasse o número de formandos em Física em particular na habilitação de licenciatura. Me lembro uma certa vez, olhando a taxa de sucesso, como você colocou, a evasão no curso de Física da UFBA era muito alta, a gente foi olhar, eu fui olhar com Felipe a taxa de evasão no curso de Física da Universidade de São Paulo era basicamente a mesma. Só tinha uma diferença, lá formava muito mais porque entravam muito mais alunos. Então uma primeira questão que nós discutimos com o Felipe aqui - ele produziu isso como reitor da Universidade - de uma forma geral é que a gente devia ampliar a entrada em primeiro lugar, o acesso, aos cursos de licenciatura em geral, não só o de Física, e procurar resolver as dificuldades que existiam, e existem ainda, no curso especificamente, que acaba fazendo com que uma quantidade de aluno que poderia ter sucesso nesse curso, não tem, por problemas da relação do curso com os alunos. Então isso é uma questão, e nesse sentido tinha uma relação que também, até por que a Universidade de São Paulo também já tinha um curso noturno, há muito tempo,… pensando isso, e o fato de que a profissão de licenciatura, licenciados, professores de Física em formação, licenciatura corresponde a uma profissão que tem um mercado de trabalho com a respeitabilidade social impressionantemente baixa, no Brasil, ainda mais nessas áreas em que o Brasil não tem tradição científica acumulada, os salários são muito baixos e, portanto, as pessoas que procuravam essa área para se formar eram pessoas que por inserções sociais, não poderiam, dentro da estrutura do vestibular, almejar cursos, que tinham um reconhecimento social alto e, portanto, uma remuneração alta na profissão, alguns desses, inclusive, trabalhavam para se manter, devido a sua estrutura social, sua classe de onde vieram e, portanto, um dos fatores que a gente pensou era que, talvez, se abrir o curso em um turno, que permitisse aos alunos trabalharem enquanto cursavam, talvez a gente conseguisse, além de atrair pessoas, outras pessoas… podia atrair pessoas inclusive, que já estavam na rede trabalhando, sem formação, porque como a gente já sabe que essa falta de formação é muito antiga, no Brasil, na área de Física, um processo de qualificação dos próprios profissionais que já estavam na rede ensinando e que, portanto, só poderia cursar à noite, é claro que não daria para criar um curso de Licenciatura em Física, noturno, como a gente chama, nos mesmo moldes da Licenciatura diurna, no que, nas palavras mais contemporâneas, com o mesmo projeto pedagógico-político. Por que? Porque já achávamos que o projeto pedagógico-político da Licenciatura diurna tinha problemas que afastavam os alunos; em segundo lugar, porque como o curso seria num único turno, porque o curso da licenciatura e do bacharelado, que estou chamando diurno, na realidade se fazia tanto pela manhã quanto pela tarde, as disciplinas eram espalhadas, o que também dificultava muito as pessoas permanecerem na Universidade, em vista do trabalho, das condições sociais concretas do público, dos alunos que entram no Instituto de Física. Juntando esses aspectos, o Instituto de Física acabou produzindo esse curso. Na época eu era o vice-diretor do Instituto de Física quando esse curso foi produzido. Na direção estava nosso colega professor Manuel Blanco Martinez e como reitor da Universidade o professor Felipe, então se tem uma conjunção. E também é verdade se frisar que, na época, a Universidade Federal da Bahia e outras, mas essa daqui, estava colocando, até porque o reitor era Felipe, essa discussão de fazer os cursos em um turno como uma tentativa de superar algumas dessas dificuldades para alunos diretamente vinculados ao mundo do trabalho, já na época. Então a saída que nós demos aqui no Instituto foi abrir esse curso à noite, um curso noturno, o que acabou se concretizando e acabou se transformando no primeiro e, durante muito tempo, no único curso noturno da Universidade Federal da Bahia. Outras escolas procuraram discutir e tentar fazer seus cursos em um único turno, mas durante o dia, tá certo? Não tiveram sucesso, a não ser muito poucas, as escolas que tiveram sucesso a fazer isso. A Escola de Comunicação conseguiu. O curso de comunicação, que também passou por uma reformulação curricular mais ou menos na nossa época, dá abertura ao curso noturno, com a criação de um curso chamado de Produção Cultural, o curso ficou durante o período matutino, na Escola de Comunicação, essa eu me

lembro, por razões de natureza pessoal e pode-se olhar se outros, eu não me lembro, se outras unidades conseguiram fazer com que seus cursos fossem concentrados em um único turno com essa preocupação que estava se colocando na época. Eu acho que a solução que o Instituto de Física deu, na época, foi a melhor solução de todas.

[JF] - O currículo da Licenciatura noturna trazia algumas inovações importantes em relação ao currículo da Licenciatura diurna, entre elas a criação de quatro novas disciplinas, denominadas Física Básica I, II, III e IV, oferecidas paralelamente às tradicionais Físicas Gerais e Experimentais. Até onde sabemos, em nenhuma parte do Brasil havia um projeto de formação de licenciados igual a este da Licenciatura noturna da UFBA, contemplando quatro disciplinas iguais a estas. Como você avalia a criação e implantação dessas novas disciplinas?

[AMN] – Interessante, porque, também para retomar um pouco o processo histórico ocorrido no Instituto de Física, até chegarmos a criação dessas quatro disciplinas, como você está colocando, é importante lembrar que também na tentativa de resolver dificuldades acadêmicas, pedagógicas, dos cursos de graduação em física, seja de bacharelado ou licenciatura, o Instituto alterou o seu curso, a sua estrutura curricular, para o turno diurno, vamos chamar assim, criando as disciplinas chamadas Físicas Gerais e Experimentais *F* (I, II, III e IV) com a alteração da carga horária - na época já existiam as nossas Física I, II, III e IV-E, que eram comuns para a Área I, para engenharia, matemática e os outros cursos da Área I, com carga horária de seis horas semanais - para disciplinas com carga horária de dez horas semanais. Depois de muita discussão, o Instituto acabou fazendo para seus alunos essas disciplinas com a alteração dessas cargas horárias. É bom lembrar que esse processo de alteração ele foi sendo feito aos pedaços. Quando eu entrei, acho que você, como estudante de Física, nós não tínhamos nem quatro Físicas com seis horas semanais. Tínhamos três. A primeira chamava-se Física II, que, na época, era uma disciplina nuclear para a Área I, tá certo? Era a II, III e IV. Em um primeiro momento, a II passou a ser a I, a Experimental I, e passou a criar-se a II para a Área I inteira, com conteúdo de Física Térmica: oscilações, fluídos, mecânica do continuo. Num primeiro momento nós saímos de três, de seis horas, para quatro de seis horas, para a Área I inteira, inclusive para nós Físicos. Em seguida, com essa crítica sobre o curso, preocupação com a evasão, como você colocou na primeira questão e sobre o conteúdo, problemas também com as áreas de Engenharia com a validação do diploma dos engenheiros, nos levou, levou a Universidade, a aceitar nas suas instâncias superiores, a criação dessas quatro Físicas Gerais e Experimentais, com carga horária cada uma de seis horas. Quatro horas do que a gente chama, para fazer um divisão, teoria, e duas horas no Laboratório, que também foi sendo criado laboratório, porque não tínhamos, ao longo desse processo, nós dois pegamos isso, porque foi exatamente nesses anos, nos anos de 75, que os laboratórios, primeiro laboratório aqui, de fato, associado a essa disciplina foi o de Física III, em seguida, o de IV, depois o daquela II antiga que virou I mais adiante é que foram feitas, a ordem inclusive foi essa, a ordem não começou com o primeiro laboratório feito da I, da II, da III e da IV, começou com o laboratório da Física III e da Física IV. Um grupo de jovens professores do Instituto eu fui monitor nesse processo, conduzido esses jovens professores por um professor experiente, colega que estava aqui na Bahia, já alguns anos, tinha vindo para o Brasil, da França, professor François Pompignac, fizemos isso depois dessa crítica das seis pra dez horas só pra gente; mas aí chegamos a conclusão que por diversos aspectos, aspectos pragmáticos, aspectos pedagógicos, aspectos acadêmicos, não seria conveniente reproduzir essas disciplinas de dez horas para o curso noturno. Por uma questão de estrutura curricular, por um lado, e por outro lado, porque, durante esse processo, tomou corpo no Brasil uma discussão que já vinha ocorrendo fora do Brasil em países da Europa, dos Estados Unidos, uma questão de uma certa dificuldade no ensino das ciências, em particular da Física, teria a ver com a falta de contextualização da produção do conhecimento

científico, porque a forma como se ensinava dava a sensação aos alunos, era uma forma dita, no jargão popular, era uma forma morta, dava a impressão aos alunos que aquele produto humano teria sido elaborado como se fosse por inspiração divina para pequenos deuses humanos, sem um processo histórico, social, concreto, que a sociedade humana estava vivendo em cada período e, portanto, ficava dissociado da vida, da percepção humana, das pessoas, dos alunos envolvidos no processo. Essa crítica, porque esse problema de formação de cientistas existe em qualquer lugar do mundo. Os Estados Unidos de vez em quando passam por ele. Passou na época de 60, agora parece que está passando de novo, a Europa *idem idem*, e começaram a aparecer avaliações críticas: por que isso? E uma destas, com esse conteúdo, com uma avaliação crítica, na perspectiva Alemã, que diz que para que a gente faça essa relação com o ensino das ciências, com vida concreta das pessoas, ao invés de se voltar muito, na visão deles, não é necessário voltar tanto ao espírito da própria produção do conhecimento, mas é necessário pegar dados da realidade concreta objetiva dos alunos e abrirem, se abrir aquelas coisas, e mostrar a ciência embutida em cada coisa dessas. Tem origem na própria visão mais tecnológica desenvolvida na própria Universidade Alemã, na sua origem, esse ensino, essa forma de ensinar ciência na Alemanha que é diferente da França, da Universidade francesa; os Estados Unidos ficam no meio termo, porque pegaram a Universidade Alemã, como nós sabemos, e levaram para os Estados Unidos para fazer algumas adaptações necessárias e convenientes. Aqui em Salvador, na Bahia, por uma série de fatores que envolvem fundamentalmente a trajetória dos personagens envolvidos mais diretamente na produção do curso, numa trajetória com a formação em bases marxistas, levou que o discurso majoritário, nesse coletivo de pessoas, fosse esse, que eu vou chamar de Francês, na produção do conhecimento como um processo humano e, portanto, a depender da estrutura social, inclusive da estrutura de classe da sociedade onde ele produziu. Isto tem a ver, inclusive com os personagens que foram guias no processo, na sua formação, sociológica, política; escolhemos esse caminho e fizemos, portanto, as dez horas, nas F's. Tentamos reproduzir as dez com as seis, das disciplinas originais das Física Gerais Experimentais *E*, e mais quatro, dessas quatro disciplinas novas com esse conteúdo, com essa abordagem, com esse viés. Como isso não era ainda completamente aceito dentro da Instituição, porque as pessoas inclusive tinham formações políticas, sociais, distintas, não se conseguiu, à época, colocar as quatro disciplinas criadas dentro desse espírito inovador, inclusive no Brasil. Não se conseguiu colocar as quatro disciplinas como obrigatórias, por resistência, só conseguimos colocar as duas primeiras: a primeira e a segunda como obrigatória, a terceira e a quarta acabaram ficando no currículo original, como optativas. O surpreendente nesse fato, para alguns, para outros não, o surpreendente dessas quatro disciplinas, por razões também variadas, é que elas tiveram uma aceitação muito grande por parte do alunado, se for olhar os alunos formados já há algum tempo, por razão de experiência eu tenho convicção, não tenho dados precisos, mas quase todos devem ter cursado as quatro físicas, embora as quatro não fossem colocadas nos seus currículos como obrigatórias. Essas disciplinas tiveram uma aceitação muito grande por parte do alunado, o que nos leva a pensar que algum elemento dessa interpretação do processo pedagógico-acadêmico tem algum elemento de razão, tem alguma coisa que os alunos tenham aceito. Temos dificuldades enormes, porque, como é uma novidade, embora a gente globalmente tenha defendido esse espírito dessas disciplinas, juntos com as outras, em paralelo, como você colocou, tentando entender que no processo educativo todas as interpretações e visões são relevantes, porque, para cada aluno, como eles se relacionam com elas são distintos, porque eles também têm histórias prévias, são humanos já, não são branco, vazios a serem preenchidos, eles estão cheios, como nós também, de saberes, de vida, por isso essas outras disciplinas as quatro tradicionais no espírito um pouco mais, um espírito muito americano dessas quatro outras disciplinas que nós fazemos, então tem essa mistura de que o espírito americano tem mais a ver com o alemão, enquanto essas têm mais o

espírito francês, da produção de conhecimento francês. Então estamos tentando, com essas em paralelo com essas duas, fazer um equilíbrio, que é muito difícil, que nós sabemos, passamos vários anos experimentando como fazer esses cursos, inclusive. O resultado é que o Instituto acabou se convencendo da validade dessas disciplinas, dessas quatro em paralelo com essas outras, e, nessa ultima reformulação curricular feita no Instituto, tanto no diurno quanto no noturno, naturalmente, essa ideia desses elencos dessas quatro disciplinas, com essa abordagem e as quatro com a abordagem centrada na escola americana, conseguimos que seja aprovado pela Instituição como um todo o que demonstra que o Instituto compreendeu, por avaliar o resultado dos alunos do noturno, que essa introdução alcançou algum sucesso. Então precisamos avançar nisso.

[JF] - Que papel a História e Filosofia da Ciência podem desempenhar na formação dos futuros licenciados?

[AMN] – Eu acho que é esse, primeiro eu não gosto de falar de História… de Filosofia… não acho que seja bem isso. Porque a História, como Filosofia, como a Sociologia, como a Antropologia, como qualquer coisa, tem um papel a desempenhar da formação de qualquer ser humano, não tem nada especifico com licenciado. O que eu acho que essas disciplinas trouxeram é uma tentativa de aproximar a produção científica do contexto social onde aquela produção foi feita. Se a gente lembrar que ciência é apenas um certo discurso sobre o mundo, devemos lembrar que essa ciência que a gente ensina é um discurso europeu sobre o mundo. Ele não é um discurso de todos sobre o mundo. Ciência não fala sobre verdade. São apenas discursos. Não é o discurso dos tupis-guaranis sobre o mundo. É o discurso europeu, branco, sobre o mundo, que se espalhou no planeta Terra, pela hegemonia europeia no planeta. Também essa hegemonia baseada em certo desenvolvimento gerado até por essa ciência, pode-se dizer, que talvez dê um certo sentido de validade a ela, no sentido da guerra, não no sentido da compreensão do mundo, no sentido da luta, da vitória de homem *versus* homem. Então é preciso ter calma, o que a gente compreende é que para entender esse discurso e, aliás, o mundo já está entendendo isso, o próprio uso das expressões "Ciência também é cultura", já difundido inclusive pelas Organizações das Nações Unidas, demonstra que a ciência, a física em particular, é uma produção humana, é um saber humano e, portanto, para que eu possa discutir, compreender, eu preciso internalizá-los nas sociedades humanas. Nesse sentido, é fundamental compreender os processos sociais, históricos, antropológicos, daquelas sociedades para compreender porque esses conceitos foram produzidos e não outros. Então, nesse sentido, o que se chama, avaliar… História,… porque se não vai ficar uma sequência de nome, de pessoas e de datas. Não é disso que nós estamos falando, porque continuamos com o mesmo vício de antes "fulano de tal em mil e tanto", isso não interessa. Como diz um físico importante, o professor Feynman, um americano, mas um americano curioso, ele diz: "o nome das coisas não importa, nem o nome das pessoas que dizem que fizeram as coisas, o que importa são suas coisas e a relação dessas coisas com a sociedade humana". Não tem nome, isso a gente usa no sentido de datar um pouco, mas devemos tomar cuidado para não fazer história como a gente foi formado, na nossa idade, no livro de História do Brasil e do mundo, de decorar a data, quem descobriu, quem fez. Isso é irrelevante. Não é importante se Pedro Álvares Cabral chegou ao Brasil em 1500. Não é importante saber que Ampère, ou fulano de tal, fez isso, em tal época, pois, se for relevante isso, é relevante saber que Vasco da Gama foi quem fez isso, que Pedro fez isso em 21 ou 22, não sei, de abril. Isso é irrelevante. Relevante é discutir com os alunos como é que se chegou aqui, como a Europa conseguiu chegar aqui, que tipo de produção cultural e científica eles tinham que permitiram eles chegarem aqui e não permitiam que os povos que já moraram aqui, chegassem na Europa. É isso que precisamos discutir na sala de aula para motivar o aluno a essa visão, a esse discurso, a outro, comparar os discursos,… como é novo,… em processos humanos, vinte anos, trinta anos não é nada… então nós estamos de alguma forma aprendendo a realizar isso nas salas de aula. O

Instituto de Física tem tido, a história, eu acho, vai mostrar, no Brasil, um papel relevante nisso, extremamente relevante, o que já pode ser constatado inclusive dentro do próprio Instituto, na Universidade Federal da Bahia. Não é a toa que foi o Instituto de Física, que, de novo, puxou, e, portanto, acaba sediando hoje, o curso de História, Epistemologia e Ensino da Ciência. Com essa transversalidade toda, que nós estamos discutindo aqui … esse curso de pós-graduação é sediado no Instituto pela mesma razão que a Licenciatura noturna, e agora todas, tem essas quatro disciplinas. Não é a toa que esse curso está aqui envolvendo docentes das mais diversas unidades e de outras universidades, inclusive; que acabou esse discurso, crescendo, e diversos outros cursos no Brasil foram e estão sendo criados, e tem relações aqui com a Paraíba e outro lugar que eu não estou me lembrando, a pós-graduação vinculada a as essas coisas que o MEC permite fazer. Então esse curso de pós-graduação no Instituto, pode-se dizer, fazendo uma figura de linguagem, que ele também tem como seu nascedouro as quatro Físicas Básicas do curso noturno.

[JF] – No segundo semestre de 1999, você ministrou Física Básica II oferecidas aos alunos do Curso de Física, Licenciatura, noturno. Como você avalia a experiência de ministrar essa disciplina?

[AMN] – Seguindo, que no fundo é um mesmo discurso, com as dificuldades todas que eu falei o que significa essas disciplinas, para todos do Instituto de Física. Em particular, nesse semestre, essa disciplina era pela primeira vez que essa disciplina era ministrada. Como nós todos procuramos, no Instituto, que as pessoas ministrassem essas disciplinas - principalmente que era a primeira vez que ela estava sendo ministrada - tenho a impressão que a Física Básica I, no semestre anterior, portanto, foi ministrada por professor Olival, que também era um partícipe desse processo e pelas razões já apontadas, pela sua própria formação social, histórica, política que levava ou permitia compreender ou aceitar essa interpretação do processo educativo; eu diria uma interpretação com nuances marxistas… e, portanto, a segunda disciplina, no semestre consecutivo, ficou eu - só pra completar o discurso, eu acho que a terceira ficou você, Física III, a primeira vez, Física Básica III…

[JF] – Eu e Yukimi

[AMN] – Yukimi, a IV quando foi oferecida…

[JF] – Eu e Olival

[AMN] – Você e Olival, o que mostra, voltando ao início, que o conjunto de pessoas que estavam diretamente envolvidas nessa concepção e defesa, era pequeno. É por isso que duas foram obrigatórias e as outras duas eram optativas. O conjunto dos primeiro professores envolvidos, e que se olhar ao longo do curso desses anos, o número de pessoas, além desses quatro que se envolveram, é um número baixo, o que mostra as diferenças de perspectivas, de opiniões da Instituição, que foi resolvido sabiamente ao fazer esse conjunto de disciplinas coexistirem e tentarem, é o que nós estamos precisando fazer, se relacionar, mais do que se relacionam… Voltando a questão específica que você está perguntando, foi muito difícil por falta de experiência de como fazer, não queria repetir essa datação histórica pra falar de história, história, história; história se estuda em história, tem todos específicos. Não queria aprofundar também demais, porque isso não é um curso de epistemologia, nem de história da ciência, nem de filosofia da ciência, o nome que quiser, é um curso de Física Básica. Esses instrumentos outros, científicos, eles entram nesse curso na perspectiva de procurar ligar o conhecimento, a produção do conhecimento em física, no caso, às sociedades humanas. Física já tinha, continuará tendo, cursos já antiquíssimos, no mundo inteiro, com perspectivas distintas, marxistas ou não, chamada Evolução da Física, ou chamada modernamente Filosofia da Física, ou qualquer coisa, os nomes não são relevantes, tem perspectivas distintas, nós mesmo alunos fizemos um curso de Evolução da Física baseado no livro de Einstein, Osaka,

isso é uma outra coisa, então sem querer fazer uma coisa, sem querer fazer outras, sem ter umas certas referências básicas de como fazer o curso, escolhi fazer uma alternativa de seguir um texto mais amplo de um físico russo, Landau, um texto chamado Física, com tradução em Espanhol, eu acho que é Física Geral, a tradução, com dificuldade, o livro só tinha em Espanhol, e os alunos, para a gente pode parecer que o Espanhol é Português, mas não é Português (risos), tirando cópias de capítulos do texto e, em um mês, menos de um mês, eu percebi que o envolvimento e, portanto, a compreensão dos alunos estava baixa. Gostavam das aulas, mas o envolvimento… Só pode ter compreensão de um processo ou de uma coisa quando você se envolve nele. Na questão do ensino é muito relevante a questão afetiva dos alunos com respeito à relação na sala, e com respeito a… [incompreensível] é a parte mais importante que existe. Não dava. Aí eu conversei com alguns colegas do Instituto, em particular conversei com esse colega nosso, Olival, que já tinha dado o I. Olival escolheu um certo caminho um texto que eu acho que não poderia ser, que foi muito profundo, em certos aspectos que estavam ligados a própria época da vida dele, do que ele estava estudando, da pós-graduação, desse discurso que acabou gerando, como eu já falei da História da Filosofia e Epistemologia do Instituto de Física, era mais a área de trabalho dele e tal. Aí Olival me deu uma ideia, "mas tem um texto, tem um texto que acabou de ser traduzido para o Português de um curso com essa perspectiva, um curso que foi para o ensino médio nos Estados Unidos - e como qualquer desses projetos americanos, por causa dessas crises, desse problema científico nos Estados Unidos, os Estados Unidos já tentou várias formas, seja no ensino de segundo grau, seja na universidade, tá certo - Olival disse esse livro foi traduzido para o Português, em Portugal. Tinha na biblioteca em inglês. Eu fui pegar o livro pra ver e disse "ah esse livro é interessante". Mas era em Inglês que tinha na biblioteca. Eu disse, eu vou usar esse texto, vou mudar. Cheguei pra os alunos e disse "Oh, não está dando certo", conversamos, discutimos. "Vamos mudar o texto". Pegamos o texto, expliquei o que era o livro, e disse: "Vamos começar, voltar e começar tudo de novo". Enquanto eu esperava, Olival tinha ido, nesse período Olival foi a Portugal e a coleção, acho que era quatro volumes, ainda estavam traduzindo o ultimo ou o segundo, e como esse era o segundo, já tinha. Olival me mandou a tradução. Aí tirei cópia e distribui para os alunos, cara. Os alunos adoraram o livro, e o livro é realmente fantástico, volume dois, todos são muito bons, eu acho magnífico até porque coincide a perspectiva do ensino da Termodinâmica, com esse víeis da produção humana, nas suas palavras, a questão da história da perspectiva da compreensão humana sobre o universo que nos cerca, seu aspecto filosófico de compreensão, a abordagem que ele toma, portanto, o autor, coordenador, a abordagem é extremamente… coincidia com a visão como eu acho que esses cursos devem ser dados. Então como diria o ditado popular, a sopa no mel, Já coincidia porque eu acho que a maior síntese dessa ciência nossa chamada Física, exatamente está expresso no volume dois que é o Triunfo da Mecânica, que é a redução da teoria do fogo a movimento, desorganizado, caótico, mas movimento, que é a perspectiva que o livro assume, que está no seu título. Aí, portanto, o livro empregava a perspectiva de ensino da ciência, que era as bases da concepção dessas Físicas Básicas, e a abordagem que ele fazia, porque ele podia voltar ao processo histórico da Revolução Inglesa, da primeira Revolução Industrial pra discutir Termodinâmica como a ciência macroscópica como foi produzida, mas ele não escolhe esse caminho, eu acho sábio, ele escolhe o caminho do século XIX, da segunda metade do século XIX, que é o da teoria atômica da matéria para poder compreender mais intimamente a própria natureza dos processos técnicos e não simplesmente uma coisa ligada a máquinas térmicas, o que foi necessário no século XVII, e como ele está querendo compreender mais profundamente aqueles conceitos, é necessário ir no próprio modelo da matéria que é um desenvolvimento final do século XIX. Então adorei o texto e o curso acabou sendo o possível. Não me lembro se já dei esse curso outra vez. Eu acho que foi a primeira vez, não sei. Eu acho

que dei mais uma vez, eu acho. Não me lembro, talvez só uma mesmo. Depois, eu sei, quem deu foi Raimundo, inclusive eu passei o livro pra ele e tal.

[JF] – Só pra deixar claro, você já respondeu mais qual foi a recepção dos alunos?

[AMN] – A primeira parte, nesse primeiro mês, quase um mês tá certo? O texto do Landau tem uma outra questão. Por que? Primeiro, porque o texto do Landau, esse escolhido, ele não podia ser o texto usado no curso, não tem nada a ver com a recepção ou não dos alunos. O texto eu empreguei porque não tinha outro texto à disposição, na época, na minha mão. Ele não podia ser usado, e não pode ser usado, porque a concepção do texto não é a concepção dos cursos, que é esta concepção de discutir a produção da física, do conhecimento dessa ciência como um dado, como um aspecto de um dado numa dada sociedade. É um texto que é bastante conceitual, usando uma palavra, tá certo? Mas não procura fazer essa ligação, que é uma questão central para a introdução dessas disciplinas. Então não seria o texto adequado em nenhum momento. Segundo, agora dentro da lógica do texto, por mais que eu já tenha falado que essa nossa ciência é um aspecto da produção cultural da sociedade europeia, a Rússia, uma parte da Rússia, vamos chamar uma parte da Rússia europeia, indo até Moscou, tem uma forte influência, teve e tem uma forte influência da sociedade europeia central: França, Alemanha, Inglaterra e outras coisas. A outra parte da Rússia tem um aspecto mais ligado à própria Ásia, mas, de qualquer jeito, está distante, um pouco distante do coração europeu e, portanto, a própria forma de fazer, aprender a ciência, a Física em particular, na Rússia, é muito particular e esse físico em particular, um dos mais importantes físicos do século XX, o Landau, também a visão dele dentro desse aspecto é particular e, portanto, ficava uma singularidade muito grande, o livro. Nós não conseguimos, no Brasil, por exemplo, nem utilizar um livro do Landal padrão ou um livro *standard* nos cursos, nem de pós-graduação, padrão. Porque é uma questão cultural, já que a ciência, produção cultural, a internalização dela em um dado país, depende das pessoas daquele país, tá certo? E obviamente, singularmente, de cada pessoa. Não daria certo por esses dois motivos. Não era adequado, porque não estava de acordo com o projeto acadêmico-pedagógico do curso e, segundo, o próprio texto, a natureza do texto, não daria certo. Eu tentei outros livros, na época, tentei outros, distribui outros antes de chegar nesse. Tinha um texto que era um pouco mais parecido com o Landau, na época, parecido, mas completamente diferente, mas sem esse espírito de contextualização histórica, cultural, que tinha sido usado muito tempo nas universidades brasileiras, um livro americano, há muito tempo atrás, antes da introdução desse esquema Haliday, no Brasil, que era o Jay Orear. Eu fui pegar o Jay Orear, que também tinha na biblioteca, uma edição inclusive mais moderna, talvez até com a solução de alguns problemas que a edição antiga tinha. Distribui também o Jay Orear antes desse chegar, porque eu fui mudando um pouco pra ver qual que a turma, pra ver o que batia, também não satisfazia o modelo básico do curso. Aí eu disse: "Vou procurar um outro, um mais simples". Aí fui procurar um outro projeto americano de segundo grau, desenvolvido na mesma época desse projeto, desse que a gente esta usando, esse da universidade de Cornell, eu acho, esse que se usa aqui, esse do volume dois que eu acabei usando (- Qual é a Universidade? – Harvard), Harvard, e um físico, coordenador, que inclusive escreveu, era o responsável pela parte de ciência com as perguntas, Como é? Por que? de uma coleção famosa, que a gente usava muito, quando era menino, o livro chamado Tesouro da Juventude. Eu vim descobri depois que o Olival fez uma entrevista com esse Holton, que a gente na época, no interior, tinha que decorar alguma enciclopédia. Podia ser Tesouro da Juventude, a primeira, depois tinha uma Barsa, ou uma Britânica, então, o Tesouro da Juventude tinha uma sessão, nos seus dezoito volumes, que era como é que o olho funciona, como é que é isso. Ele era o coordenador e isso eu vim saber depois. Eu fui pegar um projeto americano, esse foi produzido na universidade, mas produzido pela própria Associação dos Físicos dos Estados Unidos, um Comitê. Aí eu fui pegar o próprio projeto PSSC, o chamado PSSC, pra tentar levar pra sala. Só que o PSSC

também não é o projeto ideal, não é o texto ideal pro projeto que a gente tinha escolhido, ensinar esse conteúdo, porque o projeto pedagógico do PSSC, mais ou menos da mesma época do projeto de Harvard, da Universidade, ele é um projeto de ensinar a física na tentativa muito parecida do processo… esse pequeno microcosmos, a Física, faz Física. Ele não se preocupa em analisar, o que já é uma bela questão, mas ele não se preocupa em analisar como esse microcosmo dos físicos, da Física está inserido numa dada sociedade concreta. Então, em certo sentido, o PSSC, ele é muito internalista à própria Física. E muito parecido como nós produzimos Física, a tentativa, mas ele é internalista, enquanto que essa visão desse projeto de Harvard, coordenado pelo Holton, você está falando o nome, lembrando o nome aqui pra mim, ele tenta ensinar a Física, mas aproximando ela de uma coisa um pouco mais ampla, do processo social concreto que está ali. Então tentei essas alternativas e acabei chegando. Os alunos, no final gostaram.

[JF] – Essa aqui também eu acho que você já respondeu, mas eu vou frisar. Sua abordagem acentuava o desenvolvimento histórico e as implicações sociais ou culturais da ciência?

[AMN] – Olha, eu procuro fazer isso em todos os cursos. Eu acho que o errado que nós temos no Instituto de Física é que isso seja feito apenas nesses dois ou quatro cursos. É um absurdo, isso. Na verdade o que a gente precisa avançar, inclusive retirar esse discurso desses quatro cursos e dá um passo adiante, daqui a alguns anos, eu espero que seja o mais breve possível, todos os cursos têm que fazer isso. Isso não é um curso específico. Cursos específicos a gente já tem: Evolução da Física, Filosofia da Ciência, outra coisa. Nós estamos falando de ensinar, a relação de ensino e aprendizagem na sala de aula, concreta, de um dado conteúdo em Física. Todos os conteúdos em Física são produção humana, todos devem ser, naturalmente não precisa falar em "ênfase histórica", nada disso. Quando a gente deixar de falar isso, os nossos cursos estarão razoáveis. Quando a gente falar isso significa que os cursos não são bons, que é um cantinho que dá ênfase. Não tem ênfase. É Física como produção humana, é normal, não tem nada demais.

[JF] – Com base na sua experiência de ministrar Física Básica II, em que você considera úteis as Físicas Básicas I, II, III e IV na formação dos alunos da Licenciatura noturna?

[AMN] – De novo, de novo eu não acho que elas são fundamentais, nem básicas para o licenciado noturno, nada. Eu acho isso um equívoco, tá certo? Elas preencheram, no noturno, num dado momento, uma tentativa de preencher um vazio nos cursos das Físicas I, II, III e IV. Mas só nesses, um vazio, não é a melhor forma de preencher um vazio. Mas como isso é um processo social, que vai se desenvolvendo, ela teve papel, porque apareceu os mesmos conteúdos nessa divisão esquemática de disciplina semestral, porque a universidade escolhe, compartimentalizado isso, ela apareceu com certos aspectos, que não existiam, que não eram colocados nas disciplinas, essa tentativa de discutir com os alunos essa relação da ciência com a humanidade, desmistificando, portanto, o conhecimento científico. Não é um conhecimento de pessoas, de deuses, nem de semideuses, isto é de humanos, de uma dada cultura, e não de humanos em geral, ainda existe uma diversidade de humanos na Terra, felizmente. Essa visão europeia não acabou com tudo ainda, com outras, felizmente. Isso é importante para a humanidade.

[JF] – O Instituto de Física aprovou, recentemente, as novas matrizes curriculares para seus cursos de graduação diurno e noturno, a vigorar no ano de 2013. Que avaliação você faz dessas novas matrizes curriculares desses cursos?

[AMN] – Acho que nós melhoramos muito. Eu tenho uma coisa aqui que eu acho que é uma coisa meio ruim… até a forma… Eu não gosto de matriz, porque currículo é vida, não tem matriz. Não gosto desses nomes; grade, isso não é uma prisão. Precisamos fazer uma critica a essa própria nomenclatura, nós usamos, tá certo, são os nossos cursos, são humanas, não

precisa usar esses conceitos que têm uma conotação ruim. O que eu acho é que o nosso curso, seja bacharelado, seja licenciatura, de Física, eles, nessa proposta nova, político-pedagógica, esses cursos, nós conseguimos, o Instituto de Física conseguiu, como um todo, incorporar certos aspectos, um pouco dessa crítica, que está no mundo inteiro, como se ensina ciência. Eu acho que ao olhar a estrutura do curso agora, você percebe uma tentativa de caminhar no sentido de responder a algumas dificuldades dos nossos cursos, ainda de forma, no meu entender, um pouco precária, muito parcial. Por que precária? Porque deixamos um ciclo, um primeiro ciclo - vou dividir em duas partes para você evitar um pouco o discurso - deixamos um pouco essa dualidade dessas quatro disciplinas, das Físicas Básicas, com essas outras quatro Físicas Gerais e Experimentais. Essa dualidade é ruim. Precisamos superar essa dualidade. Agora já foi um avanço, para o Instituto como um todo, reconhecer que não foi só para o licenciado e bacharel, mas pra todos da Área I. Precisaria ter essas outras quatro pra completar um buraco que as outras quatro Experimentais I, II, III e IV possuem. É um avanço, isso aí. Próximo avanço, nessa primeira parte, é compreender que essas disciplinas, e todas, têm que ser ensinadas e discutidas, reforçando, realçando o aspecto de que isso é cultura humana. A segunda parte do curso, a gente não conseguiu ainda avançar, na segunda parte do curso, nesse aspecto da compreensão, que envolve muito, a compreensão, a discussão dos próprios docentes, dos parceiros do processo. Como o curso de licenciatura tem uma visão de que a parte do conteúdo específico desta licenciatura - E como eu sempre digo: "a licenciatura o substantivo é o licenciado". Esse é o substantivo. Aí, depois, têm vários adjetivos, em física, em matemática, em química. Isso é adjetivo, porque a relação central do licenciado, e ainda mais hoje, na conjuntura de hoje, ensinar ciências a jovens e adolescentes é uma questão central. A primeira questão é a relação humana com jovens é uma coisa bastante problemática na sociedade brasileira. Por várias razões, que no caso a gente não vai abordar aqui. Aí, no curso de licenciatura, uma boa parte do Instituto, aqui e em todos os Institutos, acaba não se envolvendo muito diretamente, porque, por outras razões, fica um pouco mais solto, você, na segunda parte, tentar, fazer com que esse retorno, a esse mesmo conteúdo também seja produzido, ensinado, com esse espírito, que a nossa estrutura de que, nas palavras antigas, agora mudou graças a Deus, também é ruim o texto, "complementos", criamos os quatro que faltavam, agora, com certeza, consertou. Mas, no bacharelado, continua na segunda parte do curso, estruturalmente, depende do docente na sala de aula, naturalmente, mas, estruturalmente, você vendo, continua ainda, essa influência desse processo de ensino não chegou a ela ainda. No licenciado, tem um pouco, e pode chegar, em razão das pessoas que estão mais envolvidas com o ensino das disciplinas do licenciado, estão mais próximas dessa percepção, com diferenças, distinções e nuances naturais.

[JF] – Novamente, acho que você já respondeu, mas eu vou frisar: De que forma a Física Básica I, II, III e IV influenciaram na definição das novas matrizes curriculares dos cursos de física diurno e noturno?

[AMN] – Muito, se tornaram, esse discurso, dessa forma da compreensão da ciência, da produção da física em particular, que tem que está impregnado nas disciplinas, ele conseguiu, pelo menos formalmente, vamos dizer assim, conseguiu se tornar hegemônico, na primeira parte do curso, no Instituto de Física, tanto pro licenciado como pro bacharel. Mas esse próprio discurso, como eu frisei aqui, ele precisa avançar. Ele tem defeitos. Esse próprio discurso, ele precisa avançar. Não dá pra guardar no canto. Aquelas quatro ficam lá. Essas quatro têm que primeiro se integrar com essas quatro do Básico em uma coisa só, porque é uma disciplina única, Física Básica, dividida em quatro, porque a universidade é semestral, podendo até acabar, voltar a ser anual, não importa. É um processo contínuo essa relação que leva aqui na Universidade dois anos, tá certo? E a gente vê se quebra essa apartação de quatro cá com quatro lá. Essas quatro são de vocês, essas quatro são nossas. Isso não é bom em si. E,

segundo, isso não é bom, porque gera reflexo do curso inteiro onde as quatro ainda, o espírito das quatro, essa relação ainda não chegou. Quando fundir, significa que essa fundição será transversal no curso inteiro do aluno. Não sei quanto tempo a gente vai demorar para fazer isso, mas devemos perseguir isso e não ficar satisfeitos com a existência dessas quatro como obrigatórias. Esse não é o final do processo. Essa é a segunda etapa do processo. A primeira foi criá-las, tudo bem, só para noite, só para Licenciatura, deixa lá, só duas obrigatórias. Depois de dez anos, tem dez anos mais ou menos Zé?

[JF] – Tem doze.

[AMN] – Depois de doze anos conseguimos fazer essas quatro com mais quatro para todos. Não é só para o noturno, não é só pra licenciado, é pra todos, mas ainda estão apartadas. O próximo passo é dizer não existe quatro e quatro, existe uma disciplina, o ensino de Física Geral, de Física Básica, o nome que quiser, com esse conteúdo que no mundo inteiro demora quatro… Hoje a Universidade de São Paulo ensina uma quinta disciplina, em vez de quatro, no que eles chamam de Ciclo Básico. Então a questão é… Agora, o próximo passo é fundir, porque se a gente conseguir isso, se o Instituto de Física conseguir isso, significa que a percepção do processo de ensino, que é disso que nós estamos tratando, estamos tratando de ensino e não de pesquisa em Física, s*tricto sensu*, como é que isso vai repassar na formação inteira dos alunos, tá certo?

[JF] – Quais os benefícios que as Físicas Básicas poderiam trazer para a formação dos alunos do bacharelado em Física?

[AMN] – A mesma, não tem diferença entre bacharel e licenciado, Zé. Isso é inexistente, ainda mais no primeiro ciclo. Estamos estudando Física como ato de produção humana. O que a gente está fazendo aqui é ensino de Física como ato de produção humana. Mais adiante, ao longo do processo, as pessoas vão decidindo se o que elas… naquele momento… estão mais robustas… com mais vontade… tem muitas relações sociais… elas estão mais preocupadas em como pegar uma profissão de ensinar a Física, discutir métodos, ou se ela vai ficar internamente dentro da própria Física. Mais adiante, todas as disciplinas… Não tem história da Física. Isso não existe. Existe história humana. É uma divisão que se faz também dentro desse discurso científico, acadêmico; bobo isso. Nós estamos discutindo como ensinar Física, como se deve estar discutindo ensinar biologia, sociologia, antropologia, história, economia. É isso que nós estamos discutindo; é como a gente discutir esses cortes que os homens fazem para explicar os seus processos históricos e naturais. São só cortes ,não existe essa divisão. Acho essa divisão, inclusive, ruim, essa separação bacharelado, licenciado, eu não gosto disso. É da vida, mas tanto que é da tradição da Física, de todas, eu acho, pelo menos ter um ciclo básico comum para todos que deve ser, no mínimo, metade da duração do curso, no mínimo, porque senão a gente vai começar a falar de especializações muito cedo. Estamos discutindo Física para todos, aí a influência é em mim, é em outro. A questão é outra. Se nós conseguirmos compreender, concordar, que esta é a melhor forma, a de um e de outros, é uma forma das mais convenientes pra se ensinar e discutir Física, não tem a ver com a disciplina de Física Básica. Isso será assim em todas as disciplinas, seja em licenciatura, bacharelado, mestrado em doutoramento, em qualquer coisa. Não tem nada a ver uma coisa com a outra. Essas quatro são apenas uma primeira tentativa de introduzir uma discussão na área de ensino da Física, ou, em geral, de ciências. Como as ciências devem ser ensinadas, em primeiro grau, em segundo, no terceiro, na vida, com o aspecto central de que deve ser, me parece, para ser mais correto - claro que tem essa marcação de compreensão, de influências marxistas - no meu compreender, ela deve ser ensinada como parte da produção humana, portanto, datada, contextualizada num dado período histórico que a sociedade humana está vivendo. E isso vale pra qualquer curso, qualquer disciplina, qualquer coisa. Como tem certas dificuldades, porque têm outras compreensões, nós estamos fazendo um experimento acadêmico, didático, já há

doze anos nesse experimento, que foi produzir essas disciplinas específicas, com esses conteúdos no sentido de ver como esses alunos realmente reagem, se isso melhora a compreensão do processo social, da Física; ir conversando com os colegas todos, conversar com a comunidade, vê outras interpretações para que a gente fique permanentemente discutindo com objetivo último de ampliar, facilitar a compreensão do discurso científico, moderno, sobre o mundo. Você tem o objeto, o objeto é esse: facilitar a compreensão, em primeiro lugar, com os alunos formados, numa escola formal e, em segundo, numa divulgação científica para todos. Com uma perspectiva, com uma certa visão de que o conhecimento científico moderno, europeu, como já frisado, ele hoje chega as raias de ser construtor da própria realidade e, portanto, humanos não podem se deixar controlar, conduzir por conhecimento que estará sempre sendo controlado por outros humanos. É uma questão de poder, de controle. Então todas as pessoas devem ter conhecimentos científicos necessários, suficientes para decidir politicamente se pode ou não usar transgênico, se pode ou não botar hormônio para alimentar frango, fabricar frango em 45 dias. Isso é uma decisão social. Mas para as pessoas tomarem essa decisão social, elas precisam ter informações desse discurso que constrói esse objeto, que a gente vai comer agora no Natal. Estão cheios os supermercados. Ninguém nunca viu esse bicho em pé. Vai comer lá um chester, ninguém nunca viu um chester em pé. E a gente compra isso. É uma bomba de hormônio, de antibiótico. É preciso se discutir e começar a conversar. Você já viu algum chester em pé, na vida? Não, não vi. E você compra isso, rapaz? Dizem que é uma maravilha fazer Natal com chester. Vamos discutir isso? O que é que tem isso? Como isso foi feito? Então a responsabilidade do ensino das ciências é enorme. Cada vez maior, porque está influenciando todas as pessoas, elas estejam percebendo isso ou não. A nossa questão é ensinar os alunos, porque eles vão ter muito mais contato com cada um de nós, separadamente. Todo mundo está sendo influenciado. Será que ficar com o celular no ouvido tem problemas ou não tem problemas? Precisamos discutir isso… botar antena dentro de casa… essas coisas relevantes, o que significam? Vou deixar, não vou deixar. A sociedade inteira está recebendo esse *feedback* da sua produção e precisa controlar esse *feedback*. Então, é fundamental o ensino de ciências mesmo, cada vez mais, hoje em dia, e com esse espírito, de que as pessoas percebam que esses produtos, que o aparelho que a gente está usando, esse Sony daqui, precisamos saber o que tem ai dentro. Precisamos compreendê-lo. Ele está sendo utilizado aqui, por exemplo, para uma relação entre nós dois e eu não sei o que é ele. Não pode ser mediada por ele. Se for, precisamos discutir a mediação desse aparelho nessa nossa relação, aqui. E o ensino de Física, de Biologia, de Matemática, de tudo, deve servir para isso também, não só no especifico, no interno de cada um de seus corpos.

[JF] – Para finalizar. Como você avalia o desempenho do Curso de Física, Licenciatura, noturno, nos últimos 12 anos?

[AMN] – É uma outra questão que é extremamente relevante, porque, como a gente já estava discutindo, a gente já sabia, tinha uma certa expectativa de que os alunos que entrariam no curso noturno**,** eles viriam com histórias de vida um pouco diferentes daquelas dos alunos que entram ou entravam no curso diurno, por algumas questões… a relação de trabalho… professores já na rede…, portanto, com histórias distintas. Talvez com um pouco mais de idade, porque, como estava represado esse universo, na realidade isso aconteceu, as expectativas foram se cumprindo e, portanto, como eles trabalham no polo, inclusive longe, interior, municípios aqui da região metropolitana, ou vizinho, e, portanto, a quantidade de… o curso tem que ter o caráter presencial mais intenso que o curso diurno, tem coisas distintas na forma de você se relacionar com os alunos e, em primeiro momento, poder-se-ia, como esse aluno está trabalhando dois turnos, com essa dificuldade toda, talvez o desempenho dele fosse até pior do que o desempenho dos alunos do diurno. Muito pelo contrário. Tem um outro aspecto que está sendo realizado, que está se colocando, a própria idade, a necessidade, a

responsabilidade que está se colocando de fazer esse curso. Desse sacrifício de trabalhar o dia inteiro, ficar à noite de 18:30 até 22:30 horas é uma demonstração de que não é simplesmente um fluxo normal, terminar o segundo grau e entrar na universidade. Depois voltar pra poder fazer desejos, necessidades do mercado, milhares de coisa. Então os alunos têm conseguido até um desempenho bastante satisfatório, o que a gente pode até comprovar mais ou menos isto. Não é uma única medida, mas é um indicativo, um avaliador, pelo número de formandos, percentualmente. Conseguimos, naquela conversa inicial, um sucesso muito grande. Antigamente, as turmas, aqui, eram quatro, num semestre, quatro no outro. Agora você tem dezesseis, dezoito, em cada semestre, se formando. É sempre um bom o número deles, alunos da Licenciatura noturna. Então parece que o curso conseguiu cumprir algumas das ideias que a gente tinha, alguns desejos, eu acho que o curso é um sucesso.

[JF] – Muito bem, então encerrando a entrevista com o professor Arthur Matos Neto.

ANEXO 1.D

MARIA CRISTINA MARTINS PENIDO

(Entrevista revisada pela entrevistada)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Maria Cristina Martins Penido (MCMP)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 21/11/2012

[JF] - Professora Cristina, conte-nos um pouco da sua trajetória acadêmica.

[MCMP] – Bom, Zé, minha trajetória acadêmica você conhece um pouco, pelo menos superficialmente. Nós fomos colegas por varias ocasiões. Eu comecei em 71, ingressei na Universidade em 1971. Passei os dois primeiros anos tentando entender o que era a Universidade, mas eu não tinha consciência disso não. Mas eu vivia muito o movimento estudantil, vivia muito, e as disciplinas, que era bom, não me foi alertado sobre a sequência, o currículo, as atividades que eu iria desenvolver. E como eu gostava muito de Física, eu mais conversava pelos corredores, vivia a Universidade, do que propriamente estudar. Só depois de 72 é que eu comecei a encarar o nosso currículo, que é um currículo pesado… Bom, estudei bastante, mais do que eu pretendia mesmo, porque eu tinha grandes dificuldades, e obtive bastante ajuda aqui, tanto de professores quanto de colegas. Bom, depois da graduação… eu terminei a minha graduação em 75 e fui… comecei a dar aula, quer dizer, na verdade, eu comecei a dar aula desde 72, justamente nessa época que comecei a me centrar um pouco no curso de Física. Comecei a dar aula em escolas públicas, comecei pelo subúrbio, trabalhei em Periperi, depois vim trabalhar no Colégio Teresa de Lisieux. Trabalhei no Social. Enfim, dei uma passeada e terminei, depois da minha graduação, terminei parando aqui dentro no Instituto de Física, como colaboradora, naquele processo todo, bastante desgastante por sinal, mas que, enfim, levei… até que resolvi fazer o mestrado, e aí tentei fazer o mestrado na área de Cristalografia. Mas o problema que foi meio que estipulado pra mim, não me agradou, e aí eu descobri também que o problema de pesquisa é o estudante que tem que ter na sua víscera, no seu desejo, senão não vai dar boa coisa. E com isso eu terminei indo pra USP fazer mestrado em Ensino de Física. Aí fiquei lá de 84 a 86, e fiz o mestrado. Voltei, bom, nesse meio tempo nasceu o meu filho, uma serie de situações que envolvem e mescla a sua vida acadêmica, social e etc. Acho que isso é importante, mesmo pra o desenvolvimento. Bom, enfim, fiz o mestrado pra área de ensino, me apaixonei pela área de ensino e voltei com o propósito de doutorado imediatamente. Voltei e tive que dá um tempo aqui por causa dos trâmites burocráticos de entrada e saída da docência. E, enfim, voltei e fiz o doutorado. Terminei o doutorado em 95, já mesclando as duas áreas, ou seja, na primeira, eu queria discutir a relação entre o ensino e a pesquisa, que é uma coisa que me acompanha desde essa época até hoje, essa relação entre ensino e pesquisa, como ela se dá, pra que ela se dá, se ela é importante. E no doutorado, eu afunilei essa discussão, pegando uma das áreas que considerava uma área crítica, que é a Física Nuclear. Pelo próprio fundamento dela, que está na base da discussão sobre aceleradores, sobre toda essa modernidade. E fui discutir como

fazer então a divulgação científica de uma área como essa. Nessa discussão, no aprofundamento da minha tese de doutorado, nós vimos, eu e meu orientador, nós vimos a necessidade de trabalharmos a questão na graduação, ou seja, os nosso alunos de Física, eles sabem o que de Física Nuclear? E a gente chegou a conclusão de que não sabem de nada, porque o pouquinho que eles veem lá pelas Físicas III e IV, principalmente na IV e na Estrutura da Matéria, é muito pouco pra dar a ele a dimensão do que é a importância da Física Nuclear e, dentro da Física Nuclear, a importância da Física Contemporânea, da Mecânica Quântica, da Relatividade, enfim, e isso fez com que propuséssemos vários cursos, minicursos, pra trabalhar com professores e tal, e nesse momento eu me envolvo até o grugumilo, com a formação de professor. Voltando de lá, com essas ideias já efervescentes, eu tentei aqui trabalhar um pouco na divulgação científica, tive muita dificuldade, porque o Museu de Ciência e Tecnologia, que era ligado à UFBA, ele tinha sido desvinculado, tinha ido para o Governo do Estado. E a UNEB, que ganhou essa administração, aí fechou bem as portas, não me permitiu acesso. E aí eu acabei me desvinculando bastante da área de divulgação e me firmando mais na parte de educação de professores. Nesse momento, entra o Felipe Serpa com a disciplina de Metodologia e Prática de Ensino, que ele tinha dificuldade, tinha grandes ideias e não conseguia implementar, porque era ele sozinho na Faculdade de Educação para dar duas metodologias e, nesse momento, estava entrando também o curso noturno e ele teria que dar quatro metodologias. E aí nós fizemos uma parceria e começamos a trabalhar. E, junto com o Felipe, eu desenvolvi ideias sobre o curso e como preparar professor, porque uma das frases que mais me chocou foi quando o Felipe disse "nós não sabemos formar professores". E foi um choque pra mim, porque eu estava querendo justamente discutir isso. E isso foi uma certeza. E, a partir dessa afirmação dele, eu comecei a trabalhar os saberes necessários. Então, quais são os saberes para ser um professor? Por que nós não formamos? Por que o Instituto de Física não forma professor? E a partir daí começamos a olhar… a partir daí eu venho desenvolvendo muitos trabalhos nessa área, que aí daria para mais duas teses de doutorado, e eu não vou abrir aqui o leque porque senão, você não vai ter tempo pra…, mas é por aí, tá bom?

[JF] - Como você se recorda, em meados da década de 1990 o Curso de Física (diurno) passava por certo esvaziamento, o que acontecia não só com o curso de Física da UFBA, mas também com outros cursos de Física, no Brasil. Como você avalia a criação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, em 1998, período em que o próprio Curso de Física, diurno, passava por este processo de esvaziamento?

[MCMP] – É, eu acho que todo o Instituto de Física, ele já estava convicto da necessidade de ampliarmos os horizontes do Curso de Física, de Licenciatura, principalmente. E principalmente de um problema que nós enfrentamos até hoje, que é o bacharel… que é a pessoa que estuda, que gosta e que sabe Física… se você não se dá bem no bacharelado, aí você vira um licenciado, como se o licenciado fosse uma categoria abaixo. Não vou dizer em termos de hierarquia não, mas, até hoje, a gente observa que o bacharel, ou aquelas pessoas que estão no bacharelado, são vistas e se veem como aquele que é Físico, enquanto o licenciado é visto como um subproduto, ou seja, já que é muito difícil, já que eu não consigo atingir os níveis do bacharelado, então eu vou dar aula pra o ensino médio, porque dar aula para o ensino médio, eu só preciso saber um pouquinho da Física. Coisa que eu particularmente acho que está errado, tá errado. E é por isso que a gente não sabe formar Físico, porque mesmo os físicos bacharéis, eles não sabem Física, eles sabem resolver exercícios, eles sabem pegar uma lista de Estrutura da Matéria, de Mecânica Quântica, de Mecânica Clássica e resolver, e dar soluções e responder como está nos manuais. Mas entender o que eles estão fazendo, são raros. E muito ainda em função do seu interesse pessoal. Então, ensinar professores pelo interesse pessoal de cada um é complicado, na medida em que o professor sequer tem uma profissão reconhecida, regulamentada, que dê pra

ele um *status* razoável. Então, nesse sentido, eu acho que a chegada do curso noturno, ela foi extremamente bem sucedida e bem chegada, ainda que nós que vivenciamos, saibamos das dificuldades que foi para que a gente tirasse um currículo que fosse apropriado. E, nesse sentido, eu acho que esse apropriado que eu estou falando é porque cada vez que a gente propunha uma ementa, propunha um programa, havia sempre discordâncias de tantas partes. E cada um a seu momento, que se a gente não tivesse tido uma direção no sentido de "vamos fazer mesmo que não esteja o ideal", quer dizer, se a gente não tivesse feito isso, estaríamos até hoje como estamos, até hoje com dois currículos. É verdade que agora já estão fechando as bases, mas, mesmo essas bases, a gente vê que elas não estão sendo fechadas de uma maneira unívoca, que está todo mundo em harmonia. Não, tem um monte de insatisfações, tem um monte de questionamentos. E o meu questionamento continua sendo o mesmo daquela época, que é, não adianta eu pegar e construir dentro de vamos fazer uma Física, uma Mecânica, então vamos ver o que o professor precisa de Mecânica. Eu acho que a gente tem que fazer isso, mas tem que fazer também o inverso, que é pegar o conteúdo e vê o que dentro desse conteúdo o professor precisa afunilar mesmo, e o que o professor precisa ter uma visão do fenômeno, da globalidade. Por exemplo, a questão da Relatividade, eu não vejo mais sentido a gente ficar discutindo só Relatividade Restrita ou a Relatividade Geral de Einstein. Eu acho que é necessário que a gente estude Relatividade pegando Galileu, entendeu?. Pra dar ao estudante, ou aquele que está entrando, uma visão. E também não acho que é possível fazer o que a USP fez, por exemplo, que é separar a licenciatura do bacharelado. Eu acho que isso, como disse o Leite Lopes, só prejudica a ambos. Por que? Porque eu vejo uma necessidade de a gente modificar os nossos currículos tanto da licenciatura quanto do bacharelado. Esquecer as caixinhas que existiam e propor novas caixinhas, tá entendendo? Qual são essas caixinhas que eu tô falando? A programação, o conteúdo, o livro, o material didático, tudo isso, mesmo para a licenciatura e o bacharelado, é preciso ser revisto. Afinal de conta, se a ciência muda, e muda tanto, como é que o nosso currículo, ele permanece o mesmo a 800.000 anos? Eu estou colocando 800.000 anos, mas eu estou me referindo aqui à última mudança drástica que foi na década de 80. Aí tudo bem, temos um curso noturno que é um melhoramento fantástico para aquela visão de currículo, mas eu acho que, mesmo essa, ela carece de uma avaliação, porque, afinal de conta, já passaram mais de dez anos, da sua implementação.

[JF] - O currículo da Licenciatura noturna trazia algumas inovações importantes em relação ao currículo da Licenciatura diurna, entre elas a criação de quatro novas disciplinas, denominadas Física Básica I, II, III e IV, oferecidas paralelamente às tradicionais Físicas Gerais e Experimentais. Até onde sabemos, em nenhuma parte do Brasil havia um projeto de formação de licenciados igual a este da Licenciatura noturna da UFBA, contemplando quatro disciplinas iguais a estas. Como você avalia a criação e implantação dessas novas disciplinas?

[MCMP] – Olha Zé, eu acho que a criação das disciplinas, ela teve um papel fundamental, papel fundamental pra gente perceber que as nossas disciplinas, elas não contemplam, nem nunca contemplaram a parte experimental, nem a parte histórica e filosófica da ciência. Agora, com isso eu não estou dizendo que essas disciplinas sejam disciplinas… Hoje eu tenho uma visão diferente do que seja disciplina, do que seja o nosso currículo. Cada vez mais eu considero que a gente não pode estar disciplinando, estou colocando aí esse verbinho, meio doido, pra dizer o seguinte: quanto mais eu fragmento, mais eu perco a visão do todo, entendeu? Então, eu acho que o papel das disciplinas, ele é um papel fundamental, porque mostrou ou tenta mostrar, porque ainda sabemos que tem muita gente que não está convencida aqui dentro do Instituto de Física, e ela mostra, e isso a gente vê mais adiante, que ela mostra que têm outras visões que não aquela de responder exercício do livro, que tem outras questões que não seja aquela formulação matemática. Não que eu despreze a formulação matemática, afinal de contas eu vejo uma impossibilidade de tratar a ciência… se eu modelo ela, eu tenho que modelar com expressões matemáticas, porque senão daqui na Conchinchina a coisa muda.

Então, é preciso, como diz o Chevallard "guardar a vigilância epistemológica". E eu acho que essa vigilância epistemológica, eu acho que atualmente ela não é guardada, e a disciplina se propõe a isso, a guardar essa vigilância epistemológica e a guardar… eu não sei se você conhece o Chevallard, mas eu sugiro que você leia ele, porque ele é muito importante pra essa questão da vigilância epistemológica, que é você está atento pra que o conceito do fenômeno em discussão e a formulação, eles entrem numa ressonância. Numa ressonância, eu não diria tão longe, é numa confluência de tal forma que o estudante possa entender porque estamos modelando daquele jeito e não de outro, porque nós chegamos naquela formulação e não em outra. Porque nós não ficamos lá com as ideias de Galileu. Porque evoluímos com ela. Porque nós trouxemos, quer dizer, o que se acrescentou ao mundo de Galileu que fez com que nós tivéssemos uma nova formulação, portanto, uma nova modelagem, bom, enfim, é isso. Eu vejo essas disciplinas como extremamente importantes pra esse momento, pra gente perceber a necessidade disso. E eu gostaria de ver, a longo prazo, essa disciplina integrada à necessidade da disciplina, seja da licenciatura, seja do bacharelado, porque a gente tolhe, na hora que a gente não põe a experimentação… eu não estou falando desse laboratórios didáticos que a gente tem aí que são modelinhos, que o aluno não entende, faz, passa, e continua sem entender, e nem entende porque está sendo feito, a não ser pra provar que a teoria está certa. Coisas que eles não conseguem provar, então, eles acochambram. Então, não serve, pra eles não servem, pra gente não serve, e isso continua aí do mesmo jeito. Então, eu acho que a experimentação, e a experimentação é isso aí que o pessoal está fazendo mesmo nas Físicas I, II, III e IV, Física Básica. Que é você ir com um modelinho simples, buscando, tentando fazer o aluno pensar por que ele está vendo aquilo. Isso, pra mim, é que é experimentação e aí a discussão do modelo, a discussão do fenômeno, que antecede toda aquela,… agora, repare que fica fragmentada ainda. Porque a gente faz isso, ou depois que ele já fez aquela Estrutura, ou antes, logo antes, porque tem alunos que fazem antes e tem alunos que fazem depois e aí fica que nem Física II, que é uma disciplina que eu dei várias vezes e que eu tenho muita clareza, os meninos no início do semestre estão vendo tipo oscilações, e eles só vão fazer experimentos tipo oscilações na última unidade, quando aquilo ali não faz nenhum sentido mais pra ele, ou seja, o que ele faz lá de oscilações não tem nada a ver como que ele viu ali no início do semestre, entendeu? É preciso fazer o experimento na medida em que você esteja fazendo a discussão teórica, e isso eu acho que, a longo prazo, nós deveríamos caminhar para fazer com que a Física Básica fosse parte integrante da disciplina que discute aquele fenômeno, entendeu?

[JF] – Anteriormente era assim.

[MCMP] – Não, era assim não. Era proposto que fosse, mas nunca foi feito. Por que? Porque o nosso professorado não está preparado pra isso. Eu estou falando nosso professorado, os nosso pesquisadores, que foram preparados para serem pesquisadores e só sabem resolver exercício, é, só sabem resolver exercício, só sabem pegar o livro, destrinchar para os alunos, porque nem sempre fazem. Às vezes, eles só sabem dizer "olha, isso aqui é uma conta que vocês abram em casa", ou seja, será que ele mesmo sabe abrir aquela conta e, se ele sabe, o que significa abrir aquela conta? Muito dos nossos professores, dentro do Instituto de Física, não sabem fazer aquilo, por isso não fazem. E isso acaba levando a necessidade dessa disciplina nova que tem poucos professores que oferecem, e daqui a pouco vai ter menos ainda. Por que nós não somos infinitos, felizmente. Uma hora a gente vai fazer outra coisa, nem que seja fazer outra coisa, a exemplo do professor Olival, que tem dado uma ajuda fundamental, mas que ele tem outras coisas pra fazer na vida, não pode ficar só dando a mesma disciplina 100 anos. Cada um de nós tem tempo limitado para trabalhar, ou seja, precisaríamos objetivamente preparar os nossos colegas pra poder fazer isso, e aí, se vai ser o disciplinar ou não, não faz diferença.

[JF] – Se vai ser o disciplinar?

[MCMP] – É, o disciplinar no sentido de vai ter as Físicas Básicas I, II, III e IV ou se vai ter as Físicas Gerais Experimentais como era, entendeu? Não faria diferença, entendeu Zé? Desde que o professor estivesse imbuído da importância e da necessidade de se trabalhar essas duas partes. E talvez até voltarmos ao ensino médio, porque esses fundamentos que são dados na Física Básica, eles poderiam ser trabalhados no ensino médio. Por que não? E deixar a formalização pra aqui, entendeu?

[JF] – Como você sabe esse curso é um curso de formação de professores e no momento os professores têm que ser formados naquilo que eles vão ensinar. Se você imagina que o professor vai ensinar História e Filosofia da Ciência no ensino médio, você imagina também que ele vai aprender História e Filosofia da Ciência aqui na Universidade, em quais disciplinas ele aprenderia aqui?

[MCMP] – Aprenderia ou aprendem, porque se você me perguntar qual que ele aprende hoje eu diria…

[JF] – Não, você transferiu o problema para o ensino médio que lá ele deveria ter aprendido isso, mas alguém tem que ensinar, e esse alguém é o professor que tem que ser treinado aqui, e aqui ele aprenderia em qual disciplina, se você propõe que depois ele ensine lá?

[MCMP] – Pois é, eu diria que se nós… porque eu não queria ficar no se, entendeu? Eu queria ser mais propositiva mesmo. Eu quero dizer assim. Zé, hoje o nosso professor não tem onde aprender, a não ser nas Físicas Básicas. Ele não tem outra condição. Existe uma disciplina na Faculdade de Filosofia que se propõe a dar um pouco disso, mas é muito pouco, é quase nada do que ele precisa. Então, nesse sentido, eu diria que hoje só existem as Físicas Básicas. Bom, porque eu não quero ficar no discurso da hipótese, do que eu acho que é o ideal. Se você quiser saber o que eu acho que é o ideal, eu já mais ou menos teci as minhas ideias aqui, mas hoje eu considero que o único lugar que os professores têm pra aprender um pouco de experimentação e fundamentação conceitual é nos cursos de Física Básica I, II, III e IV.

[JF] - À luz de sua experiência como professora de Metodologia e Prática de Ensino, que papel as Físicas Básicas têm desempenhado na formação dos licenciados?

[MCMP] – Olha, eu acho que todos os professores que eu trabalho, ou estagiários, na verdade, todos os estagiários que vêm do curso noturno, eles têm essa sensibilidade mais aguçada. Eu sinto nos professores que vêm, quer dizer, nos estagiários que vêm do noturno, uma certa fragilidade. Às vezes, é uma fragilidade no sentido de que foi pouco tempo, entendeu, Zé? Ou seja, a gente percebe que ele tem o discurso de que precisa estudar, de que precisa, de certa forma, ele sabe que o buraco é mais embaixo, ou seja, que ele precisa estudar muito para entender tudo aquilo, mas ele está sensibilizado, e está com interesse em desenvolver principalmente um pouco mais do que é a história, ler, estudar, mas só que eu acho que tem um problema que eles enfrentam que é como fazer isso, entendeu? Porque os cursos de Física I, II, III e IV eles não são obrigatórios, eles deveriam ser.

[JF] – Quais que não são?

[MCMP] – Física Básica I, II, III e IV.

[JF] – As Físicas Básicas I e II são obrigatórias.

[MCMP] – Não, não, agora são, é.

[JF] – Sempre foram.

[MCMP] – Não, não, então são as Físicas III e IV que não são obrigatórias.

[JF] – Isso.

[MCMP] – Então, a não obrigatoriedade dessas duas partes, quer dizer, nas duas primeiras, eles são alertados pra… porque é muito pouco tempo, são 45 horas de um material que precisaríamos, nós sabemos, pra dar uma base, uma sustância boa, precisaríamos bem mais que isso. Eu diria que um curso de 90 horas seria melhor. Eu estou falando 45, 90 porque eu estou pensando na legislação antiga, ta! Hoje eu sei que são 17 horas e tem toda uma modificação.

[JF] – Sessenta e oito e cento e duas horas.

[MCMP] – Cento e duas, isso, exatamente. Eu acho que um curso de 102 horas poderia melhorar essa coisa de eles terem mais subsídios pra se preparar, porque a gente sabe que curso universitário nenhum forma um profissional. Ele põe um profissional para começar sua carreira, ou seja, ele arruma a casa para o cara começar, mas, se ele não for um cara que vai estudar, que vai continuar se atualizando, por isso que eu acho que os cursos de educação continuada hoje eles são uma necessidade premente, exatamente para suprir essas falhas que nós tivemos na nossa formação. E eu estou falando nossa, porque eu mesmo percebo até hoje, depois de 40 anos trabalhando e dando aula e estudando Física, eu ainda não sei muita coisa, eu ainda preciso estudar, o que pra mim não é desagradável e não é nenhuma vergonha, ao contrário, me mostra que eu estou evoluindo, aprendendo.

[JF] – Ainda com base em seus conhecimentos teóricos, como você ver a abordagem utilizada nos cursos de Física Básica III e Física Básica IV, na qual se procura articular experiências demonstrativas (não só qualitativas) com História da Ciência (História da Física) e recursos de matemática nas discussões dos conceitos físicos?

[MCMP] – É, eu acho que é um prolongamento do que eu estava falando. Acho também que os estudantes que passam… como elas duas não são obrigatórias, aqueles que passam por essas eles vêm com uma bagagem melhor. Por que? Porque eles tiveram no início, aquele início foi ao longo das Físicas Básicas III e IV, eles vão sendo refletidos e aí os estudantes refletem e começam a buscar melhor a sua qualificação.

[JF] – Você percebe isso, não?

[MCMP] – Eu percebo. É facilmente percebido.

[JF] – Na sala de aula?

[MCMP] – Na sala de aula. Na minha sala de aula, na sala de Metodologia. Coisas que são diferentes, por exemplo - ai são casos particulares - no que você vê no estágio, na aula de estágio. Por que? Porque na aula de estágio, eu não posso refletir tudo o que vem da graduação, mas sim, tudo que sobra dessa graduação, e aí a complexidade dessa discussão é muito maior, porque ela se localiza em pessoas, na vivência de cada um, como cada um assimilou. Eu não posso, por exemplo, pelo que eu vejo lá, dizer que isto foi uma falha em tal disciplina, não. É uma falha global, aquele menino apresenta, mas outro não apresenta aquela, apresenta outra, entendeu?

[JF] – Perfeito.

[JF] – Que papel a História e Filosofia da Ciência podem desempenhar na formação dos futuros licenciados?

[MCMP] – Olha, pessoalmente, eu acho que é indiscutível. E hoje eu diria que já dentro da literatura, já é senso comum a importância e a necessidade de se trabalhar a História e a Filosofia da Ciência no ensino de Física, de Química, de Biologia, de qualquer área científica.

[JF] – De nível médio ou superior?

[MCMP] – Eu diria que nos dois. E aí é essa história que o Chevallard chama de vigilância epistemológica. Por que? Porque eu não posso trabalhar um conceito de aceleração, por

exemplo, se eu não me reportar a, que diabo de conceito é esse. De onde ele vem? Como ele foi formulado? Como é que eu trabalho com ele? Entendeu? Não adianta eu chegar no ensino médio e mostrar uma equaçãozinha matemática e tal, tal e tal, se eu não discutir, por exemplo, o significado, o que é velocidade. Por exemplo, eu tenho uma crítica severa ao que nós fazemos como nosso ensino médio a bilhões de anos e que nós aprendemos assim, que é você dizer que tem uma velocidade escalar e uma velocidade que é vetorial. Você já viu isso nos livros didáticos? Você vê toda hora. Os livros que eu mais prezo, tipo Beatriz Alvarenga, tipo Alberto Gaspar, que eu acho que tem um conceito mais bem arrumado, eles pecam nisso, eles separam. Eles distinguem, claro que com a ideia de pegar o mais concreto pra ir pra o mais abstrato, a ideia é essa, a ideia é boa, mas na hora no "vá da valsa", como a gente diz, como diz o paulista, ou seja, no cotidiano o que acontece é que fica estigmatizado, e os estudantes, é notório, a gente vê isso em sala de aula com os nossos estagiários, como se a velocidade escalar fosse uma coisa e a velocidade vetorial fosse outra, entendeu? Como se fossem dois fenômenos distintos, entendeu? Pelo amor de Deus, então o que é grandeza velocidade? Eles não sabem o que é grandeza velocidade, eles sabem o que é velocidade escalar, eles dão e sabem quando você vai tratar com vetor, que aí é muito mais complicado e que o ensino médio já não precisa muito. Como não precisa? É por isso que o Chevallard coloca a questão da vigilância epistemologica, como é que uma pessoa vai entender a questão do que é uma velocidade se desde o início você não disse a ela que a velocidade é um vetor? Que ela precisa de direção, sentido, módulo. Se você não disser isso pra ela, ela não vai saber o que é velocidade. Ela vai ficar fazendo uma discussão de como calcular uma velocidade. "Ah se eu tenho o espaço e eu tenho o tempo, eu calculo a velocidade". Que diabo, pra que? Pra que serve isso? Não serve pra nada. Então a gente tem aí na nossa literatura, principalmente na área de pesquisa em ensino de Física, demonstrado a importância e a necessidade de você trabalhar com a História da Filosofia desde a mais tenra idade. Claro que cada um no seu grau, na sua dificuldade, no seu nível, e aí depende também de uma teoria de aprendizagem. Dependendo da teoria de aprendizagem que você use, você pode começar quando a criança está no ventre materno, ou pode começar quando ela estiver com 15 anos, 12 anos. Cada um define, dependendo da teoria de aprendizagem, que momento você trabalha mais uma coisa do que outra. E aí eu não vou entrar também nesse detalhe, mas eu acho que o grande problema é o problema que você se referiu anteriormente, que eu tentei responder anteriormente. O problema é que ninguém leva porque ninguém sabe. Quem de nós aqui dentro do Instituto de Física sabe sobre História e Filosofia da Ciência? A gente conta nos dedos, se é que dá cinco.

[JF] – Que impacto as Físicas Básicas, de modo geral, e as Física Básicas III e IV, em particular, produzem na formação dos alunos de Licenciatura? Você pode citar exemplos?

[MCMP] – Olha Zé, eu poderia citar… eu acho que tem impacto. Eu poderia citar um exemplo, um a favor e um contra, pra dar uma medida do que é que eu estou dizendo. Um exemplo a favor é que um estudante que vai para o estagio, no planejamento das aulas, ele procura colocar essas discussões que nós damos na aula antes. A gente percebe que isso ele não está tirando da cachola, ele tá refletindo o que ele viu. Além disso, ele diz explicitamente que ele viu dessa forma no curso dele e ele quer reproduzir, ou seja, ele, tipo assim, eu quero aprender com aquilo que eu fiz. Por que? Porque eu acho, aí é uma posição pessoal, eu acho que na hora que a gente reproduz, não é imitar igual a papagaio não, mas reproduz, refaz aquela experiência, constrói aquela experiência que ele vivenciou, ele constrói com os seus aparatos, mas ele vai além, o que o Vigotski chamaria de… ele explora a zona de desenvolvimento proximal e aí ele cresce. Então eu vejo isso como uma coisa extremamente salutar. E eu daria também um exemplo pra gente não pensar que tudo são flores, não é? Eu daria um exemplo de uma situação em que eu vejo que ela não é tão boa assim, ao contrário. Como ele tem pouco tempo, ele não sabe como fazer, ele não sabe como refletir aquilo, mas ele quer fazer aquilo de qualquer jeito, aí ele

termina usando uma história linearizada, dizendo quem foi Galileu, dizendo quem foi Newton, quem foi Einstein, é, dando datas, coisas que estão nos livros didáticos, ou seja, ele acaba reproduzindo o que está no livro didático. E isso eu diria que é um problema, porque os estudantes lá do ensino médio quando veem aquela coisa formatada desse jeito, eles se ressentem e aí eles não querem. Pra que ele quer saber quando foi que nasceu Newton, ou se Newton trabalhou sozinho, ou o que ele viu quando olhou pelo telescópio? Pra ele, é preciso que aquilo tenha interesse na prática. E o estudante, quando ele viu, vou dizer assim pra vê se me faço entender, ele ouviu o galo cantar mas não sabe onde, então ele vai pra sala de aula e tenta reproduzir o que está no livro didático**,** como se fosse aquilo que a disciplina tivesse deixado pra ele, coisa que a gente sabe que não foi, entendeu? Ou seja, na verdade, ele termina passando, tentando introduzir o que ele acha que é importante, mas ele não sabe como fazer isso, então ele quer fazer isso pegando a história mais linear "olha nasceu tanto, morreu tanto, e o feito mais importante dele foi esse". Acabou!… Entendeu?

[JF] – Considerando que os alunos da Licenciatura diurna geralmente não cursam as Físicas Básicas, você é capaz de identificar diferenças na formação dos alunos da licenciatura noturna e diurna?

[MCMP] – Então, eu já falei um pouco sobre isso, mas vou reforçar dizendo que sim, é uma diferença e eles já sentem, eles já sabem e eles reclamam. Os alunos de Licenciatura, principalmente os mais interessados na Licenciatura, eles reclamam que não viram, que no curso deles não tem nada que use, alerte sobre isso, não sabem onde estudar, não sabem onde ler isso pra se informar, eles se ressentem muito, muito mesmo, Agora, eu tenho que reconhecer também que esses dois públicos ainda estão separados por duas coisas: uma é o fato de que o pessoal que vai pra o noturno, uma grande maioria trabalha durante o dia, e os meninos do diurno eles trabalham em horários diversos. E eu estou dizendo isso, porque eu acho que tem uma lógica que não é muito… no início, quando nós abrimos o curso noturno, era patente a evasão. Que você mesmo se referiu aí no começo, de que precisávamos de alguma coisa, porque a evasão era grande demais e a demanda era uma necessidade de um estudo. Mas isso era, com o tempo, com o passar do tempo, essa demanda, ela foi sendo equilibrada de tal forma que hoje tem muita gente que faz o curso noturno, porque é o único curso noturno, entendeu? Não porque ele goste de Física, não porque ele queira ser professor de Física. Na verdade, ele quer mesmo é ganhar um diploma pra poder continuar na Petrobrás, na Braskem… Onde é que eles trabalham muito meu Deus? Braskem, é na ANVISA, é de bebida, na AmBev, muitos desses meninos me declararam pessoalmente e queriam que eu dispensasse do estágio, porque jamais eles iriam dar aula.

[JF] – Do diurno ou do noturno?

[MCMP] – Do noturno, tá? Do noturno. Do diurno em geral ele dá aula, em geral ele é professor de cursinho, ele é professor de escolas particulares, não aqueles professores mais antigos, porque esse está no noturno, mas esses são monitores, estagiários e REDA da vida, entendeu? Então, o menino do diurno, eles têm, inclusive financeiramente, uma carência maior do que a do noturno. Por que? Porque o noturno, como trabalha na Petrobrás, como trabalha no Banco, eles têm uma renda que é fixa, pode não ser muito, mas é fixa, enquanto que os do diurno, eles ficam de bico em bico, entendeu? É um REDA daqui, é uma bolsa dali… e ficam ganhando uns trocadinhos para sobreviver. Tanto é que hoje, com o evento do PIBID, que eu estou coordenando, você sabe disso, vejo que os meninos do diurno, eles precisam arranjar um emprego que dê margem a ele estudar naquele turno, entendeu? E que eles trabalhem a noite, de dia, na hora em que não está tendo aula. Eles correm daqui, correm dali, entendeu? Então, a situação é bastante complicada, porque todos os nossos estudantes seja ele do diurno, seja ele do noturno, eles precisam de uma subsistência, não são filhinhos de papai que vêm fazer Física, claro que tem um ou outro esporadicamente, mas não são, não são pessoas que têm uma renda

fixa boa, eles têm que trabalhar para se sustentar, e isso é no diurno e no noturno. Agora do noturno eu diria isso, no noturno eles tem uma renda fixa e, com isso, eles têm um esforço monumental. Por que? Porque eles trabalham pesado o dia inteiro e têm que vir pra cá assistir aula. Mas, nesse sentido, eu acho que o do curso noturno, ele tem prejuízo pessoal, Por que? Porque eles não vivenciam a Universidade como um espaço de saber, eles vivenciam a Universidade como local de receber informação, entendeu? E isso é um prejuízo, ou seja, a Universidade ela não consegue funcionar a noite, como ela funciona de dia, encontrar professor, conversar com professor, encontrar com colega, ir à biblioteca. Essa vivência que a gente de certa forma menospreza, mas ela é extremamente rica e é ela que dá a universalidade do saber, entendeu? Por isso que eu sempre fui, e vou ser sempre idealmente, de que tenhamos um único currículo, contemplando toda essa parte de História, Filosofia, experimentação, teoria, e que esses cursos sejam oferecidos de manhã, a tarde e a noite e que o aluno possa cursar da maneira que bem aprouver. Agora, claro, pra isso a mudança é monumental, eu reconheço, porque a gente tem que, por exemplo, quadruplicar o número de professores que a gente tem e eu nem sei se a gente tem quadro para fazer essa quadruplicação. Por isso que tem que ser a longo prazo. Mas é claro que, idealmente, é uma coisa que eu gosto de pensar, eu gosto de ter uma utopia, eu acho que quem não tem uma utopia tá fadado a um imediatismo, faz por que faz, eu gosto de estar sempre tentando chegar lá.

[JF] – Como você avalia o novo currículo de Licenciatura em Física, unificado para os cursos diurno e noturno, a partir de 2013?

[MCMP] – Você me pegou pelo pé, Zé. Essa eu não esperava. Francamente eu pensei que você iria me salvar dessa. Olha Zé, eu acho que é um avanço. Em que sentido? Um avanço no sentido de que não tem condição de ficarmos com dois colegiados dentro do Instituto de Física.

[JF] – Agora só tem um.

[MCMP] – Por isso. Porque já está juntando.

[JF] – Não, já foi juntado, o colegiado é único agora.

[MCMP] – É isso.

[JF] – O curso ainda vai ser unificado.

[MCMP] – É isso foi unificado um pra unificar o outro.

[JF] – Ah sim!

[MCMP] – Então, o colegiado é o de menos, a parte burocrática é o de menos, eu acho que essa junção que eu estou me referindo, é a junção da parte do currículo mesmo. Agora, eu tenho várias críticas, vários senões. Pra não pegar pontualmente cada coisa, eu vou lhe dizer que de uma maneira geral, a tentativa é boa, mas nós continuamos a olhar pra dentro das caixinhas. O que eu quero dizer? Nós tentamos ainda não ver qual é o perfil que nós queremos do licenciado, do bacharel, pra a partir desse perfil delinear esse perfil de tal forma que eu possa ver quais são os saberes necessários para cada forma daquela e a partir disso formular até mesmo disciplinas. Por que que eu preciso no século XXI continuar a ter Mecânica I? Ou Estrutura da Matéria I e II? Por que eu não posso, por exemplo, separar mesmo ... conteúdos, ou juntar conteúdos. Por que Física II tem que continuar sendo Ótica, Ondas, Termodinâmica, Fluídos. O que está faltando, Zé? Ótica, Oscilações, Ótica.

[JF] – Não, Ondas.

[MCMP] – Oscilações e Ondas, Fluídos e Termodinâmicas, por que? Você vê que ... qual é a explicação para a gente ter essas quatro coisas juntas dentro de uma matéria? Por que a gente tem que pensar ... por que pra gente formar professor, ou formar bacharel, tem que ser dentro

daquelas malditas caixinhas, que vêm do século passado? Por que a gente não pode criar um grupo de professores com a incumbência de pensar isso que eu estou falando, como é que eu faço, que perfil de profissional eu quero e, com esse perfil, como é que eu vou colocar pra eles o conteúdo, entendeu Zé? Essa é uma briga que eu tenho dentro do Instituto. Resultado, a gente continua com as mesmas caixinhas, ou melhor, a gente até aumenta o número de caixinhas ou diminui o número de caixinhas, mas o conteúdo continua a mesma coisa, ou seja, a gente vai continuar dando Física II, usando o Nussenzveig pra Física e o Halliday para os engenheiros. Meu Deus do céu! A gente não vai mudar isso? Eu acho que a gente precisa mudar, eu acho que a gente precisa repensar. Nessas… e se você me disser, e você tem as respostas pra tudo isso? Não, não tenho e nem me sinto acima de qualquer categoria pra dizer o quê que deve o quê que não deve, mas eu acho que a gente tem que pensar sobre e pegar especialistas pra discutir e pensar sobre. Com essa perspectiva, ou seja, eu não posso pegar apenas um profissional de Teoria de Campos pra pensar na parte de Campo entendeu? Eu tenho que ter um grupo que tenha alguém mais envolvido com a História e a Filosofia da Ciência, um cara mais envolvido com a parte de bacharelado, da teoria, entendeu? Um experimental para que a gente juntos formule um conteúdo programático que seja interessante pra aquele profissional que a gente quer formar.

[JF] – Essa questão aqui então você já tinha respondido. De que forma esta unificação vai beneficiar os alunos?

[MCMP] – Pois é cara, eu acho que a unificação vai beneficiar, por exemplo, na medida em que as disciplinas vão aparecer no diurno também.

[JF] – Quais?

[MCMP] – As Físicas Básicas. Elas vão aparecer no diurno também e isso vai beneficiar, ou seja, pelo menos se eles tiverem que reclamar, eles vão ter de reclamar univocamente. Eles não vão reclamar cada um de sua parte, entendeu? Então, nesse sentido, eu acho que é um avanço. Agora que por outro lado eu acho que ainda é pouco o que está no currículo. Como é que a gente vai fazer pra melhorar esse currículo? Posteriormente, uma vez que ele já foi aprovado, eu acho que é mais uma batalha que a gente vai ter que enfrentar.

[JF] - Que alterações você propõe nos cursos de Físicas Básicas, de modo geral, e das Físicas Básicas III e IV, em particular, visando melhorar o desempenho dos alunos nas disciplinas Metodologia e Prática do Ensino I e II?

[MCMP] – Ah Zé, aí é uma sensação, tá? A sensação que eu tenho é: faltam horas como eu já coloquei. Acho que cada uma dessas disciplinas deveria ter um tempo maior pra trabalhar. Eu acho que faltam horas. Eu diria que… eu não sei como é que anda a segunda Física, a Física II. Eu sei que a Física I, ela tem um certo encaminhamento, mas carecendo também, porque, como eu lhe disse, nós somos finitos… Quando é uma pessoa que dá, ainda sai legal, quando não é essa pessoa, quando é outra, os alunos reclamam disso, reclamam. Então é visível, é notório isso. Então, eu acho que isso é preciso pensar em melhorar, ou seja, a gente precisaria conversar. Com a Congregação, eu acho que agora é um órgão que, para que a congregação leve pra os departamentos a ideia de que os professores precisam olhar pra literatura e vê a importância desse trabalho, não só nas Físicas Básicas, que eu acho que é aí interessante. Que mais pessoas façam a Física Básica. Como também em cada uma das disciplinas, porque eu acho que eu considero a História da Filosofia da Ciência ela é necessária para a aprendizagem correta dos conceitos, eu tô dizendo isso não só para os cursos de graduação, como também de pós. Quando é que os meninos vão aprender isso? Nunca. Eu tô pensando no bacharel também, porque eu acho que não é só o licenciado que tem essa deficiência. Essa deficiência, se ela fosse despertada no início, quando nós temos um curso mais ou menos unificado, daria para o bacharel ir também buscar também esses conceitos. Mas eu acho que o grande mal do século

passado foi discutir a ciência como se ela fosse problemas para serem resolvidos, problema no sentido de exercícios, porque problema, problematizar as questões, é necessário e é disso que vive a ciência. Problematizando como é que a luz chega até a gente… Não tô falando dessa problematização. Eu tô falando da necessidade de nós diminuirmos essa importância que é dada ao exercício, ao exercício em Física, ou seja, é claro que pra eu ter uma facilidade, pra trabalhar com equações matemáticas, eu preciso exercitar no sentido de fazer exercício mesmo. Mas eu tô falando de diminuirmos essa intensidade para aumentarmos a outra parte que é a conceitual, que é a experimental, porque a experimental eu não diria que… porque também tem uma síndrome… que tudo é o que o fenômeno está apresentando, e acho que não é bem assim. Acho que o método científico já mostrou que ele sozinho é muito positivista. A gente tem que usar o método científico sim, mas também a gente tem que usar o jogo pra saber que a ciência, ela não é estática, ela não é exata. Aliás, foi uma coisa que eu fiquei fascinada, é que nesse congresso aquele moço, como é? Esqueci o nome dele, o Prêmio Nobel, na palestra dele, ele disse: "Bom, isso aqui eu não tenho certeza, não sei se é bem assim, mas é assim está parecendo"… Oh! Que maravilha! É um cara que ganhou um Prêmio Nobel e que não tá dizendo que é assim porque, sabe, ainda não sabe bem, as coisas estão parecendo desse jeito, compra a gente, as coisas, o mundo científico, ele é o que nós modelamos e que pra gente esse modelo agora é o que dando conta, não temos nenhuma garantia de que amanhã o Sol vai nascer. Ok!

[JF] - Na sua opinião a disciplina Física Básica IV deve ser obrigatória ou optativa para o licenciado?

[MCMP] – Obrigatória.

[JF] – E pra o bacharel?

[MCMP] – também, III e IV.

[JF] - Que avaliação você faz do desempenho do curso noturno de Licenciatura em Física, nos últimos 12 anos?

[MCMP] – Que avaliação, vixe Zé, É muita coisa, não é? Foi como eu lhe disse. Isso está permeando toda a minha conversa aqui. Eu acho que foi fundamental, o aparecimento… o desenvolvimento dela… eu acho que temos várias críticas, algumas eu pincelei aqui. Outras foram devidas à necessidade de ser assim mesmo, pra que a gente possa aprender e crescer com elas. Eu acho que… bom, enfim, eu acho que o saldo é positivo, é positivo. Eu acho que ele só fez a gente crescer e eu acho que a gente só possa aprofundar isso para que a gente só tenha a crescer de uma maneira a mudar algumas coisas que não conseguimos no passado, tá bom?

[JF] – Tá ótimo.

[MCMP] – Ai, eu falei pra caramba!

[JF] – Então, encerrando a entrevista com a professora Maria Cristina.

CARTA DE CESSÃO

Salvador, 8 de janeiro de 2013.

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, Maria Cristina Martins Penido, casada, documento de identidade, 790108-90 SSP/BA, declaro para os devidos fins permitir que a minha entrevista gravada em 21 de novembro de 2012 seja utilizada, de forma integral ou parcial, pelo Sr. José Fernando Moura Rocha, para fins acadêmicos, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Cristina Penido

ANEXO 1.E

DANIEL DE SENTO SÉ

Aluno de Física Básica III (2009.1) e de Física Básica IV (2008.2)

(Entrevista não revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Daniel de Sento Sé (DSS)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 29/11/2012

[JF] – Conte-nos um pouco da sua trajetória de vida.

[DSS] – Bom, é… eu comecei… na verdade, assim… Eu sempre fui aluno na época de escola (vou me referir à carreira estudantil, que a gente não deixa de ser estudante nunca), então, na época, enquanto estudante, ainda no ensino médio, eu sempre gostei de Física. Gostava de Matemática, de Química e, de repente, resolvi encaminhar meus estudos acadêmicos pela área de exatas. Mas eu passei a morar no Rio. Eu fui morar no Rio de Janeiro no meu terceiro ano do ensino médio e, nesse momento, eu fiquei meio confuso e acabei fazendo um curso que não tinha muito a ver com a minha área, a área que eu atuo hoje, eu fiz jornalismo, fiz dois anos, isso foi bom, meio fora de contexto, mas foi bom, porque me ajudou a ter algumas desenvolturas que eu não tinha, eu era muito mais tímido e aí, depois disso, quando eu entrei na parte de estágio profissional mesmo, eu resolvi que aquilo não era o que eu queria. Eu falei, vou fazer o que eu quero, que é dar aula. E aí eu fiquei na dúvida se eu fazia Física ou Matemática. Mas eu gostei muito de Física, que é uma disciplina muito curiosa. Tal curiosidade me instigava. Eu sempre fui muito curioso e aí resolvi fazer Física, e então fiz o curso de Física aqui na Universidade Federal da Bahia, ingressei no ano de 2004, e aí a gente começou a trabalhar, quase que em paralelo, comecei a dar aula e fui me encantando cada vez mais pelas disciplinas, pelas discussões que eram provocadas nesse contexto e aí encaminhei até terminar o curso. No ano de 2011.1, finalizei o curso.

[JF] – Perfeito. Você é baiano, não?

[DSS] – Sim, sou baiano, nasci aqui.

[JF] – A sua escola no ensino médio era pública ou particular?

[DSS] – Particular. Eu estudei a vida inteira no Instituto Social da Bahia, desde a quinta serie, na verdade, até o terceiro ano. No terceiro ano que eu mudei, fui morar no Rio, como eu falei, e terminei lá também em escola particular.

[JF] – Na sua escola havia laboratórios didáticos?

[DSS] – Havia. Havia laboratório de Física, de Química e de Biologia. Mas, eu não posso ter certeza, mas com grande chance de acertar, é raro as escolas hoje terem laboratórios que possibilitem a gente interagir e tal, até porque era laboratório muito mais expositivo do que

participativo; do que, de fato, o laboratório de o aluno ir lá e construir. Era muito mais de apresentação.

[JF] – Mas funcionava?

[DSS] – Funcionava.

[JF] – O professor de Física era licenciado?

[DSS] – Os professores de Física que eu tive, eu consigo me lembrar de três professores e, desses três, eu tenho segurança de que dois eram, um eu acho que era, se não era licenciado em Física era… talvez tivesse feito alguma graduação em Engenharia ou alguma coisa assim.

[JF] – Você já disse em que ano ingressou que foi em 2004 e o ano que se formou que foi 2011.1. Você está ensinando atualmente em alguma escola?

[DSS] – Estou. Estou ensinando.

[JF] - Qual a sua expectativa como estudante ao ingressar no curso de Licenciatura em Física?

[DSS] – A minha expectativa foi de fato passar a entender a matéria na sua essência e criar meios de discutir essa disciplina, que, de certa forma, cria antipatia em alguns lá no ensino médio, de forma, entre aspas, mais sedutora. De forma a criar uma curiosidade, a instigar, então, assim… a minha perspectiva foi essa.

[JF] – Perfeito.

[JF] - O curso noturno de Licenciatura em Física atendeu às suas expectativas, como estudante?

[DSS] – Na maior parte do curso, sim.

[JF] - O curso noturno de Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais Experimentais, denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV. Entre outras características, estas disciplinas foram propostas com objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado dos assuntos. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em Física?

[DSS] – Sem medo de errar, fundamentais. Não seria o mesmo professor que eu sou hoje, se eu não tivesse passado por essas disciplinas.

[JF] – Qual a importância delas na sua formação acadêmica?

[DSS] – A curiosidade, ser instigado no aluno os pontos de discussão a serem levantados, a contextualização histórica, sair do tradicionalismo físico e matemático, que em geral as Físicas Gerais e Experimentais abordam. Então tem a matemática, tem, mas aborda de uma forma como o senhor mesmo falou, professor, de forma mais fenomenológica, histórica e contextualizada, e isso, com certeza absoluta, dá um respaldo grande a qualquer estudante e futuro profissional, porque a gente cria um vínculo, se situa no momento histórico da construção social, da cultura, entende a Física enquanto cultura. E todo esse processo que a gente passa a discutir e entender durante essas disciplinas, forma um profissional com uma bagagem maior, eu acredito. Então a gente não vai pra aula para simplesmente discutir fórmula, a gente vai pra discutir história, pra discutir fenômeno, pra discutir o lado humano da ciência, porque é o que de fato também interessa. A parte matemática é importante, mas não é só aquilo, se fosse pra discutir só fórmulas, a gente fazia um curso de matemática.

[JF] – Você fez as quatro físicas ou fez três?

[DSS] – Eu fiz três,

[JF] – Físicas Básicas.

[DSS] – É eu fiz três, porque a Física Básica II, eu não fiz completa. Na verdade, por impossibilidade de trabalho, eu não pude completar e, como eu só tinha feito a Física Geral Experimental, pela manhã, eu acabei conseguindo uma junção de carga horária e eliminei a disciplina. Então, a II, eu fiz até metade do curso, mas eu fiz a I, a III e a IV.

[JF] – Então você fez a Física Básica I, Física Básica III e Física Básica IV? Você não fez Física Básica II?

[DSS] – Foi, eu me matriculei, mas fiz uma parte do curso, não conclui.

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica III. Como você avalia a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina, simultaneamente história, fenomenológica, matemática e conceitual?.

[DSS] – Avalio como excelente. O professor trabalhou de forma extremamente interessante, competente. relevante pra trabalhar conceitos e conteúdos associados à Física III (Geral e Experimental, e Básica), dentro desse contexto filosófico, fenomenológico e histórico, pra dar esse respaldo, esse arcabouço de conteúdos.

[JF] – Que aspectos lhe chamaram mais atenção?

[DSS] – Na Física Básica III?

[JF] – Sim.

[DSS] – Na verdade, desde que eu fiz a Física Básica IV, que eu fiz antes da III, a parte histórica sempre me despertou curiosidade muito intensa, então, assim… a contextualização histórica com os experimentos que os cientistas da época, situados aí nesse contexto, estavam trabalhando e os experimentos que a gente trabalhou em sala de aula para fazer verificações, levando as dificuldades de todas as relações experimentais.

[JF] - E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III, que assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertou ou despertaram mais interesse?

[DSS] – Bom, eu particularmente gosto de toda a Física, mas se você me perguntar, eleja um conteúdo, ou uma gama de conteúdos que lhe despertou ou despertaram mais interesse, a parte situada naquele momento em que a gente começou a discutir corrente elétrica, discutir a relação de diferença de potencial elétrico, com a questão da resistência ser proporcional ou inversamente proporcional, depende do que trabalhar, então isso incitou e criou uma bagagem e solucionou uma duvida que eventualmente eu tinha e muitos tinham, que é um caso delicado.

[JF] - Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica IV. Como você avalia a abordagem utilizada, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina Física Básica IV?

[DSS] – Se me permitir, excelente. Acho que foi a melhor das Físicas Básicas que fiz. Todas foram importantes, fundamentais, mas a Física Básica IV, por se tratar de problemas de natureza curiosa, que discutem questões da natureza da luz, a discussão dos fenômenos óticos e ondulatórios, eu acho que foi excelente, não poderia ser melhor.

[JF] – Talvez você já tenha respondido esta. Que aspectos lhe chamaram mais atenção?

[DSS] – É… acho que dentro da fala da Física Básica III, acho que contempla… a questão da discussão histórica, da discussão filosófica, fenomenológica, experimental, porque é fundamental você colocar a mão na massa e o laboratório, mesmo com todas as dificuldades

que a gente entende que a Universidade Federal tem, conseguiu ser essencial na formação desse conteúdo para os estudantes que fizeram Física Básica IV, porque visualizar fenômenos ópticos às vezes é mais complicado do que visualizar outros tipos de fenômenos. Então eu acho que, nesse aspecto, é o que eu disse na Física Básica III, com reforço.

[JF] - E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica IV, que assunto, ou quais assuntos de Física Básica IV lhe despertou ou despertaram mais interesse?

[DSS] – A natureza da luz, discutir a natureza da luz.

[JF] – Você considera que esta disciplina Física Básica IV está cumprindo a função para a qual foi criada?

[DSS] – Acho que sim. Acho não, tenho certeza.

[JF] - Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e Física Básica IV, são optativas para os alunos de licenciatura.. O que o levou a se matricular nestas disciplinas?

[DSS] – Bom, a primeira disciplina que eu fiz foi mesmo em cumprir a carga horária, em caráter de cumprir carga horária optativa e pela fala dos colegas que já tinham feito, uma disciplina que eu tinha certeza que iria me acrescentar conteúdo e solucionar dúvidas, ou seja, me dar uma bagagem teórica que com certeza ia me ser útil como acabou sendo de fato.

[JF] - Você considera então que as Físicas Básicas III e IV devem continuar sendo optativas para o curso noturno de Licenciatura em Física, devem ser obrigatórias ou devem ser excluídas do curso?

[DSS] – Na minha opinião, as disciplinas devem ser obrigatórias. Eu acho que fazer uma graduação em Licenciatura de Física sem passar por disciplinas como Física Básica III, Física Básica IV, acho que é um erro talvez irreparável. Não porque o conteúdo não possa ser reparado depois, mas porque aquela vivência, aquelas discussões com certeza não vão aparecer em outro lugar, em outro momento.

[JF] – Considerando a sua experiência como aluno dessas disciplinas Física Básica III e IV, você acredita que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa? Quais seriam essas modificações?

[DSS] – Não, acredito que do ponto de vista estrutural nenhuma modificação, acho que elas estão bem aparadas, bem estruturadas, o que eu a gente sempre pede é recurso e condições para o professor que trabalhe na disciplina no momento tenha a possibilidade de ter bons laboratórios, ter acesso a facilidades, que hoje a gente sabe que tem muitas dificuldades.

[JF] – A que você atribui a grande carência de professores de Física para ensinar nas escolas de nível médio?

[DSS] – Pergunta delicada (risos) acho que não dá para atribuir a um fator, acho que são vários fatores. Eu acho que você tem a desvalorização da profissão, a dificuldade que a categoria enfrenta, com todos os problemas diários e de ordem estrutural, isso falando de todos os professores. Mas falando especificamente da disciplina de Física, eu acho que quem gosta de Física hoje tem dois caminhos: ou o cara caminha para Engenharia, ainda mais com o país em crescimento vai dar um retorno maior e menos dor de cabeça, talvez no sentido de atuação mesmo da profissão, no dia-a-dia; ou então o cara caminha pra pesquisa, porque, às vezes, o cara não tem vontade de tá em sala de aula, até porque a quantidade de pré-professores e professores efetivos não é uma quantidade grande. Então se o professor, o aluno gosta de Física dificilmente você vê alguém falando que vai ser professor de Física então já entra uma quantidade pequena. Então quando entra na faculdade acho que aí tem um outro problema, que já é a falta de estímulo, até um olhar meio desviado de um colega que fala: "pô você quer tá aqui pra ser professor?". Então é assim… existe um certo preconceito com o fato

de ser professor, de querer ser professor, e aí eu acho que isso leva, acho que a uma tendência à pesquisa ou até ao cara mudar de curso. Mas a gente vê cada vez menos professores. E quando tem, o cara ainda não tá preparado, tem que amadurecer, e o tempo de maturação, às vezes, ele demora; às vezes, não normalmente, ele demora. Então com essas disciplinas - eu tô puxando a sardinha mesmo - com essas disciplinas, eu acho que o tempo de maturação ele acaba sendo menor, porque dá esse respaldo, essa discussão, essa confiança que pro cara discutir a ciência sem medo dela. Sem pensar que a matemática é Física, é fórmula. E aí eu acho que isso, de certa forma, acaba desestimulado, desviando o foco ou, pelo menos, desagregando a possibilidade dos professores.

[JF] – Pra fechar, talvez você já tenha respondido essa questão, mas eu vou repetir. Que influência ou que impacto o curso de Física Básica III e Física Básica IV, portanto, os cursos de Física Básica III e Física Básica IV tiveram nos seus estudos posteriores?

[DSS] – Foram fundamentais, novamente, porque me estimularam, como falei aqui, a entender a Física como construção humana, a entender a Física como construção cultural, a entender que são pessoas de carne e osso que fazem a ciência, e levar isso para os alunos. Então, assim… foi um estímulo, foi o estopim, o primeiro momento para a partir de então eu me interessar nessa área de estudo e continuar me debruçando sobre. E aí, depois disso, dificilmente a gente para de ler sobre historia da ciência, dificilmente a gente para de tentar buscar uma forma experimental para passar em sala de aula para os alunos, alguma coisa de fenômenos que você está discutindo, pro cara vê e, no final das contas, acabou criando sustentação para o profissional que eu sou hoje.

[JF] – Perfeito. Então muito obrigado. Encerrando aqui a entrevista com Daniel, Daniel de Sento Sé.

CARTA DE CESSÃO

Salvador, ... de ..... de .....

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, Daniel do Santo Sé, estado civil, casado, documento de identidade, 07103427-72, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 29/11/2012, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

Daniel Santo Sé

ANEXO 1.F

MAROÍVO PEREIRA CALDEIRA

Aluno de Física Básica III (2006.1) e de Física Básica IV (2006.2)

(Entrevista revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Maroívo Pereira Caldeira (MPC)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 18/10/2012

[JF] – Maroívo, conte-nos um pouco da sua trajetória de vida.

[MPC] – Minha trajetória de vida. Eu estudei sempre em Escola Pública, desde a primeira série, e fiz vestibular para uma universidade pública, uma instituição pública, passei, Física noturno, fiz a Licenciatura, concluí a Licenciatura em 2009.2 e dei prosseguimento no Bacharelado. Terminei o Bacharelado, hoje sou aluno de Mestrado em Física e estudo Teoria Quântica de Campos.

[JF] – Perfeito.

[JF] – Na sua escola havia laboratório didático, não?

[MPC] – Não, não tinha.

[JF] – O professor era licenciado?

[MPC] – Alguns sim, o senhor fala de ciências?

[JF] – É. O professor de Física era licenciado?

[MPC] – Um só. Nos três anos que eu tive Física no ensino médio, só em um ano eu tive um professor formado em Física.

[JF] – Você ingressou em torno de que ano, mais ou menos?

[MPC] – Aqui na UFBA?

[JF] – Sim.

[MPC] – 2005.1

[JF] – Você está ensinando em alguma escola atualmente?

[MPC] – Estou. Escola pública.

[JF] – Qual a sua expectativa como estudante ao ingressar no curso de Física, Licenciatura em Física?

[MPC] – Eu acho que todo mundo quando entra aqui pensa em ganhar o Prêmio Nobel… (risos)… então, modéstia a parte, mas eu pensava em conhecer muito mais da Física do que eu acabei conhecendo.

[JF] – Perfeito.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura atendeu as suas expectativas?

[MPC] – Para uma Licenciatura, eu acho que atendeu.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, você viveu este caso, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Experimentais, denominadas Físicas Básica I, II, III, IV. Entre outras características, essas disciplinas foram propostas com o objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado dos assuntos. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em Física?

[MPC] – Eu acho isso extremamente proveitoso, desde que a disciplina seja bem dada pelo professor. No meu caso mesmo, eu me considero um cara bastante sortudo, porque eu peguei professores que entenderam bem essa situação, eles souberam trabalhar bastante com isso. Mas, eu fiquei sabendo de colegas por aí, que não tiveram a mesma sorte que eu não, claro que não vou citar nomes, mas eu fiquei sabendo que, às vezes, o cara passa batido nessas disciplinas. Pra ele é totalmente inútil, não foi o meu caso.

[JF] – Qual a importância delas na sua formação?

[MPC] – Eu acho que foi a partir delas que eu entendi o conceito mesmo da Física, não só a matematização.

[JF] – Considerando agora especificamente as disciplinas Física Básica III, a disciplina Física Básica III, depois a IV, como você avalia a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[MPC] – Eu acho que ela foi uma das melhores básicas que eu tive, também peguei com um grande professor, que como eu havia falado antes, ele entendeu o espírito dessa disciplina básica, e ele fez um trabalho legal, então acho que foi muito boa, muito boa mesmo. Tanto que logo no semestre seguinte vem a Física Geral III.

[JF] – a IV?

[MPC] – Não, a Geral

[JF] – Ah sim, a Geral III

[MPC] – A gente faz a Básica III, no semestre seguinte a Geral III. E na Geral III o professor não discutia essa parte teórica, essa parte conceitual, ele fazia mais conta mesmo. E o pessoal que não tinha essa disciplina, o pessoal penava mais.

[JF] – Interessante.

[JF] – Que aspectos lhe chamaram mais atenção na Física Básica III?

[MPC] – O aspecto conceitual e histórico. Isso aí eu acho que foi vital.

[JF] – Marcou.

[JF] – Você considera que esta disciplina está cumprindo a função para a qual foi criada, que é a de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula?

[MPC] – Volto àquele caso, eu acho que isso aí depende muito do professor que está oferecendo a disciplina. No meu caso, voltando a repetir, eu tive muita sorte, mas não sei se isso tem a ver com a ementa da disciplina, não sei se é o professor mesmo que não entendeu o espírito da disciplina, mas isso nem sempre acontece.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III, ao conteúdo agora e não a forma. Qual assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertou ou despertaram mais interesse?

[MPC] – Física Básica III

[JF] – Era estudado o Eletromagnetismo.

[MPC] – É, eu não sei, eu acho que é aquele iniciozinho da eletricidade, quando começa a falar de interações eletrostáticas, que a gente tem de ir lá pra Grécia Antiga, o Egito, tem que fazer toda aquela contextualização, isso aí eu achei muito legal.

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica IV. Como você avalia a abordagem utilizada, ou seja, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[JF] – Só a IV, agora só a IV.

[MPC] – A mesma história, eu fui um cara sortudo. Inclusive a IV foi até com o senhor, então, o senhor sabe muito bem. Então, eu fui um cara sortudo, coisa que não acontece com todo mundo.

[JF] – Que aspectos mais lhe chamaram a atenção no caso de Física Básica IV?

[MPC] – Eu não sei também se isso faz parte da disciplina, ou se faz parte do professor que eu tive, mas uma das coisas que eu achei mais legal da Básica IV era isso aqui, o laboratório. O senhor gosta de trazer a gente pra cá. Montar aqueles experimentos com laser, aquilo ali eu achava muito legal.

[JF] – Você considera que esta disciplina está cumprindo a função para a qual foi criada?

[MPC] – A mesma resposta da III. Quando tem um bom professor, sempre ela está fazendo um papel legal.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica IV, ao conteúdo agora. Qual assunto, ou quais assuntos de Física Básica IV lhe despertaram mais interesse?

[MPC] – A parte de Física Moderna, que é uma parte também que a gente não discute muito na Física Geral IV, a gente vai discutir lá no finalzinho de Estrutura da Matéria I. Pra quem faz Licenciatura, esse é o único contato na verdade que a gente tem e, essa Física Básica IV, ela não deixa ficar aquele espaço muito grande entre a Física Geral IV e a Estrutura da Matéria. E ela é mais outro contato que o pessoal da licenciatura tem com essa Física Moderna, Introdução à Quântica, Relatividade, que é uma coisa que eu também acho que pessoal da Licenciatura deveria ter, uma Física Moderna, uma disciplina voltada para a Física Moderna mesmo. Estudar Teoria Cinética, estudar Mecânica Estatística, notação covariante, coisas mais modernas mesmo… a Física que a gente estuda até a III é de duzentos anos atrás. Então o professor sai daqui com essa falha aí de duzentos anos. E tem no máximo noções de Quântica, que é a Quântica de cento e cinquenta anos atrás, de cem anos atrás e noções de Relatividade. De lá pra cá, o cara aprende a ler no *Scientific American*. Superinteressante…

[JF] – Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e IV são optativas para os alunos de licenciatura. O que o levou a se matricular nestas disciplinas?

[MPC] – A experiência da I e da II,… (risos)… aí não tem outra mesmo.

[JF] – Você considera que as Físicas III e IV, as Básicas III e IV devem continuar sendo optativas para o curso noturno de Licenciatura em Física, devem ser excluídas, devem ser obrigatórias?

[MPC] – Só complementando a resposta da pergunta anterior. Eu acho que se eu tivesse tido uma má experiência na Física Básica I e na Básica II, eu teria pensado muito antes de fazer a III e a IV, como muita gente faz isso. Agora, respondendo a essa pergunta, eu acho que deveria ser obrigatória sim, que ela é muito interessante.

[JF] – Considerando sua experiência como aluno dessas disciplinas a III e a IV, você acredita que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa?

[MPC] – Boa pergunta. É… no caso, eu não sei a disciplina em si, minha crítica na verdade não é quanto a disciplina, é quanto ao professor da disciplina. É, eu não sei se é falta de preparação ou se é má vontade, eu não sei qual o motivo, mas alguns conseguem dar essa disciplina muito bem, as quatro, outros não conseguem fazer tal coisa.

[JF] – A que você atribui a grande carência de professores de Física para ensinar nas escolas de ensino médio, de nível médio?

[MPC] – A fator financeiro, sem dúvida nenhuma, sem dúvida nenhuma, nenhuma mesmo, fator financeiro. É só o senhor pensar o seguinte, o pessoal que sai daqui, da noite principalmente, o pessoal já sai destinado pra Geofísica. Se o senhor for contar lá no Instituto de Geofísica a quantidade de mestrandos que tem formados em Física é maior que a quantidade de mestrandos formados em Geologia ou Geofísica. Isso é gritante. Então, inclusive no meu tempo mesmo muita gente fez isso. Os colegas que formaram comigo, uma boa parte está lá em Geofísica. Uma boa parte vai para Engenharia, porque lá oferece mais perspectivas financeiras mesmo, então isso aí eu não tenho dúvida nenhuma.

[JF] – Interessante! Então você acha que a carência de professor não se resolveria simplesmente formando mais licenciados?

[MPC] – Não, de jeito nenhum. Pode-se formar um milhão de licenciados por semana que se o cara não tiver uma boa renda, ele não vai ficar. Ele vai procurar uma coisa que dê mais dinheiro pra ele fazer.

[JF] – Mas, ele não poderia pegar o ensino particular?

[MPC] – Mas mesmo o ensino particular não paga tão bem quanto a indústria, por exemplo, quanto a Petrobrás, quanto tantas outras coisas que tem por aí. Então, eu acho que o grande problema não é nosso aqui do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia para resolver, é um problema maior ainda, que se não houver uma valorização da educação, isso não vai acontecer. Então quando se fala que tem carência de professores de Física, tem carência de professores de Biologia, não é porque ninguém quer se formar em Física, não é porque ninguém gosta de Física não, é porque o cara não se sente incentivado mesmo a procurar essa carreira.

[JF] – Perfeito. Deixei de fazer alguma pergunta, de algum assunto que você gostaria de tratar, ou cobrimos tudo?

[MPC] – Não entendi, não entendi.

[JF] – Eu esqueci de perguntar alguma coisa importante que você gostaria de falar?

[MPC] – Não… Já que o senhor está propondo uma avaliação do nosso Curso de Licenciatura em Física, uma coisa que eu acho que nós licenciandos ou licenciados em Física devemos saber muito bem é a parte computacional, que é isso que eu acho uma deficiência muito

grande. Eu acho, na verdade, que não só na Licenciatura, mas em nosso Curso de Física a maior deficiência que nós temos é essa.

[JF] – Mas existe duas disciplinas optativas e uma obrigatória relativa a computação, não é? Processamento de Dados, Cálculo Numérico são optativas.

[MPC] – Que não são pra nós.

[JF] – São.

[MPC] – A única que é pra nós, é a informática aplicada á Física.

[JF] – Aí é obrigatória.

[MPC] – A Informática Aplicada à Física que é oferecida de noite. O Processamento de Dados, o foco é as engenharias. Eu fiz essa disciplina e não fiz nenhum problema voltado pra Física. Todos os problemas era o quê?… "Faça um programa que mostre a estruturação de uma coluna vertical". Eram problemas desse tipo." E a outra era Cálculo Numérico, se eu não me engano.

[JF] – É.

[MPC] – Era Cálculo Numérico. Também não é uma disciplina voltada para nós. Uma disciplina que trate exatamente de Física, de modelos físicos, como o pessoal lá em Geofísica tem, nós não temos. Então a gente sai daqui com essa carência imensa. Então, quanto à licenciatura eu acho que o grande problema é esse.

[JF] – Que disciplina você acha que deveria cobrir esse espaço aí, você tem alguma sugestão?

[MPC] – Não sei,… já tem um projeto que é a própria Informática Aplicada à Física, quanto a estruturação dela, aumento de carga horária. Para o que ela se propõe eu acho muito boa. Não sei também se é por conta dela ou por conta do professor, mas eu fiz, eu gostei muito. Mas eu senti necessidades porque o que eu aprendi muito com ela foi a parte ferramental. Por exemplo, como eu posso usar o Excel para fazer um gráfico, como eu posso usar *Origin*, *Fortran*. Mas modelos em Física mesmo, eu não aprendi nenhum.

[JF] – Modelagem computacional?

[MPC] – Exatamente, não aprendi nenhuma. Então nós não temos nenhuma disciplina que estude isso, e isso eu acho que pra professor é essencial. Outra coisa também, os nossos laboratórios não são pra Física. Eu acho que nossos laboratórios são também pra Engenharia. São laboratórios didáticos sim, mas a gente aprende aqui a preencher quadrinhos, a gente aprende a fazer tabelas. Por exemplo, eu não aprendi a montar um experimento e nós temos uma disciplina chamada Projetos e Modelos. E nessa disciplina Projetos e Modelos já está lá o roteiro, o cara só chega lá e… "Toma, aqui faça esse experimento", a gente lê, faz conta, mas para criar o experimento, pra discutir o experimento, eu não sei fazer isso. Como nós aqui, do Instituto de Física principalmente, a grande maioria que sai daqui vai pra área pública, muitas vezes o cara sai daqui professor pra dar aula em Cajazeiras, pra dar aula na Liberdade, bairros de periferia, bairros pobres. Então, quando o cara chega lá, ele não pode pedir ao aluno, que o aluno traga uma simulação computacional, sei lá, de um oscilador harmônico simples, agora ele poderia montar um experimento com garrafa, com mola, com materiais reciclados mesmo, de baixo custo. Nós não aprendemos a fazer isso. Isso é uma coisa que eu acho uma deficiência muito grande.

[JF] – Então seria através de qual disciplina que poderia ser resolvida essa questão?

[MPC] – É outra coisa também, porque Projetos e Modelos não é obrigatória no noturno? Não, ela é obrigatória sim no noturno, é no diurno que tem uma inversão que ela vem antes de Metodologia.

[JF] – Então no diurno ela é optativa pra bacharel?

[MPC] – Não, pra licenciatura que eu estou falando, ela é obrigatória também, mas se eu não me engano ela é pré-requisito pra Metodologia, e no noturno não existe esse pré-requisito. Tanto que eu me formei fazendo Projetos e Modelos, eu fiz as metodologias primeiro. Então a gente pode inverter isso aí. Mas eu acho que essa Projetos e Modelos seria disciplina pra isso, acho que ela

[JF] – cobriria esse espaço

[MPC] – Ela é o contato que a gente tem em laboratório. Com ela…

[JF] – Muito bom. Então, encerrando a entrevista…

CARTA DE CESSÃO

Salvador, ... de ..... de .....

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, MARCÍVO PEREIRA CALDEIRA, estado civil, CASADO, documento de identidade, 05951837 74, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 18/10/2012 para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

Marcívio P. Caldeira

ANEXO 1.G

FÁBIO LUÍS ALVES PENA

Aluno de Física Básica III (2001.1) e de Física Básica IV (2001.2)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Fábio Luís Alves Pena (FLAP)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 23/11/2012

[JF] – Fábio conte-nos um pouco da sua trajetória de vida.

[FLAP] – Em escola que você está falando durante esse período. Ensino fundamental, de certa forma, eu morava na Federação, Engenho Velho da Federação, até, eu acho, sete anos de idade. De lá, eu fui pra Mussurunga, um bairro mais distante do centro, perto do aeroporto. E de sete anos pra cá eu continuo morando em Mussurunga. Já não moro mais com a minha mãe. Meu pai faleceu, mas continuo morando em Mussurunga. Então, no início, quando eu morava no Engenho Velho da Federação, estudei no centro da cidade na escola do SESC, escolas da região mesmo. Depois quando fui pra Mussurunga, estudei em escola, quando era menino pequeno ainda, em escola particular, isso foi até a 6ª serie. Depois da 6ª série, em escola estadual, até 8ª serie, escola estadual pública. E depois, no 1º ano, eu comecei a fazer na Escola Técnica Federal da Bahia. Da Escola Técnica Federal da Bahia, fiquei um ano tentando me inserir no mercado de trabalho como técnico de instrumentação… eu fiz o curso técnico de instrumentação lá e, por opção, não gostei da área, não me adaptei a instrumentação, e voltei a estudar. Primeiro eu fiz o vestibular para o antigo CENTEC, que depois fez a fusão com a Escola Técnica, virou o CEFET Bahia, hoje é o IFBA. Aí eu estudei lá em Simões Filho mesmo, o CENTEC, o curso de Tecnologia Elétrica. Comecei a fazer o curso de Tecnologia Elétrica e, com a fusão, vim estudar aqui no Barbalho, continuando o curso de Tecnologia Elétrica aqui no Barbalho, isso foi… eu comecei o curso em 96 então, basicamente estudei a Escola Técnica até em 94. Tentei um ano entrar na carreira de técnico em instrumentação. Em 96, entrei pra… fiz o curso de Tecnologia Elétrica, comecei o curso de Tecnologia Elétrica, e o curso de Tecnologia Elétrica fui muito… ai chegou em 99 ou 98, na verdade fiz o concurso aqui pro Curso de Física, noturno, a primeira turma que entrou em 99 e aí terminou eu fazendo o curso de Tecnologia Elétrica e o Curso de Licenciatura em Física. Na verdade, eu dei prioridade ao Curso de Licenciatura em Física e deixei um pouco de lado o outro curso. Basicamente eu fazia o outro curso durante as greves aqui na UFBA. Quando entrava a greve, eu me matriculava na disciplina e fazia. Com isso eu terminei quase me formando nesse curso, pegando uma ou outra disciplina na mesma época que eu fiz, que eu conclui o curso de Física aqui na UFBA, que foi em 2003. Nisso eu fiz o concurso público, já formado em Licenciatura. Fiz o concurso público pra escola de Camaçari, pro Município de Camaçari. Passei no concurso de Camaçari. Fiz também para o Estado, tinha passado no concurso público do Estado, mas tanto em Camaçari quanto no Estado eu entrei mesmo como efetivo. Na verdade, Camaçari foi em 2006, efetivo, concurso público, no Estado, desde 2003, quando eu já vinha me formando aqui, como REDA, como Estágio. Essas coisas todas eu fui

fazendo e também fiquei como Professor Substituto nesse período em 2003 e 2005, como Professor Substituto. Então chegou um tempo que eu estava trabalhando em três lugares: eu trabalhava na Prefeitura de Camaçari, trabalhava aqui como Professor Substituto e no Estado como REDA, em 2006. Logo no inicio de 2006, quando terminou o meu contrato aqui na UFBA eu continuei em Camaçari, no Estado, como REDA, e fiz o concurso pro Estado. Também fiz o concurso pro IFBA, pra vaga de Física, em Salvador, mas no concurso… não fui muito bem no concurso até por falta de experiência mesmo em como fazer as provas pro concurso e não passei nesse primeiro concurso. Tinha passado no concurso do Estado, do Governo do Estado, mas não tinha chamado ainda. No final do ano, na metade de 2006, fiz concurso novamente pro IFBA, só que tava tendo problema com a vaga lá em Física, tava tendo problema, colocaram a vaga, depois tiraram a vaga, ai eu resolvi não fazer. Como eu tenho formação em tecnologia elétrica, como eu falei pra você, eu fiz o concurso de eletromecânica pra Simões Filho. Então passei no concurso. No inicio eu dava até disciplina de Física, hoje eu conceituo mais para o curso de eletromecânica, de medidas elétricas, eletricidade básica, um pouco de instrumentação industrial, manutenção elétrica, mas também tenho um projeto de acompanhamento de estudante, de PIBIC Junior, de auxilio a estudante, eles fazem atividades juntos com coisas de Física e manutenção. Na verdade, eu termino trabalhando nas duas áreas, na área de eletromecânica e de Física. Então, quando eu passei em 2006, na mesma época o Estado me chamou pra assumir a vaga, mas eu não podia assumir, porque eu era DE, era concurso do IFBA, eles tinham me chamado, era também DE e eu não assumi e também por assumir a vaga do IFBA eu pedi pra sair também de Camaçari pela mesma causa, mas, mesmo se pudesse, mesmo não sendo dedicação exclusiva, eu ia sair, porque… eu tentei ficar em três lugares ao mesmo tempo e é um desgaste muito grande. E aí, em 2006, já estava também no mestrado. Terminei o mestrado em 2008, então as coisas começaram, uma coisa em cima da outra . Então eu comecei o mestrado aqui e depois me chamaram pro IFBA, pra eu assumir a vaga, mais ou menos em outubro de 2006, eu entrei no mestrado em março de 2006 e o IFBA me chamou em outubro de 2006. Aí terminei o mestrado em 2008, defendi em 2008. De 2008 a 2009, não tentei a vaga para o doutorado; 2009 pra 2010, tentei a vaga para o doutorado, mas não fui aprovado e agora consegui fazer 2010 pra 2011, passei no concurso de 2010 pra 2011, desde então estou trabalhando no IFBA, lá em Simões Filho e doutorando aqui do programa.

[JF] – Perfeito. Na escola havia, evidentemente, no ensino médio, havia laboratório didático. Quando você fez o ensino médio, ou equivalente, os professores eram licenciados também.

[FLAP] – É, assim… eram formados em Física mas, eu não sabia como era a formação. Eu achava que todos possivelmente eram formados em Física, depois que eu entrei aqui no curso, você começa a conhecer os professores que deram aula lá e eram todos formados em Física.

Interrupção

[JF] – Continuando a entrevista com Fabio Luiz Alves Pena, no dia 23 de novembro de 2012.

[JF] – Fábio, então o professor de Física era licenciado e você descobriu depois que…

[FLAP] – Depois que eu virei professor. Porque aí você vê que pra ser professor de Física das escolas públicas e federais, dos IFBA's, da UFBA, você tem que ter o Curso de Licenciatura ou, na época, era exigido Licenciatura ou Bacharelado em Física, hoje é que é mais Licenciatura em Física, pelo menos para ensino médio, e depois também… Aí depois você começa a encontrar - quando eu estava estudando no Instituto de Física - professores como Jonas, Marlene, Wanderley, outros professores que a gente começa a… as pessoas falam ou a gente vê aqui no Instituto.

[JF] – Em que ano você ingressou o Curso de Física mesmo, Licenciatura em Física, noturno?

[FLAP] – 99

[JF] – Quando se formou?

[FLAP] – 2003

[JF] – Você está ensinando atualmente em alguma escola de nível médio?

[FLAP] – Agora no IFBA. Campus Simões Filho.

[JF] – É ensino médio?

[FLAP] – É ensino médio técnico com modalidade que eles chamam de integrado, que é o curso, vamos dizer, curso de nível médio, mas um curso técnico. Não é médio, é mais técnico; as coisas são misturadas, entendeu? Eles estão vendo disciplinas propedêuticas como português, matemática; ao mesmo tempo que eles estão vendo medidas elétricas, eletricidade básica ou alguma coisa de mecânica, a depender do curso.

[JF] – Qual a sua expectativa como estudante ao ingressar no Curso de Licenciatura de Física?

[FLAP] – Quando eu ingressei na verdade era uma alternativa pra mim. Entrei como uma alternativa, porque eu vim da Escola Técnica, fiz um curso técnico, tava fazendo um outro curso de Tecnologia Elétrica, na área técnica, e havia essa possibilidade do Curso de Licenciatura, à noite, que possibilitava de eu estudar ou trabalhar durante o dia e fazer um curso a noite. Quer dizer, mais uma alternativa, mais uma possibilidade até no mercado de trabalho. Como eu vinha de cursos técnicos, tava fazendo um outro curso de curta duração, porque o de Tecnologia Elétrica é um curso de cinco anos, no mínimo você pode tirar em três anos e meio, então já tinha física, matemática, essas coisas aí, não ia ser tão diferente cursar um Curso de Licenciatura. É uma alternativa a mais mesmo de se inserir no mercado de trabalho.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física atendeu as suas expectativas, como estudante?

[FLAP] – Como estudante e como professor, acho que o curso me deu um suporte muito bom pra ser professor.

[JF] - O curso noturno em Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais Experimentais, que são denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV. Entre outras características, estas disciplinas foram propostas com objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em física?

[FLAP] – Olha, dentro desses aspectos que você falou, a Física Básica I e a IV, quando eu fiz a I… foi com o professor Olival e a IV foi com o Olival e com você. **[JF]** entrava realmente nessas questões fenomenológicas, aspectos históricos, e foi bem interessante. Dá até pra se discutir em sala de aula algumas coisas, embasamento muito bom, serve pra o professor até aprofundar mais essas discussões. A Física Básica II, na época, foi Artur o professor, ele não chegou a entrar nos aspectos históricos ou discussões filosóficas em si, ou sei lá, visão sobre a natureza em si, era mais conceitual. Ele trabalhava os conceitos e não necessariamente seguia uma abordagem histórica, não seguiu essa abordagem histórica o professor Artur. Na Física III, foi boa, por um aspecto, Yukimi, que era a professora da época, não tinha essa característica, ela era mais uma física conceitual, fenomenológica, ou seja, como se fosse o ensino médio um pouco mais aprofundado. E o lado bom da Física III foram os experimentos históricos, tinha um professor, não lembro o nome dele agora, não sei se ele era professor, ou

ele tinha… o Museu de Tecnologia e Ciência da UNEB, então ele tinha acesso ao Museu. […] na época eu acho que ele era Professor Substituto. Então ela fazia parte, ela discutia conceito, mais conceitual na sala de aula e ele trazia a gente para o laboratório para discutir, mais ou menos como foi aquele experimento histórico. Trazia algumas coisas e trazia até como demonstração pra gente, de lá do Museu, algumas réplicas ou algo parecido com o que foi feito na época. Então esse lado aí foi muito bom, da parte experimental.

[JF] – Qual a importância delas na sua formação acadêmica?

[FLAP] – Pra mim ajudou bastante. Tanto que… no mestrado, eu não cheguei a trabalhar com o uso didático de história ou qualquer tipo de abordagem histórico-filosófica em sala de aula, ou seja, o uso didático disso… foi na área de ensino, de ensino de ciência, mas eu trabalhei com a relação entre pesquisa e prática. Como se dava a relação das pesquisas que eram feitas e como isso chegava ou se chegava na sala de aula. Dentre outras coisas, eu fiz uma gama na linha de pesquisa, dentre elas, histórica, e… qual é a dificuldade disso e aquilo. Então, quando eu estudava isso, até os aspectos que eu levantei, ou seja, de análise documental, das dificuldades apontadas por pesquisadores nessa área, eles falavam algumas coisas, traziam algumas coisas que reportavam muito o tempo que eu estudei Física Básica I, II, III e IV. Principalmente a questão de professor, formação, e outras coisas mais, pra ser professor desses cursos. Por exemplo, era claro que o professor Artur não tinha formação pra isso, tanto que ele não optou em trabalhar, nem discutir, nem fazer uma abordagem mais filosófica e histórica, porque ele não era especialista. A professora Yukimi também, acho que não tinha. Já o professor Olival com Física Básica I, ele tem, acho, o mestrado, doutorado e pós-doutorado também. A Física IV também. Você também, estudioso do assunto, que trazia essas questões, os textos, os episódios históricos, pra gente discutir e vê que é muito mais do que aquilo que a gente tava… quem começou a dar aula, tava dando em sala de aula.

[JF] - Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica III, como você avalia a abordagem utilizada, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina? Ou dos professores.

[FLAP] – Como eu disse, não foi uma abordagem nem histórico-filosófica, nem histórico-conceitual, ou seja, não teve as discussões, os desdobramentos, sei lá, as controvérsias do que se estava dando ali, era aquilo mesmo, algo bem linear, como se tem no livro. A professora já chegou a usar até coisas de, por exemplo, Beatriz Alvarenga que é… bem, que é um livro que de certa forma tem sua origem lá, tem influência lá do PSSC, não tem nada, nenhuma relação, com a abordagem histórica e filosófica. A parte que se trabalhava no laboratório, que é a atividade mais experimental que o professor trazia de como foi próximo, de como foi feito, as réplicas… mas até no processo de discussão daqueles experimentos históricos não tinha uma discussão mais histórica e filosófica, era mais uma discussão como se fosse uma verificação de como foi feito antes. Mas o que estava por trás daquilo, se tinha outros fazendo outras coisas, discussão em torno daquilo ali não foi feito, era mais a atividade, o experimento em si. Um pêndulo com uma casca de alguma coisa simulando atração, repulsão, mas não entrava mais na discussão propriamente dita, sobre o processo histórico de produção para chegar, por exemplo, no conceito de campo elétrico ou de outra coisa qualquer.

[JF] – Que aspectos lhe chamaram mais atenção em Física Básica III?

[FLAP] – Como eu disse a parte experimental.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III qual assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertaram mais interesse?

[FLAP] – Campo, o conceito de campo foi o que me despertou mais interesse. Eu lembro que, na época, depois não sei se foi como professor… não, foi como Professor Substituto…

mas eu acho que como REDA, quando me vi… como é que eu ia discutir campo elétrico, o conceito de campo elétrico com os alunos, eu tive que procurar analogias, procurar outras formas de chegar a eles entenderem o conceito de campo e o quanto esse conceito era importante.

[JF] – Você considera que essa disciplina cumpriu a função para a qual foi criada?

[FLAP] – Não sei agora. Na minha época, dentro dessa parte que tem que ter abordagem histórica e filosófica, até pra me sentir motivado a estudar mais, a tentar até trabalhar isso em sala de aula, ou contribuir dessa forma, não. Eu tenho livros, eu leio o livro, o projeto Harvard, ou seja, eu tinha o meu conhecimento desse livro, discussões, mas o processo da construção, do fazer científico, nessa época que se começou o magnetismo, aquela parte de eletrostática, acho que ela não cumpriu o objetivo não.

[JF] – Perfeito. Você não foi aluno da primeira turma, você foi aluno da segunda turma, não é isso?

[FLAP] – É

[JF] – Você entrou em 2000.

[FLAP] – É, eu fiz Física Básica I, Física Básica II, a primeira turma foi a minha turma mesmo.

[JF] – Não, a sua foi a segunda?

[JF] – Considerando agora a disciplina Física Básica IV. Como você avalia a abordagem utilizada, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[FLAP] – Sim, na época foi Olival. Ele usou uma tese, e na tese tinha algumas coisas assim que… não sei se era analogia, mas trazia algumas coisas da clássica e de como era na quântica. Então você tinha um experimento que acontecia assim… classicamente e na mecânica quântica. A discussão dela na tese trazia todas essas coisas que davam a possibilidade de dizer algumas coisas de como, sei lá, inserir a física moderna, a física quântica no ensino médio. E Olival complementava isso com discussões mais históricas e filosóficas sobre… aquilo. Mas o material não foi, por exemplo, textos históricos ou qualquer livro que pretendia fazer uma abordagem histórica. Foi uma tese e se discutia alguma coisa dessa tese em sala de aula com os alunos e ele chamava atenção de algumas coisas, mas não foi propriamente de pegar um livro ou levar textos com abordagem histórico-filosófica.

[JF] – Que aspectos lhe chamaram mais atenção no caso de Física Básica IV, do curso de Física Básica IV?

[FLAP] – É mesmo a física quântica. Porque, por exemplo, a Física IV, a [Geral e] Experimental IV, minha turma, especificamente, teve um problema, porque a gente, na época, pegou um Professor Substituto… não conseguiram um professor titular pra gente da noite e o professor não tinha experiência naquela disciplina Física IV e não inseriu, por exemplo, relatividade, física quântica. Na verdade, ele pegou Física IV, até a parte que era a discussão clássica mesmo e se discutiu, fora isso, nada; e os experimentos que a gente faz pra todo mundo aqui no Laboratório de Física IV. Então aí, essa lacuna que ficou, a Física Básica IV ajudou bastante. Muita coisa a gente praticamente não tinha estudado. Nada de física quântica. O que é física quântica? Quais são as discussões? Se foi revolução ou não, essa quebra, o que gerou o micromundo? Física quântica em si, o que era, o que se discutia, quais as novas ideias em relação a clássica? O que é que vinha de novo? A gente não tinha nada disso, porque a Física Experimental IV, o curso não foi dado. Mesmo relatividade, a Física Básica IV não se discutiu também questões histórico-filosóficas em termo de relatividade. O que eu vi em relatividade, o pouco que eu vi, de [relatividade] restrita, foi com a professora

Jacira, em Complementos de Mecânica, mas era uma discussão mais conceitual e livros pra contas e fazer problemas, essas coisas todas.

[JF] - E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica IV, qual assunto, ou quais assuntos dessa disciplina lhe despertaram mais interesse?

[FLAP] – Física Quântica mesmo, o que é Física Quântica. Eu já estava no terceiro ano do curso, já tava faltando pouco pra terminar o curso, e Física Quântica a gente mal sabia, ou se discutia. Uma coisa que tá se discutindo e precisa no ensino de Física, inserção de Física Moderna no ensino médio, e a gente pouco sabia de Relatividade, pouco sabia de Física Quântica. Então a gente tava ansioso em ter uma disciplina que pelo menos o básico que o professor poderia falar ou discutir com o seu aluno, ou entender e saber de Física Quântica até pra quando a gente sair daqui continuar os estudos de outras formas.

[JF] – Você considera que esta disciplina cumpriu sua função, seu papel?

[FLAP] – Não sei como está essa disciplina agora, cumprindo esse papel… Física IV, não deu uma introdução boa pra gente, pra discutir algumas coisas, ela (Física Básica IV) trouxe isso… para a parte conceitual, de certa forma, um pouco de história, as discussões filosóficas que eram de Física Básica IV mesmo; o que ela pretendia, eu acho que a disciplina cumpriu. Mas o que a gente, acho, queria é que fosse uma disciplina que de certa forma fizesse isso, com essa abordagem histórica e filosófica, mas que também fizesse o que a Física IV não fez, problemas, questões, contas a fazer… resolução de problema, a disciplina não tinha isso lá na coisa. Eu vim saber um pouco mais, estudar um pouco mais, entrar mesmo na matemática da Física Quântica, agora no Mestrado, que eu fiz uma disciplina com o professor Aurino, que ele chamava… que era de Física Quântica, mas ele chamava de Tópicos Avançados… eu acho, de Física Quântica, que ele deu… Física Clássica e Física Quântica. Aí quando eu fiz… essa outra parte que ficou meio deixado de lado em Física Experimental IV, aí a gente viu um pouco mais aprofundado. Mas eu acho que Física Básica IV cumpriu o objetivo dela como Física Básica I também.

[JF] – Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e IV são optativas para os alunos de Licenciatura. O que o levou a se matricular nesta disciplina?

[FLAP] – O que me levou a me matricular nessas disciplinas foi a Física Básica I. Nem tanto a II, porque a II não teve essa ideia, mas a gente teve acesso ao livro, que é o projeto Harvard, *O Triunfo da Mecânica*. Então, como a Física Básica I foi uma disciplina muito boa, a gente discutia outras coisas além daquela coisa mais tradicional, mais mecânica, de problemas, de equações, de cálculos e outras coisas mais, que aprofundava um pouquinho mais a discussão e eu me interessei em também fazer as outras duas, tanto que as outras duas optativas: eu fiz a III e fiz a IV também.

[JF] – Você considera então que as Físicas Básicas III e IV devem continuar sendo optativas para o Curso de Licenciatura em Física, ou devem ser excluídas ou devem ser obrigatórias?

[FLAP] – Eu acho que devem ser obrigatórias, porque principalmente pra quem é, claro, pra quem é Licenciado e também pros bacharéis, que mais na frente vão ser, não tem jeito, vão sair da Universidade e vão ser professor também, vão dar aula, e isso ai, em algum momento, pra aprofundar até as discussões que se tem do conceito de sala de aula, acho que é fundamental para o professor.

[JF] – Considerando a sua experiência como aluno dessas duas disciplinas, você acredita que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa? Isto é, Física Básica III e IV devem sofrer alguma modificação significativa?

[FLAP] – Eu não sei quem é que está dando a disciplina. Por exemplo, na minha época, Física Básica II, depois que a gente fez o curso da I e veio fazer o curso da II com Arthur, a

gente viu que não era Arthur que deveria ser o professor daquela disciplina, deveria ser alguém que, pelo menos dentro da sua vida acadêmica estudou, pesquisou ou tem interesse em História e Filosofia da Ciência, para dar essa disciplina. No caso, é o que eu acharia que deveria mudar, para até entrar nesses aspectos históricos e filosóficos, um professor que tivesse formação nessa disciplina. Nessa abordagem.

[JF] – A que você atribui a grande carência de professores de Física para ensinar em escolas de nível médio?

[FLAP] – Carência de professores, eu acho que envolve tudo, viu Zé? Começando com o trabalho, questões salariais mesmo, as coisas do jeito que estão na escola, na sala de aula. O curso de Física, como outro curso qualquer é difícil, mas o curso de Física tem outras particularidades matemáticas e físicas se torna um curso até mais difícil. E aí você fazer um curso desse, e aí a gente vê, como eu disse, salário, condições de trabalho, número de alunos, a desvalorização do professor, do trabalho do professor terminam as pessoas, até aqueles que se formam até em Física, começam a trabalhar, eu conheço alguns colegas que depois vão enveredar pra outra, vão fazer Engenharia, vão fazer outro curso, ou um concurso publico pra sair da área. Eu tive mesmo um colega aqui, agora eu esqueci o nome dele, que ele fez o estágio aqui comigo, já era um professor mesmo, começou a fazer o curso… entrou em Engenharia Elétrica… entrou no mercado de trabalho, pra ser professor de Física, de cursinho, dessas escolas particulares, veio pra Universidade pra fazer o Curso de Licenciatura em Física. Aproveitou disciplinas, mas eu quero ter o Curso de Licenciatura em Física pra fazer, depois… cansou não aguentou mais, fez um concurso público desses aí do TRE, TSE e foi fazer… largou as escolas, por causa disso tudo aí. Dessas condições de trabalho, de tudo isso.

[JF] – Que influência, ou que impacto o curso de Física Básica III teve nos seus estudos posteriores?

[FLAP] – olha, quando eu… na escola do Estado, em Camaçari, eu sempre tentava trazer de certa forma… pela própria influencia da disciplina, trazia alguns episódios, algumas discussões pra sala de aula, tipo um fato, sei lá, o episódio da Torre de Pisa: "Será que aquilo aconteceu ou não aconteceu?" O que faria Galileu subir… ? Sei lá, algo pra gerar discussão na sala de aula e fugir um pouco disso tudo que a gente vê, que é aquela coisa de resolução de problema, que eu fazia isso também. Então, eu tentava mexer com tudo, eu tentava com vídeo, eu tentava na sala de aula com os próprios alunos discutirem com quadrinho e inclusive isso. Então isso ajudou, influenciou bastante a minha trajetória até na sala de aula. Lá no IFBA, é um pouco complicado, porque eu entrei como professor de disciplinas técnicas. Então, normalmente, as disciplinas técnicas a gente não tem essa abertura, de certa forma, pra tentar discutir, investigar ou pesquisar, ou ter até material disponível das questões históricas, de algumas coisas da área de tecnologia. No laboratório, eu tento assim… no laboratório, como as disciplinas são técnicas, você… por exemplo, o aluno tem que saber usar um alicate, amperímetro, multiteste; você tem que ensinar ele a usar o multiteste. O que eu procuro fazer normalmente são roteiros, procuro fazer roteiro o mais curto possível, etapas para os alunos seguirem; o maior tempo da aula é pra discussão. Então o que é que eu faço? Reduzo o roteiro. Dessa redução de roteiro tem poucas coisas pra montar, pra fazer e tem mais coisas pra discutir. Aí, dentro disso, eu acho que essa discussão que é maior sobre o papel do experimento ali, discutir o próprio conceito que está envolvido, aí também acho que foi influência dessas disciplinas de Física Básica. Também a própria minha inserção no mestrado e no doutorado. No mestrado, porque essas disciplinas de Física Básica eu tive contato com professor Olival, com você, no Curso de Licenciatura, com Aurino… não, com Aurino foi mais no mestrado, não tinha tanto contato com ele, porque eu acho que no Curso de Licenciatura, noturno, ele não deu aula, então ai fiz iniciação cientifica. O projeto do Olival era na área de… era com o projeto Harvard. Ele tinha o projeto do… eu estudei o PCN. O

PCN já traz essa questão contextual, envolve história também, a gente já discute isso. Então o Olival era meu orientador também e isso aí me encaminhou para o mestrado e hoje, no doutorado, já estou vendo o uso didático da História e Filosofia da Ciência no ensino de Física. Basicamente estou estudando pra fazer um estudo de caso, com a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, ou seja, além do curso de Física Básica I, II e III o curso também tem o curso de Evolução dos Conceitos da Física que a Física Básica I, II e III também faz a parte, apesar de que o curso de Evolução do Conceito da Física foi diferente do que eu vi hoje, do que eu assisti com o professor Peduzzi lá em Santa Catarina. Ele trabalha bem com o ensino da evolução conceitual, questões históricas, questões filosóficas, discussões que ocorreram ali na evolução desses conceitos. Aqui foi um pouco diferente, abordagem histórico-filosófica e conceitual que eu vi foi na Física Básica I e Física Básica IV.

[JF] – A Física que você está se referindo é a Evolução da Física?

[FLAP] – Isso, Evolução da Física que lá eles chamam de Evolução dos Conceitos da Física.

[JF] – Perfeito.

[JF] – Que influência ou que impacto o curso de Física Básica IV teve nos seus estudos posteriores?

[FLAP] – Talvez, até porque pelo o próprio… o que se trabalha em sala de aula, ou como professor até de Física, do ensino médio, que é hoje, ou seja, a Física Quântica, a gente até discute alguns aspectos, algumas coisas que não se consegue explicar com a Clássica e sim com a Quântica. Mas em sala de aula mesmo, entrar, estudar Física Moderna ou Teoria da Relatividade, ou alguma coisa do ensino médio, eu não, eu nunca dei aula, eu nunca trabalhei aí, termina o que a gente estudou em Física IV, termina você se preocupando mais com as coisas que eu estudei, que eu tenho que dar em eletromagnetismo, ou outra coisa, do que tentar rever aquele material, rever as aulas ou pesquisar coisas sobre inserção de Física Quântica, ou fazer uma inserção com uma abordagem mais histórica, ou de qualquer outro tipo. Eu nunca assim… eu sempre pensei em misturar tudo, ir pra laboratório, usar uma abordagem histórico-conceitual com os alunos, como eu disse a você, usar simulação, usar alguns programas, montar um circuito, sempre pensei em usar diversas formas ou enfoques em sala de aula.

[JF] – Perfeito. Obrigado então Fábio, encerrando a entrevista.

CARTA DE CESSÃO

Salvador, 07 de Março de 2013

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, Fábio Jesus Alves Pena, estado civil, Casado, documento de identidade, 04763994155, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 23/11/2012, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

Fábio Jesus Alves Pena

ANEXO 1.H

ALEXNALDO MENEZES DE CASTRO NEVES

Aluno de Física Básica III (2003.1) e de Física Básica IV (2002.2)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Alexnaldo Menezes de Castro Neves (AMCN)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 25/02/2013

[JF] – Alexnaldo, conte-nos um pouco sobre sua trajetória de vida.

[AMCN] – Bom, eu sou nascido aqui mesmo em Salvador, em 1973. Estou chegando aí aos 40 anos. Tive o meu ensino fundamental em uma escola particular do subúrbio ferroviário e o meu ensino médio foi na antiga Escola Técnica Federal da Bahia. De lá, eu fiz a Academia de Policia Militar. Atualmente sou oficial da PM. Depois me formei também em Física. Fiz o Curso de Licenciatura, noturno, na UFBA.

[JF] – A sua escola era, portanto, pública.

[AMCN] – Pública, nível médio, pública federal.

[JF] – E a escola… sim, nível médio, pública federal.

[JF] – Na sua escola havia laboratórios didáticos?

[AMCN] – Havia, tinha laboratório de Física, laboratório de Química, eu fui um privilegiado.

[JF] – O professor de Física era licenciado?

[AMCN] – Era, era sim, era concursado, concurso público federal, então isso já está na exigência lá do edital.

[JF] – Em que ano você ingressou no curso de Licenciatura em Física?

[AMCN] – Entrei no ano de 2000.

[JF] – Quando se formou?

[AMCN] – 2006. Tive que abandonar um ano.

[JF] – Você está ensinando atualmente em alguma escola?

[AMCN] – No Colégio Antônio Vieira, onde exerço também o papel de Coordenador do Departamento.

[JF] - Você já ensinava quando você estudava Física, Licenciatura?

[AMCN] – Sim, como aluno, eu já ensinava no Colégio da Policia Militar. Ensinei lá por oito anos.

[JF] - Qual a sua expectativa como estudante ao ingressar no Curso de Licenciatura em Física?

[AMCN] – Olha, eu sempre fui apaixonado por Física. Na verdade, eu nunca quis fazer Engenharia nenhuma. Eu queria me formar em Física mesmo, nas duas modalidades, inclusive. Conclui a Licenciatura e fiquei muito satisfeito com o curso. Eu achei que o Curso de Licenciatura, ele cumpriu a minha expectativa, porque percebi que eu estava num curso que foi planejado para a formação de professores.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física atendeu a sua expectativa, como estudante? Você já respondeu que sim …

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais e Experimentais, que são denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV. Entre outras características, estas disciplinas foram propostas com objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado dos assuntos. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em Física?

[AMCN] – Olha, eu acho que isso foi uma excelente ideia. Eu, por exemplo, fui aluno de uma Escola Técnica Federal, a única vez que um professor… lá… assim… a Física era quase Matemática, nós desenvolvíamos o conceito, mas era muita conta pra fazer - Eu nem sei como eu fui me apaixonar tanto por Física, tendo aquele ensino que eu tive na minha época - A única vez que o professor falou alguma coisa de história da Física em sala de aula, eu nunca me esqueço, foi aquela historinha de Arquimedes saindo correndo nu. Foi a única vez que eu ouvi falar de história e eu nunca me esqueço dessa história, e foi a única vez também em todo conteúdo. Então, quando eu ingressei lá na Faculdade, essas matérias me deram uma visão histórica e filosófica principalmente da evolução das ideias de Física, de como as coisas nasceram e como elas foram evoluindo. Isso, para um professor, é fundamental, porque ajuda a tornar a matéria sedutora para os alunos. O aluno vê a Física como uma construção humana, que teve erros, que teve acertos, que teve brigas, que teve, inclusive, influência política, tudo isso, porque a Física é uma construção humana e sofreu tudo isso, e isso é interessante. Quando a gente leva para a sala de aula, existem até aqueles alunos que têm um certo pavor de Matemática, mas, quando a gente aborda esses conteúdos da Física, eles prestam atenção, eles perguntam, porque isso torna a Física mais interessante. As Físicas Gerais e Experimentais, elas fazem a parte mais dura do conteúdo, vamos dizer assim, a parte do laboratório e a parte das contas; do domínio conceitual e das contas. Isso é fundamental também, mas a parte da Física Básica, ela também é fundamental, porque ela alimenta o professor de todo o conteúdo filosófico, e eu trouxe isso para a escola. Aqui, por exemplo, nessa escola, onde eu leciono, o curso de Física tem uma forte carga de História e Filosofia. Se a gente pegar os livros didáticos aqui do primeiro ano, inércia, por exemplo, é um conceito que é ensinado em uma página. Em uma página o cara tem lá o conceito de inércia. Aqui na escola, os alunos estudam inércia por uma nota de aula que tem quinze páginas, porque inércia é um conceito fundamental para o cara entender mecânica, para depois ele saber o que são forças fictícias, forças reais. Para ele entender realmente a interação, a Terceira Lei de Newton, ele tem que ter o conceito de inércia, que é um conceito extremamente difícil. O próprio Newton levou anos do trabalho dele para definir inércia. Foi mais rápido definir a Segunda Lei de Newton do que inércia. Inércia é um negócio complicado. Então para trazer um menino que acabou de sair da oitava série e colocar o conceito de inércia como se fosse uma coisa simples… não é simples. A possibilidade de um objeto se manter eternamente em movimento em linha reta, sem que nenhuma força esteja agindo, não é algo trivial. Então aqui

a gente pega desde os conceitos de Aristóteles, a gente fala sobre os trabalhos de João Filopono, Jean Buridan, Nicole Oresme, até chegar a Galileu. A gente fala, inclusive, dos erros que Galileu cometeu e depois da síntese de Newton. Isso aí é uma nota de aula de quinze páginas, só para que o menino entenda inércia. E isso tem surtido bons resultados, porque o menino chega no segundo ano, chega no terceiro ano com um bom domínio da mecânica, que é a parte assim… para ensinar na escola de nível médio, é a parte mais amarga do assunto. Quando o aluno acha eletricidade difícil, no terceiro ano, na verdade não é eletricidade que ele acha difícil, é cálculo vetorial e mecânica. A mecânica que há por trás da eletricidade, mas se ele teve uma boa base no primeiro ano, se ele entendeu os conceitos, inclusive o desenvolvimento filosófico do conceito, ele vai dominar mais tranquilamente. Aqui na escola isso tem surtido um bom resultado, então eu agradeço a essas disciplinas que abriram esse lado da minha mente, que eu não conhecia.

[JF] – Qual a importância delas na sua formação? De certo modo você já respondeu, mas se quiser completar…

[AMCN] – Não, é isso, é a abordagem filosófica e histórica que é fundamental no ensino, principalmente agora com o ENEM sendo tão explorado nas Universidades. Já vi questões do ENEM que trazem aspectos filosóficos e históricos das ciências, e isso é muito bom.

[JF] – Considerando agora, especificamente, a Física Básica III. Como você avalia a abordagem utilizada, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina, simultaneamente histórica fenomenológica, matemática e conceitual?

[AMCN] – Foi interessante, porque, inclusive, se a gente for procurar estudar por fontes diversas, a história da eletricidade, o desenvolvimento histórico das ideias da eletricidade não é uma coisa muito comum. A gente acha mais fácil de mecânica, mas estudar o desenvolvimento filosófico das ideias da eletricidade, a gente não encontra isso em livrarias tão facilmente. Então foi muito material usado nessa época e eu tenho o material até hoje, tudo guardado, porque é material difícil de encontrar. Eu lembro que a gente estudou por coleções antigas, *Projeto Harvard*, etc. Então isso aí não é uma coisa fácil de encontrar em livraria hoje em dia. Foi um suporte interessante.

[JF] – Que aspectos lhe chamaram mais a atenção?

[AMCN] – Os aspectos que me chamaram mais atenção, nessa matéria, foi a parte do desenvolvimento filosófico de ideias básicas como, por exemplo, campo elétrico, que é uma coisa complexa de se entender, de passar para os alunos. Esse conceito de carga elétrica, como foram desenvolvidos os primeiros conceitos, as dificuldades a nível de laboratório, os empecilhos tecnológicos da época, então isso tudo foi muito interessante.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III, que assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertou ou lhe despertaram mais interesse?

[AMCN] – É o conceito, principalmente, o conceito de campo.

[JF] – Você considera que esta disciplina esta cumprindo a função para a qual foi criada, que é o de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula?

[AMCN] – Acredito que sim.

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica IV, como você avalia a abordagem utilizada, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[AMCN] – Ela serve como uma base interessante para que a gente compreenda melhor as origens do eletromagnetismo, o desenvolvimento básico dessas ideias.

[JF] – De Física Básica IV, agora só Física Básica IV, que é Quântica e um pouco… você chegou a fazer?

[AMCN] – Física Básica, eu fiz todas as Físicas Básicas.

[JF] – Envolve Ótica, um pouco de Física Moderna.

[AMCN] – Física Moderna… eu não lembro, já tem muito tempo, eu não lembro exatamente se eu peguei Física Moderna. Eu não sei se a gente pegou até esse ponto, mas eu lembro que óptica foi estudada com profundidade.

[JF] – Você foi aluno de Olival?

[AMCN] – Fui.

[JF] – Não… em Física Básica IV?

[AMCN] – Eu fui aluno dele em Física Básica I. Física Básica IV eu não lembro exatamente. Eu não lembro exatamente quem foi o professor não, mas eu fiz todas.

[JF] – Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e IV são optativas para os alunos de Licenciatura, o que o levou a se matricular nestas disciplinas?

[AMCN] – O curso de Física Básica I, porque eu vi que as outras deveriam seguir o mesmo modelo. Física Básica I veio num prato feito, logo no primeiro semestre, então eu percebi, na verdade, que colocar essas matérias como optativas é um erro, elas têm que ser obrigatórias. É fundamental para o professor pegar essas matérias antes de pegar as Gerais e Experimentais, ou então em paralelo, mas tem que pegar. Por isso que eu fiz questão de fazer todas.

[JF] – Você considera que as Físicas Básicas III e IV devem continuar sendo optativa para o Curso de Licenciatura, noturno, ou deve ser obrigatória?

[AMCN] – Devem ser obrigatórias.

[JF] – Considerando a sua experiência como aluno dessas disciplinas, Física Básica III e IV, você acredita que elas devem sofrer alguma modificação significativa? Quais seriam?

[AMCN] – Não, eu acho que o objetivo delas é esse mesmo, acho que está correto.

[JF] – A que você atribui a grande carência de professores de Física para ensinar em escolas de nível médio?

[AMCN] – Eu, durante muito tempo, ensinei em escola pública, no Colégio da Polícia Militar. Desde lá, quando eu perguntava em sala de aula: "Quem aqui vai querer ser professor?", quase ninguém levantava a mão. Aqui, na escola particular que eu ensino, ninguém levanta a mão. É uma profissão que está extremamente em baixa. Ser professor hoje em dia, não sei, é uma área que está extremamente desvalorizada no mercado. Os jovens de classe média, nenhum deles deseja ser professor. Então eu acho que é isso que está acontecendo no Brasil, eu não sei onde isso vai parar, principalmente professores da área de Física, Química, é muito complicado ter alguém que queira. As pessoas aqui, quando os alunos são fãs dessas matérias, eles querem ser engenheiro ou médico, mas professor, ninguém deseja. A profissão está extremamente em baixa, no Brasil, e vamos ver aonde isso vai terminar.

[JF] – Perfeito. Mais alguma questão que você gostaria de tratar e que não foi perguntado?

[AMCN] – Não, pra mim tá tranquilo.

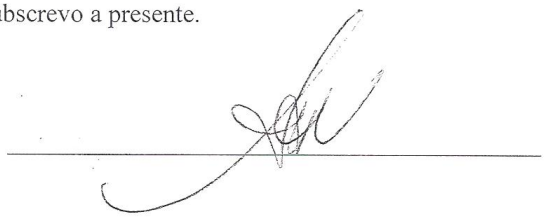
CARTA DE CESSÃO

Salvador, 25 de FEVEREIRO de 2013

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, ALEXANDRO MENEZES DE CARMO NEVES, estado civil, CASADO, documento de identidade, 505.356.18, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 25/02/2013, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.



ANEXO 1.I

ALESSANDRO SILVA DE BARROS

Aluno de Física Básica III (2005.2) e de Física Básica IV (2006.1)

(Entrevista não revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Alessandro Silva de Barros (ASB)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 16/10/2012

[JF] – Alessandro, conte-nos um pouco da sua trajetória de vida.

[ASB] – Bom, estudei minha vida toda no Colégio Salesiano, em Nazaré, colégio católico. Antes de vir fazer Física eu comecei duas graduações, comecei fazendo Informática e Engenharia Elétrica no IFBA, acabei largando ambas para fazer Física. É engraçado, meu pai é físico, e quando foi no terceiro ano, quando fui perguntar pra ele: "Painho, quero fazer física", ele disse: "Você é maluco, quer fazer Física?"… (risos). Aí, por isso que eu tentei os outros dois cursos, e aí brinco dizendo que ele atrasou a minha vida. Atualmente, estou fazendo mestrado, me formei em Licenciatura em Física, terminei também agora o Bacharelado em Física, estou fazendo Física teórica na área de bioestatística com a professora Suany.

[JF] – Perfeito.

[JF] – Você, é… na sua escola existia laboratórios didáticos especialmente de Física?

[ASB] – De Física, não. Existia um laboratório muito ruinzinho, de ciência. Mais biologia, corpo humano, esqueleto, mais nada.

[JF] – O professor de Física era licenciado ou os professores de Física eram licenciados?

[ASB] – Meus professores de Física… sim, sim, eu tive três professores de Física e os três eram licenciados.

[JF] – Interessante.

[JF] – Em que ano você ingressou no Curso de Licenciatura em Física, foi diurno ou noturno?

[ASB] – Eu comecei em 2004, noturno.

[JF] – E formou quando?

[ASB] – 2009.

[JF] – Qual a sua expectativa como estudante ao ingressar no Curso Licenciatura em de Física, qual eram os seus sonhos?

[ASB] – Caramba, quando eu entrei em Licenciatura eu queria realmente dar aula de Física, só que depois que eu me formei aquela vontade de dar aula foi diminuindo, eu não me via trabalhando os três turnos em sala de aula não.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física atendeu às suas expectativas?

[ASB] – Inicialmente sim, não tenho do que reclamar do meu curso noturno não.

[JF] – Bom, o curso noturno de Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais Experimentais, que são denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV. Entre outras características essa disciplinas foram propostas com o objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado dos assuntos. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em Física?

[ASB] – Na minha opinião, o grande diferencial do curso noturno pro diurno são essas quatro disciplinas básicas. Primeiro que a Física é apresentada de uma maneira diferente, só o fato de você conseguir voltar ao tempo, entender como os pensadores da época pensavam, entender o momento histórico que eles viviam, o contexto no qual eles viviam, em que eles acreditavam, entender como aquelas ideias foram evoluindo, isso eu acho muito bacana, foi uma das partes que eu mais gostei.

[JF] – E com relação da parte experimental?

[ASB] – É, assim, enriquece muito, porque foge da Experimental I, no caso da Física tradicional que é só conta, quadro, giz. É você observar o fenômeno, quebrar até algumas crenças que a gente tinha, verificar até algumas coisas erradas no livro que eles trazem, você ver isso na pratica é muito bacana.

[JF] – Qual a importância delas na sua formação acadêmica?

[ASB] – Cara, eu acho que graça a ela, eu costumo dizer hoje em dia que Física, antigamente eu falava que Física era só Matemática, só fórmula. Hoje eu costumo dizer que Física, além da Matemática, tem uma parte histórica que precisa ser abordada, tem uma parte conceitual que é importante também, então, a evolução das ideias também é importante além da Física-Matemática. Então, antes de ter o conhecimento das Físicas Básicas eu acreditava que Física era só Matemática, além da experimental.

[JF] – Como você avalia o resultado da abordagem adotada em sala de aula simultaneamente histórica, fenomenologia, matemática e conceitual na apresentação dos assuntos estudados?

[ASB] – Inicialmente a gente estranha um pouquinho, porque a gente está acostumado a outra metodologia, mas depois que a gente acostuma e entende como é o espírito da disciplina, a gente gosta e dificilmente quem faz elas eu acredito… que não consiga fazer diferente, acaba utilizando da mesma metodologia.

[JF] – Que aspectos lhe chamaram mais atenção?

[ASB] – As aulas não tinham respostas prontas, as respostas partiam mais dos alunos, geralmente o professor faz a pergunta e ele mesmo responde. O que eu achava interessante da disciplina é que as perguntas surgiam e a gente olhava, observava os experimentos, discutia como os colegas até mesmo com o professor, a gente mesmo formava a resposta, o professor orientava, guiava mas as respostas partiam mais dos alunos do que do professor.

[JF] – Você considera que essas disciplinas estão cumprindo a função para a qual foram criadas? Que é o de contextualizar os assuntos.

[ASB] – A Física Básica II foi a física que mais distorceu da ideia inicial do programa apesar… a Física I, III e IV,… não sei se porque o material que o pessoal tem de Física II… não sei… acabou sendo um pouquinho mais matemática, mais fórmula do que contextualizado, histórico.

[JF] – Perfeito. E no que diz respeito a Física Básica III, só vamos pensar agora em Física Básica III, esquecer as outras pra poder… Como você avalia o resultado da abordagem utilizada em sala de aula na apresentação dos assuntos do eletromagnetismo, em Física Básica III?

[ASB] – Olha, eu gostei muito, principalmente quando foi apresentado o GREF. Eu não conhecia o GREF, a maneira como o GREF aborda os assuntos abriu assim um leque pra mim, uma oportunidade para uma nova maneira de abordar o assunto de eletricidade, ter contato com motores elétricos, fenômenos elétricos, presenciar, fazer, mexer, também eu gostei bastante.

[JF] – Perfeito.

[JF] – Então você considera que esta disciplina especificamente está cumprindo a função para a qual foi criada?

[ASB] – Sim, Física Básica III.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III. Qual assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertaram mais interesse?

[ASB] – O bom de Física Básica III é que a gente consegue relacionar com a Física Experimental, até mesmo com o laboratório. A parte que eu mais gostei de Física III, o conteúdo, acho que foi o próprio eletromagnetismo.

[JF] – Algum tópico especifico… que você lembra, que você tenha… alguma coisa que você tenha destacado?

[ASB] – O que eu lembro muito eram os motores que eu estudava, via e não sabia como, hoje em dia eu faço até em sala de aula, faço com os alunos, porque é muito fácil fazer um motorzinho daquele, eu peço para eles fazerem.

[JF] – Bom, agora considerando especificamente a disciplina Física Básica IV, só a IV. Como você avalia a abordagem utilizada pelo professor para a apresentação dos assuntos utilizados nesta disciplina? Você fez a disciplina Física Básica IV?

[ASB] – Fiz, fiz sim.

[JF] – Ótica e Física Moderna.

[ASB] – Eu lembro de uma aula de espelho, eu quase fiquei maluco… lado direito, lado esquerdo…(risos)… diversão. Como por exemplo em Física IV, outro mito que eu quebrei na época era a mistura de cores, principalmente de luz era estudado no livro quando fui fazer na parte experimental eu vi que não acontecia bem aquilo, aquilo marcou bastante que quebrou bem um dogma que eu tinha, que eu meditava. Assim, a parte experimental de Física IV tem até mais coisa que a Física III.

[JF] – Bom, que aspectos lhe chamaram mais atenção em relação a Física Básica IV?

[ASB] – Bom, a Física Básica IV tem bastante coisa, eu lembro de estudo de refração, bastante coisa, polarização, bastante coisa.

[JF] – Você considera que esta disciplina está cumprindo a função para a qual foi criada?

[ASB] – Sim, também a Física IV, sim.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo, de certo modo você já falou.

[JF] – Qual assunto ou quais assuntos em Física Básica lhe despertaram mais interesse? Alguma coisa com a Física Moderna, não?

[ASB] – Física Moderna, na minha época a gente estudou alguma coisa de Física Moderna eu não lembro.

[JF] – Bom…

[ASB] – A gente fez a fenda, acho que a gente fez…

[JF] – Teve também a parte da experiência de Michelson-Morley.

[ASB] – Teve a… interferômetro.

[JF] – Interferometria, teve a experiência de quem mais… do efeito fotoelétrico

[ASB] – Eu estava em duvida se isto tinha sido aqui ou em Estrutura da Matéria.

[JF] – Como você sabe as disciplinas Física Básica III e IV são optativas para os alunos de licenciatura. O que o levou a se matricular nessas disciplinas?

[ASB] – Inicialmente foi porque eu queria eliminar duas disciplinas do Bacharelado, do diurno, mas eu não me arrependo em nada de ter feito, porque como eu posso dizer, deu uma outra maneira de olhar a Física de outros conteúdos, principalmente de Eletro, de Física III, Física IV.

[JF] – Você considera que as Físicas Básicas III e IV devem continuar sendo optativas para o Curso em Licenciatura em Física ou devem ser obrigatórias ou mesmo devem ser excluídas do currículo?

[ASB] – Não, devem ser obrigatórias. Uma coisa que eu acho interessante até o fato da Física Básica I vir primeiro do que a Física Experimental I, isso é uma jogada bem bacaninha, que o aluno já não chega tão verde na disciplina sabe? Acho que até essa diferença que eles fazem, acho importante manter, isso é obrigatório.

[JF] – Você acha que as Físicas Básicas I, II, III, IV devem ser oferecidas também para alunos de Bacharelado?

[ASB] – Com certeza, na verdade tem que igualar isso, e se igualar tem que ser igual a do noturno, que eu acho que o cronograma do noturno é muito melhor do que o do diurno.

[JF] – Considerando a sua experiência como aluno dessas disciplinas, você acredita que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa?

[ASB] – Nenhuma que eu me lembre agora professor.

[JF] – Uma questão final. A que você atribui a grande carência de professores de Física no ensino de nível médio? Qual é a causa que você relaciona?

[ASB] – Professor, os alunos que a gente forma aqui, não estão indo para a sala de aula, principalmente para o Estado, por causa da remuneração que é muito baixa, acaba que os alunos que a gente forma, além de não suprir a necessidade que tem, eles não ficam em Física, no ensino de Física, no ensino médio. É mais por causa do salário mesmo.

[JF] – Você acha que o salário é o principal fator?

[ASB] – É.

[JF] – Perfeito. Então, *stop*.

Interrupção

[JF] – Eu deixei de perguntar alguma coisa que você queria falar?

[ASB] – Não, não.

[JF] – Bom, não havendo mais nada a falar vamos encerrar aqui a entrevista.

CARTA DE CESSÃO

Salvador, 29 de Janeiro de 2013

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, ALESSANDRO SILVA DE BARROS estado civil, CASADO, documento de identidade, 8891042 39, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 16/OUT/2012 para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

Alessandro S. de Barros

ANEXO 1.J

IONÁ ALMEIDA DE BRITO

Aluna de Física Básica III (2007.1) e de Física Básica IV (2010.2)

(Entrevista não revisada pela entrevistada)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Ioná Almeida de Brito (IAB)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 22/11/2012

[JF] – Conte-nos um pouco da sua trajetória de vida.

[IAB] – Bom, eu nasci no interior da Bahia, em Itororó, e morei lá 11 anos. Depois me mudei para Salvador, vim morar com os meus irmãos e depois veio minha mãe. Meus pais são separados, minha mãe veio e meu pai continuou no Interior. Estudei lá até a 5.ª série, na época, 5.ª serie ginasial, eu fiz em colégio público, lá no Interior e, quando eu vim pra cá, eu fiz a 6.ª, 7.ª e 8.ª séries na Sacramentinas, que fica ali no Garcia. Depois fiz Escola Técnica. Entrei pra Escola Técnica, fiz Geologia na Escola Técnica, que é um curso muito interessante. A Escola Técnica foi uma experiência muito boa. Depois comecei a trabalhar com Geologia, na Petrobrás, mesmo como técnica de Geologia. Entrei pra fazer Faculdade de Geologia, na verdade, minto, antes de entrar pra Petrobrás, eu já estava fazendo Faculdade de Geologia. Daí fui morar em Aracajú, por conta da Petrobrás. Com a dificuldade da distância acabei abandonando o curso depois de eu ter feito mais da metade do curso de Geologia, abandonei o curso de Geologia da UFBA. Consegui transferência pra Salvador, mas daí o curso já não era mais, já não fazia mais parte, assim, acabei abandonando o curso de Geologia e, depois de um tempo, senti a vontade de voltar a estudar, depois de cinco anos. Aí resolvi entrar na área de humanas, resolvi fazer Psicologia, fiz Psicologia na UFBA, trabalhando e estudando naquela dificuldade toda, mas concluí o curso. À época imaginava trabalhar com Psicologia, mas depois, no decorrer do curso, me dei conta que não tinha nada a ver mesmo trabalhar com Psicologia. O que eu queria mesmo era estudar, fazer o mestrado, o doutorado, talvez ensinar na área de humanas e tudo mais, trabalhar mesmo como Psicóloga, não. Então, nunca trabalhei como Psicóloga mesmo, continuei trabalhando na Petrobrás até que me apareceu a vontade de estudar Física. Voltei para a Área I que foi uma coisa que sempre gostei, de Física, Matemática, e aí descobri que tinha o curso noturno de Licenciatura em Física e resolvi fazer, e fiz o curso. Gostei muito e agora eu estou tentando fazer Bacharelado! Espero que criem o Bacharelado, noturno, para que eu consiga fazer.

[JF] – A intenção é criar.

[JF] – Na sua escola havia laboratórios didáticos de física?

[IAB] – Qual escola?

[JF] – Ensino Médio

[IAB] – Ensino médio, na Escola Técnica, sim, existia laboratório, era bem simples, mas existia.

[JF] – O professor de Física era licenciado?

[IAB] – Não sei dizer, não tenho essa informação.

[JF] - Em que ano você ingressou aqui no Curso de Licenciatura em Física?

[IAB] – 2006.

[JF] - Quando se formou?

[IAB] – Formei em 2010.

[JF] - Você está ensinando atualmente em alguma escola?

[IAB] – Não.

[JF] – Qual a sua expectativa como estudante ao ingressar no Curso de Licenciatura em Física?

[IAB] – Na verdade, pela minha trajetória você deve perceber que minha intenção não era bem ensinar Física! A minha intenção era estudar Física, e se tivesse um curso de Bacharelado, noturno, eu teria optado pelo Bacharelado, noturno, mas, infelizmente, essa é a verdade, mas foi muito bom ter feito a Licenciatura, algumas coisas importantes que não têm no Bacharelado, têm na Licenciatura!

[JF] – Você, de certo modo, já respondeu a pergunta que segue: O curso noturno de Licenciatura em Física atendeu as suas expectativas?

[IAB] – o Curso de Licenciatura, noturno, atendeu sim, apesar de eu achar que a parte ligada a educação, na Faculdade de Educação deixa bastante a desejar, mas atendeu.

[JF] – Bem, o curso noturno de Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais Experimentais, que são denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV. Entre outras características, essas disciplinas foram propostas com objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim um estudo contextualizado dos assuntos. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em Física?

[IAB] – Essa é uma pergunta chave! Eu acho que elas são fundamentais, acho que são muito importantes. Agora, como eu falei antes, a necessidade dessas disciplinas…, não sei se estou falando corretamente, mas a impressão que eu tenho é que a necessidade dessas disciplinas veio de uma deficiência da própria Física Geral Experimental, da maneira como ela é colocada. Eu acho que são disciplinas muito deficientes que existe uma falta de entrosamento da parte prática e da parte teórica. Os laboratórios são mal desenvolvidos por culpa dos alunos e dos professores, eu acho também, ou da própria maneira como a disciplina é estruturada! Então não tem espaço para você discutir muita teoria, não tem espaço para você discutir a teoria do experimento, o que está por trás daquele experimento, no fundo daquilo, e a história da ciência que também está envolvida no experimento, na teoria, isso tudo eu acho que as Físicas Básicas vêm suprir! Vêm suprir esse aprofundamento nas discussões, na história da ciência, na teoria que está por trás daquele experimento, daquela descoberta, daquele cientista. Então as Físicas Básicas, se o papel é esse, elas cumprem bem. Não sei, as Físicas Gerais Experimentais poderiam, se fossem reformuladas, suprir isso. Entendeu? Não sei, esta é uma questão, mas que elas precisam ser reformuladas, precisam. Eu acho.

[JF] – Qual a importância dessas quatro Físicas Básicas na sua formação acadêmica?

[IAB] – A Física Básica I me fez, de cara, despertar para a História da Ciência! E eu tinha uma certa curiosidade, mas eu nunca tinha mergulhado como eu passei a mergulhar depois dessa disciplina, então a primeira grande importância é essa, eu acho. E as outras assim… é uma questão de aprofundamento mesmo, da discussão, do detalhe, de você tirar dúvida, coisas que ficaram mal esclarecidas nas Físicas Gerais Experimentais, entendeu, de você realmente se aprofundar nos temas.

[JF] – Bom, considerando agora especificamente a disciplina Física Básica III. Como você avalia a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[IAB] – Já tem uns dois ou três anos que fiz essa disciplina! Mas eu acho um método muito interessante, porque instiga o aluno a pensar mesmo e a se questionar sobre alguns dogmas que a gente ouve como… que chegam pra gente muito prontos, as verdades, verdades entre aspas, da Física, da ciência de uma maneira geral, que chegam pra gente como prontos e nessa disciplina, a maneira como o professor coloca. Usa os temas, faz o aluno pensar muito sobre essas coisas que ele ouviu, será que é isso mesmo, será que não é, ou seja, desperta no aluno uma curiosidade científica, com questionamento! Vamos fazer experimentos pra vê se é isso mesmo, vamos vê se é isso mesmo, será que é isso mesmo. Então isso é importante, até para o professor, pra formação do professor também.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III. Qual assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertou ou lhe despertaram mais interesse? Você lembra?

[IAB] – Não consigo destacar não, talvez a parte de ótica.

[JF] – Ótica é Física Básica IV.

[IAB] – É Física Básica IV, não consigo destacar um assunto não.

[JF] – Certo.

[JF] – Você considera que esta disciplina está cumprindo a função para a qual foi criada, que é o de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula? Articulando história, fenomenologia matemática, conceitos,…

[IAB] – Acredito que sim.

[JF] – Vamos considerar agora especificamente a Física Básica IV que é a parte de Ótica e introdução a Física Moderna. Como você avalia a abordagem utilizada, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos Física Básica IV?

[IAB] – Eu penso basicamente a mesma coisa que eu penso em Física Básica III, o mesmo professor e o método bem parecido, assim… de estar o tempo todo questionando mesmo, fazendo o aluno pensar aquilo que ele já havia ouvido antes, mas que nunca tinha se aprofundado e tinha pensado antes sobre isso. Eu só tenho uma questão sobre essas duas disciplinas, que vou voltar de novo àquela história da Física Geral Experimental. Talvez se a Física Geral Experimental tivesse um laboratório mais eficiente, que o aluno realmente aprendesse com o laboratório da física, talvez a parte prática dessas duas físicas pudesse ser, não substituída, porque eu acho ela fundamental, mas ela pudesse ser menos detalhada, que tivesse um tempo menor dentro do conteúdo da disciplina do que a teoria, ou seja, a teoria… do questionamento, da investigação, do debate em torno de algumas questões, talvez devesse ter um espaço maior do que na parte pratica hoje. Entendeu? Eu não sei se deveria, mas é uma questão também.

[JF] – Interessante!

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica IV, quer dizer, que trata de Ótica e elementos da Física Moderna. Qual assunto, ou quais assuntos de Física Básica IV lhe despertou ou lhe despertaram mais interesse? Lembra de algum?

[IAB] – Ah! Lembro, quando entra em Física Moderna, em Mecânica Quântica, aquelas discussões sobre o iniciozinho sobre Mecânica Quântica, Planck, Einstein, sempre gostei dessa parte, tem discussões muito interessantes, sobre aqueles experimentos também dessa época que a gente discutiu muito sobre isso, é muito, muito interessante.

[JF] – Você considera que Física Básica IV está cumprindo a sua função que é o de contextualizar os assuntos estudados, articulando experimentos com história da Física, matemática e conceitos?

[IAB] – Está cumprindo bem.

[JF] – Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e IV são optativas para os alunos de Licenciatura. O que a levou a se matricular nessas disciplinas?

[IAB] – Bom, primeiro Física Básica III. Matriculei por interesse mesmo, porque eu queria aprender mais sobre eletromagnetismo, porque eu achei deficiente o curso de Física Geral Experimental,

[JF] – Você já tinha feito Física III?

[IAB] – Já tinha feito Física Geral Experimental III, tinha muitas dúvidas, sempre tive problema com eletromagnetismo, então eu queria mesmo poder aprender mais. Já tinha ouvido falar bem da disciplina, do professor, então, fiz com essa intenção mesmo. Física Básica IV eu me matriculei primeiro como ouvinte, porque eu estava com problema de horário e não sabia se iria cumprir até o fim, então, na verdade, eu não me matriculei, eu comecei a assistir como ouvinte, porque eu sabia que não iria precisar para me formar em Licenciatura, estava com o quadro de optativas já feito, cumprido, sabia que não iria precisar para me formar, então assisti como ouvinte, a principio, e acabou que eu não consegui conclui, fui só até a metade. Depois eu me matriculei novamente. Aí já foi com a intenção de cumprir a carga horária pra poder aproveitar para o Bacharelado que eu sabia que eu precisava para ser dispensada da Física Geral Experimental IV, do Bacharelado. Eu precisaria complementar com Física Básica IV, da Licenciatura, então eu me matriculei, por isso e acabei concluindo.

[JF] – Você considera que as Físicas Básicas III e IV devem continuar sendo optativas em para o Curso de Licenciatura em Física ou devem se tornar obrigatórias?

[IAB] – Acho que devem se tornar obrigatórias.

[JF] – Por que?

[IAB] – Por que? Pela importância que ela tem mesmo na formação, tudo, por tudo que eu já falei e também pelas deficiências das Físicas Gerais Experimentais III e IV.

[JF] – Considerando a sua experiência como aluna dessas disciplinas Física Básica III e IV, você considera que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa?

[IAB] – Não, a não ser naquele detalhe que falei, talvez repensar o tempo dedicado a prática nessas disciplinas. Mas eu nem sei se, não é uma opinião clara, é uma ideia, talvez.

[JF] – A que você atribui a grande carência de professores, a falta de professores de Física para ensinar em escolas de nível médio?

[IAB] – Ah! Eu acho que apesar de nunca ter ensinado, eu imagino, por tudo o que eu já vivi na disciplina de Metodologia e conversando com os colegas que dão aula, eu acredito que seja

muito difícil realmente, por que você tem que lidar com alunos com diversos problemas relacionados a própria vida deles mesmo, a vida familiar, etc. Tem que lidar com alunos que não têm base, que têm muito pouco conhecimento sobre aquilo, então o conteúdo da disciplina, ao invés de dar conteúdo mesmo da disciplina, você tem que ficar dando coisas básicas que eles já deveriam saber desde o primário, então muitos não sabem, é um ambiente de sala de aula difícil de lidar, eu acho uma profissão difícil, então, eu acredito, por isso, que muita gente desiste e vai fazer outra coisa, mas eu acho importantíssima.

[JF] – Você relaciona com o salário?

[IAB] – Ah! O salário ainda tem isso. E eu nem falei o mais importante, os baixos salários. Não se sente reconhecido realmente. A relação aluno professor hoje em dia é uma relação complicada. A figura do professor já não é tão respeitada, como era no passado. Juntando tudo isso aos baixos salários, são uns verdadeiros heróis, os que ficam.

[JF] – Você, quando fez Física Básica IV, você já tinha feito Física Experimental IV?

[IAB] – Já, Já tinha feito.

[JF] - Você fez o inverso. Você primeiro fez as Gerais Experimentais pra depois fazer as Físicas Básicas. Você não pode saber com as Físicas Básica III e IV impactaram nas outras, porque você fez o inverso.

[IAB] – Eu fiz isso em todas elas inclusive.

[JF] – Ah! foi? A Física Básica I também?

[IAB] – A Física Básica I foi ao mesmo tempo, ou não é pré-requisito?

[JF] – Não é pré-requisito não.

[IAB] – Eu acho que fiz ao mesmo tempo. Não, na verdade, o que aconteceu foi que a Física Geral e Experimental I, eu aproveitei, porque eu já tinha feito em Geologia. Aí eu aproveitei a I. Só assisti como ouvinte a I. Depois eu achei tão ruim que eu acabei largando a Geral Experimental. Eu estou dizendo, depois eu fiz a Básica. Agora a II eu estou em dúvida. Eu acredito que tenha feito depois, primeiro eu tenha feito a Geral Experimental, depois eu tenha feito a II, a Básica.

[JF] – Há mais alguma questão, algum ponto que você gostaria de falar que eu não perguntei?

[IAB] – Não… assim… você perguntou sobre a importância das disciplinas para o curso de licenciatura. Bem, a importância é tudo isso que eu falei mesmo e mais, eu acredito que elas também sejam muito importantes para o curso de Bacharelado.

[JF] – Porque?

[IAB] – Por tudo o que falei, o que eu falei… a formação do Bacharel em Física… eu acho que não é só o Licenciado em Física que precisa ter essa base, essa contextualização, esse conhecimento da Historia da Ciência, o questionamento em cima dessas coisas, dessas ideias. Tudo eu acho importante para o Bacharel também. É tão importante quanto. Ou você melhora a Física Geral Experimental, do Bacharelado, pra que dê, pra que supra esse conteúdo, ou então você coloca elas no curso de Bacharelado.

CARTA DE CESSÃO

Salvador, 22 de novembro de 2012

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, Ioná Almeida de Brito, estado civil, solteira, documento de identidade, 2.598.610, SSP-BA, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 22/11/2012, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

ANEXO 1.K

CLEBER DE SOUZA SILVA

Aluno de Física Básica III (2008.1) e de Física Básica IV (2010.2)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Cleber de Souza Silva (CSS)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 30/10/2012

[JF] – Cleber, conte-nos um pouco da sua trajetória de vida?

[CSS] – Bom, então, em geral… eu fui nascido e criado em Camaçari. Eu resido até hoje em Camaçari. Atualmente, eu continuo trabalhando, enquanto professor, em Camaçari. Eu entrei na graduação, em Licenciatura em Física, em 2007, com o intuito já de fazer a licenciatura, pensando em ser professor de Física.

[JF] – A sua escola era pública, a sua escola, antes de chegar na Universidade, era pública ou particular?

[CSS] – Particular.

[JF] – Na sua escola havia laboratórios didáticos de Física?

[CSS] – Não.

[JF] – O professor de física era licenciado?

[CSS] – Não.

[JF] – Você já se formou?

[CSS] – Já.

[JF] – Você está ensinando atualmente em alguma escola?

[CSS] – Estou. Estou ensinando atualmente na rede estadual.

[JF] – Na época em que você era estudante, você já ensinava?

[CSS] – Já.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura m Física atendeu as suas expectativas?

[CSS] – Sim, com alguns parênteses, mas em geral para dar uma resposta objetiva, eu diria que atingiu.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais Experimentais, que são denominadas Físicas Básicas I, II, III

e IV. Entre outras características, estas disciplinas foram propostas com objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado dos assuntos estudados. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em Física?

[CSS] – Bom, então, primeiramente, eu acho que essas quatro disciplinas, as disciplinas quando eu fiz, as Físicas Básica I, II, III e IV, elas alcançaram o objetivo de aprofundar na discussão conceitual das teorias Físicas, articulando também a questão histórica, cumpriu seu objetivo. E também ela cumpre um objetivo, que eu diria que é um objetivo implícito, que aí eu trago enquanto professor, que seria a forma de se falar sobre Física, de se refletir sobre a Física, certo?

[JF] – Que forma é essa?

[CSS] – Aí ficaria claro, comparando com as Físicas Gerais, que são tradicionais do Curso de Física, no Brasil, pelo menos. Por exemplo, na minha leitura, os cursos de Física Geral, você não consegue tá pensando à respeito dos próprios fenômenos e pensando à respeito das teorias. Coisa que a gente consegue fazer nas Físicas Básicas. Aí então é assim… eu não estou colocando, por exemplo, que as Físicas Básicas são mais importantes que as Gerais. Nas Gerais, a gente faz as contas, faz as demonstrações, as contas matemáticas mesmo, que são necessárias serem feitas. Olhando para a minha formação, enquanto professor, eu acho que o movimento de fazer todas as contas, teoria por teoria, com pressa, na Física Geral, é importante, mas o momento de você olhar para essas teorias e pensar e repensá-las, eu acho que também é necessário, certo? E aí articulando com a questão histórica também, que, ao meu ver, elas cumpriram. Mas, por exemplo, conversando com alguns colegas, eu já percebi que nem sempre essas disciplinas seguem esse direcionamento, apesar de formalmente existir uma ementa, uma direção para a disciplina, nem sempre essas seguem e…

[JF] – Essas quais?

[CSS] – As Físicas Básicas.

[JF] – Todas elas?

[CSS] – Sim, não, quer dizer, a III e a IV não. Mas, por exemplo, a Física Básica I e a Física Básica II - relatos de corredor, de estudante - é que, muitas vezes, elas não têm o direcionamento tal qual é proposto, principalmente quando ela é ministrada por professores que não receberam esse tipo de formação, que não produziram conhecimento nesse sentido.

[JF] – Qual a importância dessas Físicas Básicas na sua formação?

[CSS] – Então, na minha formação, a primeira coisa é a compreensão das leis físicas, a primeira coisa é essa, entendeu? Pra entender a própria teoria, equações de Maxwell; pra entender a própria teoria da Mecânica de Newton, a relação com a cinemática, o que é a cinemática no contexto da teoria de Newton, enfim, os problemas que dão origem a essa teoria, é importante; esse é o primeiro ponto. O segundo ponto, é da atitude do professor em sala de aula não ser simplesmente, enfim, disposição que segue o ensino tradicional. Então isso não está bem definido nas disciplinas, mas eu percebi, enquanto estudante, que ela abre mais o diálogo, ou seja, a gente aprende mais a falar sobre Física, a comunicar falando da Física, coisa que não existe tanto nas Físicas Gerais. Então, falar sobre Física acontece bem mais explícito, fica bem mais exercitado durante as Físicas Básicas.

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica III. Como você avalia a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[CSS] – Bom, só tentando… porque assim… pelo menos a Física Básica III e a Física Básica IV, eu vejo que elas seguem uma linha metodológica que está bem ligada ao exercício do pensamento, ou seja, o professor traz os questionamentos para os estudantes pensarem e tentarem conversar sobre aquela teoria física, que está ali em volta daquele fenômeno, que se pretende estudar. Então eu acho essa metodologia interessante, essa metodologia boa, que os estudantes conseguem falar sobre, conseguem trazer as ideias que eles já têm e aí confrontar, confrontar não, dialogar essas falas do estudante com o que o professor tem a dizer e com o material que está sendo utilizado ali também. Sempre tem um material de apoio, então eu qualificaria como uma abordagem boa.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo, agora só o conteúdo de Física Básica III. Que assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertou ou lhe despertaram mais interesse? Em que ano você fez? Em 2008?

[CSS] – Física Básica III, acho que foi em 2008, quatro anos, não é isso? Bom, assim… o que eu gostava mais de estudar em casa, acompanhar a disciplina, o que me despertava mais interesse era a questão da evolução do conhecimento, do ponto de vista histórico, certo? Então, eram textos que, enfim, eram muito bons de serem lidos e, durante as aulas, a questão de estar conversando a respeito dessa leitura e também o confrontar o discurso com as experiências que eram feitas, então, o discurso não só dessa evolução histórica, mas, por exemplo, uma lei Física que está dada, confrontar essa lei Física que está dada com os experimentos, as discussões em volta desses dois pontos eram positivas, ao meu ver. Tipo um tema específico assim eu não tenho em mente. Mas existem vários experimentos que eu lembro que foram legais, tipo os de eletrostática, enfim, com as lâminas de metal, de borracha, enfim, e aí muitas vezes a gente utilizava os termos, por exemplo, históricos, como eletricidade vítrea, eletricidade resinosa, enfim, então isso me chamou muita atenção também.

[JF] – Você considera que esta disciplina esta cumprindo a função para a qual foi criada, que é o de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula?

[CSS] – Sim.

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica IV, só a IV. Como você avalia a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[CSS] – Daria a mesma qualidade da Física Básica III, com uma ressalva positiva, em relação à Física Básica IV, que é… apesar da dificuldade de se produzir os experimentos principalmente na parte de Física Moderna, a gente não saiu da Universidade sem ver pelo menos esses experimentos cruciais, pelo menos a nível demonstrativo e etc. Então a metodologia é boa, não se deixou de fazer as coisas devido à dificuldade de reproduzi-las, enfim, então, só.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica IV. Que assunto, ou quais assuntos de Física Básica IV lhe despertaram mais interesse?

[CSS] – Bom, Física Básica IV, particularmente eu peguei Física Básica IV, eu já tinha feito Física Geral IV. Então foi o momento de consolidar aqueles conteúdos voltados à questão das ondas eletromagnéticas, inclusive que me despertou bastante interesse na época foram uma das contas mais bonitas que eu achei, que eu fiz na graduação, aquelas coisas de vê a onda no papel. E também me chamou bastante atenção a parte das contas, quando a gente começou a fazer as contas de probabilidade, mesmo que superficialmente, lá dos trabalhos de Schrödinger, trabalho com aquele formalismo probabilístico, mesmo que superficial, foi bem interessante, porque era a minha grande curiosidade, entendeu? Inclusive o parêntese que eu coloquei no início, sobre a Licenciatura em Física vai também nesse sentido. Eu acho que até

aonde a gente vai de Física Moderna na Estrutura da Matéria I, eu acho que é pouco, entendeu? Por exemplo, Física Básica IV, ela me levou a algumas interrogações a respeito da Física Quântica nova. Que tem a Física Quântica velha, Física Quântica nova, que sequer as interrogações eu tinha tido contato, então, essas interrogações, ela me trouxe.

[JF] – Você considera que esta disciplina esta cumprindo a função para a qual foi criada, Física Básica IV?

[CSS] – Sim.

[JF] – Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e IV, são optativas para os alunos da Licenciatura noturna. O que o levou a se matricular nessas disciplinas?

[CSS] – Justamente esse caráter contextualizador e histórico da disciplina. Eu fiz a Física Básica I e particularmente gostei e entendi que aprendi muito com a disciplina, então eu resolvi fazer a Física Básica III e aí, por consequência, a Física Básica IV, ou seja, aquela coisa que eu já falei, de você estar falando sobre Física e está pensando aquelas coisas que a gente vai estudar.

[JF] – Você considera então que as Físicas Básicas III e IV devem continuar sendo optativas para o Curso de Licenciatura em Física, noturno, ou devem ser excluídas ou talvez se transformar em obrigatórias?

[CSS] – Bom, eu acho que ela deve se tornar obrigatória do ponto de vista formal, porque, do ponto de vista operacional, digamos assim, pra o estudante de Licenciatura noturna, como a gente tem pouca oferta de disciplina optativas no turno da noite, então, operacionalmente, elas são quase que obrigatórias. Mas, enfim, eu afirmo essa coisa de torná-las obrigatórias sim. Da mesma forma que a I e a II, também encaro que elas continuem obrigatórias, o mesmo eu defendo pra III e IV que continuem sendo obrigatórias, mas com uma ressalva, com a ressalva de que os professores que ministram a disciplina sejam aqueles professores que estejam dispostos a cumprir a proposta das disciplinas, porque senão fica realmente um espaço vazio. Uma carga horária que só vai ser cumprida do ponto de vista formal, porque, efetivamente, para a formação não contribui não.

[JF] – Considerando a sua experiência como aluno dessas disciplinas Física Básica III e IV, você acredita que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa?

[CSS] – Deixe-me pensar. Por exemplo, uma coisa que me veio em mente só agora, é com relação… a pergunta foi qual mesmo? Conteúdo? Ementa?

[JF] – Se elas devem ser modificadas.

[CSS] – Por exemplo, no discurso do professor da Física Básica III e IV, quando a gente fazia o experimento, tava muito marcada essa coisa do experimento, aquele experimento em si provar, ou seja, bater o martelo em se isso aqui está provado ou não está provado, entendeu? Então, como é uma disciplina que abraça o viés histórico, contextual e conceitual, eu acho que, não sei em que medida, eu acho que poderia ter também um espaço para uma preocupação epistemológica, certo? Enfim, por exemplo, não sei se explicitamente essa discussão epistemológica, mas talvez ela pudesse aparecer,… não sei, na discussão do professor, essa coisa de uma preocupação com a visão de ciência que é reproduzida naquela conversa, no limiar das disciplinas. Então, por exemplo, fazendo uma crítica com um olhar *baconiano* de ciência positivista, a gente percebe que aquele experimento,… até mesmo o experimento da disciplina, que é um experimento qualitativo, que a gente não faz tantas experiências, então esse discurso de que "tá provado e bateu o martelo", eu não vejo que seja bem assim. Enfim, existe a abertura para a critica dos estudantes, só que, por exemplo, essa critica, no momento do experimento, ela não aparece, as pessoas reforçam.

[JF] – A que você atribui a grande carência de professores de Física para ensinar em escolas de nível médio?

[CSS] – Eu atribuo, primeiro, ao interesse das pessoas em ser professor e, segundo, ao interesse das pessoas em ser professor de Física. E aí o interesse das pessoas consequentemente está atrelado com problemas de ordem social mesmo. Que é uma questão de incentivo que o país dá a essa profissão e o respaldo social que essa profissão traz. Então eu acho que é isso.

[JF] – Então você acha que salário de certo modo influencia ou não influencia?

[CSS] – De certo modo, influencia, porque, inclusive, eu conheço algumas pessoas que sentem uma grande identificação com a Física e com a ideia de ser professor e por conta de questões, não diria nem de respaldo social, mas da sobrevivência mesmo, de se manter enquanto professor, acabam desistindo de seguir a carreira e acabam procurando alguma coisa pra fazer.

[JF] – Agora, pra fechar o raciocínio, que influência, ou que impacto o curso de Física III teve nos seus estudos?

[CSS] – Física III ou Física Básica III?

[JF] – Física Básica III.

[CSS] – Meus estudos durante a graduação, posterior ou os dois?

[JF] – O que você quiser considerar.

[CSS] – Tudo bem. Enfim, durante a graduação, eles me influenciaram no sentido de abrir essa janela, que eu estou sempre repetindo, de dar oportunidade de estar sempre conversando sobre a Física, sobre o que você se dedicou cinco anos, como espaço de discussão, de aprender como falar, e sobre as teorias de fato, então ele cumpre essas funções. Pro meu estudo, primeiro, de aprender mais Física, a oportunidade de falar sobre Física e aprender a falar sobre Física e, posterior a graduação, é… enfim… porque hoje eu faço mestrado na área de Ensino de Física, então essa decisão de ingressar no mestrado na área de Ensino de Física, não, por exemplo, no Mestrado em Física, eu atrelo também a minha vontade inicial de ser professor de Física, que a principio era ser professor da escola média mesmo, certo? E aí quando eu entro na Universidade, as discussões são em volta da educação. Eu não fui de deixar de mão, eu fui abraçar as discussões sobre educação e aí também entra a questão de como ensinar Física. Então, as disciplinas de Física Básica contribuem também nesse sentido, de como ensinar Física, ou seja, por ela estar preocupada… essa coisa mesmo se a pessoa está aprendendo Física daquela forma tradicional e corrida, então ela contribui também nesse sentido.

[JF] – Que influência, ou que impacto o curso de Física Básica IV teve em seus estudos?

[CSS] – Bom, então, eu vou repetir o que eu já falei que é primeiro consolidar aquelas contas que eu enxerguei lá em ondas eletromagnéticas, que eu já tinha feito lá anteriormente. Então, por exemplo, no curso de Física Básica que na primeira parte é a parte de eletromagnetismo, ondas eletromagnéticas, então eu consegui falar sobre, discutir sobre aquelas coisas, até porque eu já tinha feito antes, e também por trazer a tona algumas interrogações a respeito da Física Quântica, certo? Por exemplo, algumas delas persistem até hoje, talvez por não existirem algumas disciplinas mais direcionadas, obrigatórias na Licenciatura, e aí vem aquela coisa, se eu cumprir os créditos, então eu vou me formar pra, pelo menos, eu dar aula e começar a andar com minhas próprias pernas. Mas Física Básica IV é bem esse dois sentidos de falar das equações de Maxwell, que a gente já tinha visualizado no papel e as interrogações lá na Mecânica Quântica.

[JF] – Perfeito.

CARTA DE CESSÃO

Salvador, 24 de janeiro de 2013

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, Cleber de Souza Silva, estado civil, solteiro, documento de identidade, 1281963356, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 30/10/2012, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.

Cleber de Souza Silva.

ANEXO 1.L

MARCELO DA HORA ROSADO

Aluno de Física Básica III (2010.1) e de Física Básica IV (2010.2)

(Entrevista não revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Marcelo da hora Rosado (MHR)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 22/10/2012

[JF] – Conte-nos um pouco da sua trajetória de vida.

[MHR] – Bom, eu estudei em colégio público. Colégio Estadual Severino Vieira. Eu conclui com 19 anos de idade; eu comecei a estudar bem tarde, aí eu não entrei na faculdade de primeira. Eu fiz vestibular pra Ciência da Computação, na época eu não consegui a vaga, mas depois eu resolvi fazer Física. Aí eu consegui entrar pela manhã, no curso de Bacharelado em Física, mas como eu vi que a minha vocação era pra licenciatura, eu mudei para o curso da noite.

[JF] – Na sua escola havia laboratórios didáticos?

[MHR] – Não. Nunca tive contato com um.

[JF] – O professor de Física era licenciado?

[MHR] – Sim, era licenciado, com bastante experiência já na área.

[JF] – Em que ano você ingressou no curso de Física?

[MHR] – Ingressei em 2009.

[JF] – Você está ensinando atualmente em alguma escola?

[MHR] – Eu ensino num colégio particular, em Costa Azul.

[JF] – O curso noturno em Licenciatura em Física atendeu as suas expectativas?

[MHR] – Até o momento sim.

[JF] – O curso noturno em Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais Experimentais, que são denominadas Físicas Básicas I, II, III e IV. Então existe as Físicas Básica I, II, III, IV e existem as Físicas Gerais Experimentais. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas chamadas de Físicas Básicas I, II, III e IV, no curso noturno de Licenciatura em Física?

[MHR] – Bom, comparando a Física Geral com a Básica, eu vejo que na Geral Experimental, ela é muito voltada para a questão do cálculo diferencial e integral, pra o uso das expressões necessárias que são importantes para o desenvolvimento do aluno. Mas um pouco da parte histórica deixa a desejar; de onde surgiram, como foram desenvolvidas aquelas expressões, a

ciência toda por trás dos experimentos. As Físicas Gerais e Experimentais, elas não me deram tanto esse *know how*. Mesmo no laboratório, a gente não tem aqui um professor que fale (no laboratório) quem fez aqueles experimentos. A gente só vê o experimento, e faz, mas não como o cara pensou em fazer, como ele foi montado, porque não há essa discussão, não tem, digamos assim, a parte histórica, que coloca aquele experimento na parte histórica, na situação histórica, do momento em que ele foi realizado.

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica III. Como você avalia a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina?

[MHR] – Eu considerei um método assim bastante organizado, até porque o professor começa com um experimento, discute esse experimento, como ele foi feito, por quem foi feito, mas ele não dá todas as respostas naquele dia, em outra aula surgem as expressões e as respostas para explicar e isso muitas vezes incentiva a gente a correr atrás. Eu via que sempre que terminava a aula, eu saia discutindo com alguns colegas meus sobre o que aconteceu na aula ali. Coisa que não acontecia em Física Experimental Geral, a de laboratório; geralmente a gente saia discutindo o relatório, como fazer o relatório.

[JF] – Que aspectos de Física Básica III lhe chamaram mais atenção?

[MHR] – Me chamou mais atenção foi que, teve uma abordagem histórica da coisa. Eu conheci os cientistas que realizaram aquilo e tive a curiosidade de pegar o livro que muitos deles escreveram, que eu nem sabia que muitos deles tinham escrito… Eu tinha ouvido falar nos autores, mas eu não sabia que eles tinham livros falando daquela coisa toda, e descrevendo, e isso me ajudou a aprofundar. Eu achava que os livros de Física Geral e Experimental para cientistas e engenheiros era o suficiente para eu aprender Física e acabei vendo que não é. Eles eram incompletos, não dá pra eu aprofundar com eles, ficava uma coisa meio matematizada.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III, ao conteúdo, qual assunto ou quais assuntos lhe despertaram mais interesse?

[MHR] - Bom, eu gostei bastante dos assuntos relacionados à ótica.

[JF] – Mas Física Básica III…

[MHR] – Física Básica III, essa foi da I. A III eu gostei muito dos assuntos relacionados a magnetismo, porque eu vejo uma carência grande, principalmente no meu 2º grau, com relação a magnetismo, dá-se muita ênfase às questões da eletricidade, da eletrodinâmica, da eletrostática, mas não se fala muito da magnetostática e da eletrodinâmica, que é o acoplamento dessas duas ciências, que é eletrodinâmica e magnetismo. No meu 2º grau, isso não existiu. O magnetismo que a gente viu é bem simplório e a ausência completa de experimentos relacionados ao magnetismo, e eu acabei vendo que o magnetismo tem uma importância gigantesca na maioria da sociedade atual, a maioria das coisas de eletricidade tem a ver com magnetismo. Eu aprendi magnetismo aqui, do zero, aqui. E foi essa a abordagem que eu mais gostei no curso.

[JF] – Considerando agora a disciplina Física Básica IV. Como você avalia a abordagem utilizada, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina? Simultaneamente histórico conceitual, fenomenológico, matemático, etc.

[MHR] – Bom, da mesma maneira que eu falei pra eletricidade, eu também gostei da abordagem em que a gente fazia o experimento que fazia aquele *brain storm* de pensar: Como é isso? Como é que funciona isso? Aquela coisa de deixar a pergunta no ar pra você pensar, eu gostei bastante dessa metodologia e, depois, nenhuma pergunta ficou sem resposta, porque era

trazido um material pra complementar, ou até mesmo na aula já era dado o material, o professor discutia, mas sempre tinha aquela abertura de o aluno pensar primeiro na resposta, construir a resposta dele, até debater com os colegas também, antes de chegar a qualquer conclusão.

[JF] – Que aspectos lhe chamaram mais atenção em Física Básica IV?

[MHR] – Bom, eu gostei da sequência em que foi feito, eu gostei bastante. Não foi uma coisa assim… eu percebi que não foi aleatório, a gente ia fazer o experimento de uma coisa, daqui a uma semana já era experimento de outra, eu percebia que ia tendo bastante complementação. Assim, um conceito que a gente aprendia, já ajudava a compreender o próximo, e ia complementando, complementando e formando uma cadeia, mostrando que os eventos ali, eles estavam interligados, não estavam dissociados.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica IV. Que assunto, ou quais assuntos de Física Básica IV lhe despertaram mais atenção?

[MHR] – Bom, eu gostei da parte que explicava que a luz é uma onda eletromagnética, a gente discutiu também um pouco de equações de Maxwell. Como a luz era uma onda, e como o debate ficou bastante acirrado, porque a gente já tinha visto experimentos mostrando que a luz se comportava como partícula, aí isso clareou bastante a minha mente, essa parte explicando como é o comportamento ondulatório, porque um fenômeno típico como o da dupla fenda funcionava, as experiências de Young, isso foi bastante esclarecedor pra mim.

[JF] – Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e IV são optativas para os alunos da Licenciatura noturna. O que o levou a se matricular nestas disciplinas?

[MHR] – Eu já tinha feito as Físicas Básicas I e II, que são obrigatórias. Fiz a Física Básica I com o professor Olival e a Física Básica II com o professor Newton, onde já tinha criado uma expectativa muito boa dessa disciplina, porque eu peguei dois professores muito bons. E como eu percebi que eles me deram respostas que eu não tive em Física Geral Experimental I e II, eu pensei: "Bom, Física Básica III deve me dar as respostas que eu não tive em Física Geral III." E aí eu me matriculei nessa disciplina e a minha expectativa foi boa.

[JF] – Você considera que as Físicas Básicas III e IV devem continuar sendo optativas, devem ser obrigatórias, ou devem ser excluídas?

[MHR] – Pra os alunos de licenciatura, obrigatórias.

[JF] – Elas atualmente são optativas.

[MHR] – Eu gostaria que elas fossem obrigatórias, inclusive eu gostaria que tivesse uma física tipo essas, relacionada a Estrutura da Matéria, a Física Moderna, porque você tem pra Básica I, II, III, e IV, mas aqui os alunos consideram Estrutura da Matéria como se fosse Física V, e é uma matéria que a gente tem laboratório e teoria e não tem uma Básica relacionada a Estrutura da Matéria, e eu senti carência nessa disciplina por não ter feito Básica.

[JF] – Considerando sua experiência como aluno dessas disciplinas a Física Básica III e Física Básica IV, você acredita que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa?

[MHR] – Eu acredito que poderia aumentar a carga horária dessas disciplinas.

[JF] – A que você atribui a grande falta de professores de Física para ensinar nas escolas de nível médio?

[MHR] – A dificuldade do curso, da formação. Eu percebo, pelo menos na minha turma que… passam 50 alunos no vestibular, eu não encontro esses 50 colegas no corredor. Eu

conheço sete, que são meus amigos até hoje, que cursam até hoje comigo. Eu sei que tem muitos alunos que migram da manhã pra noite, começam a trabalhar e fazem vestibular, mas deveriam ter pelo menos uns 30 a 25 acompanhando e muitos deles mudaram pra Geofísica. Eu tenho colegas que foram pra Geofísica, pra Engenharia, pra Ciência da Computação… Análise… eu acho que é Ciência da Computação mesmo, uns três ou quatro que migraram, porque eles acharam que o curso estava difícil e também por causa da questão salarial, eles viram que tinham a oportunidade de ter um salário maior como Engenheiro, talvez, do que como professor.

[JF] – Pra finalizar. De que modo o estudo da Ótica e de noções de Física Moderna, realizado no curso de Física Básica IV, ajudou nos seus estudos posteriores?

[MHR] – Bom, ele complementou o que eu tinha visto em Física Geral e Experimental, complementou significativamente, eu comecei a ver significados nas equações e nos problemas que eu resolvia, além do que me fez buscar os autores dos experimentos. Eu não tinha tanta preocupação em conhecer a história deles, a maneira como eles procederam e depois de fazer essa matéria eu me interessei bastante por pesquisar isso, inclusive o professor sugeria que a gente fizesse experimentos relacionados a isso, construção do Rádio de Galena, por exemplo, e outros, e eu comecei a fazer isso. Tomei isso como um *hobby* na minha vida. Eu sempre pego algumas coisas de experimentos e eu mesmo tento construir, fazer da minha maneira, utilizando alguns materiais básicos, porque eu sei que eu posso levar isso pra minha sala de aula, apesar de que a sala de aula hoje em dia não dá muito espaço para fazer experimento, porque há uma grande preocupação com coisas de vestibular, mas se sobrar um tempinho de 10, 15 minutos é bom, é interessante levar isso. Recentemente, eu fiz até um daqueles motorzinhos básicos, que isso ajuda para o aluno entender em sala de aula como a eletricidade esta ligada ao magnetismo. A questão da variação do campo magnético produzir correntes elétricas, o aluno sempre acha interessante, e é mais significativo pra ele mostrar que aquilo tem aplicação. E a Física Básica me fez explorar esse lado da experiência que não pode deixar de ter, a gente vai encontrar principalmente nos colégios públicos dificuldade em conseguir fazer isso, mas a gente não deve fugir dessa realidade e não tentar… largar de lado e ficar só no "cuspir e giz", como os meus colegas falam; ficar no quadro escrevendo, abrindo conta e fazendo cálculo e deixar o experimento de lado. Por mais dificuldade que você tenha, você ainda deve buscar mostrar experimentos em sala de aula, foi isso que trouxe a teoria pra gente, a teoria não surgiu do nada. A experiência é que…

[JF] – Perfeito.

Jose Fernando – Então, encerrando aqui a entrevista tem mais alguma coisa a falar?

[MHR] – Não, não acredito que seja o suficiente.

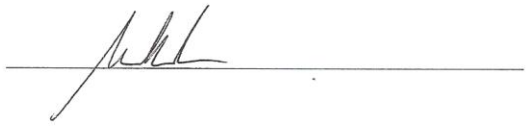
CARTA DE CESSÃO

Salvador, 29 de novembro de 2012

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, Marcelo da Mata Rosado, estado civil, solteiro, documento de identidade, 07508829 05, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 29/11/2012, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.



ANEXO 1.M

LUÍZ HENRIQUE SANTANA SILVA

Aluno de Física Básica III (2011.1)

(Entrevista não revisada pelo entrevistado)

Entrevistador: José Fernando M. Rocha (JF)

Entrevistado: Luís Henrique Santana Silva (LHSS)

Cidade: Salvador

Data da entrevista: 06/12/2012

[JF] – Luís, conte-nos um pouco da sua trajetória de vida.

[LHSS] – Eu fiz o ensino médio em colégio particular, colégio de padre, Salvador, ensino tradicional, nada de laboratório, nada de experimento, matemática, física, química tudo muito tradicional. Depois eu entrei na Universidade Estadual pra começar a estudar matemática, só que o curso era no interior e eu não pude me sustentar, então eu vim pra Salvador, pra fazer UFBA aqui Engenharia Mecânica. Quando eu estava fazendo Engenharia Mecânica, eu comecei a ensinar, me apaixonei, decidi sair do curso de Engenharia, e vim para o curso de Física, pra terminar o curso de Física, Licenciatura.

[JF] – Então a sua escola era particular. Na sua escola havia laboratório didático? Você já respondeu que não, não é isso?

[JF] – O professor de Física era licenciado?

[LHSS] – O professor de Física era Engenheiro Civil.

[JF] – Em que ano você ingressou no curso de licenciatura?

[LHSS] – Licenciatura foi em 2002, não a gente está em 2012, desculpa, foi em 2008.

[JF] – Você está ensinando atualmente em alguma escola?

[LHSS] – Sim. Num colégio da rede particular de Salvador.

[JF] – Qual a sua expectativa como estudante ao ingressar no Curso de Licenciatura em Física?

[LHSS] – Primeiro, conhecer a história da disciplina, que é importante. Depois aprofundar o conhecimento que a gente precisa da matéria e a gente acredita que vai realmente, quando entra num curso de licenciatura, a gente vai sair daqui, que a gente vai aprender a ser professor no curso, o que, na verdade, não acontece. Isso é importante, a gente vem realmente pra estudar cálculo, pra estudar Física e, como dizem os professores, pra abrir as contas. E aprender a ser professor, realmente, é na sala de aula.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física atendeu as suas expectativas?

[LHSS] – Sim, de uma maneira geral sim. Lógico que tem prós, tem contras, mas, de uma maneira geral, atendeu.

[JF] – Por que você acha que você não aprende a ser professor aqui?

[LHSS] – Olha só, a gente tem duas matérias que realmente são voltadas pra isso, que é a Metodologia I e a Metodologia II, mesmo assim, pra quem estuda quatro anos e meio o curso de física, às vezes cinco, seis, aí a gente sabe, é um ano de discussão que não é o suficiente pra alguém aprender a lidar com a sala de aula. Os meninos passam vinte horas apenas dentro da sala de aula, uma com observação e uma com estágio e toda outra parte da faculdade é fazendo conta, estudando teoria, fora no caso das Físicas Básicas, que muda um pouco o foco.

[JF] – O curso noturno de Licenciatura em Física traz algumas novidades importantes na sua matriz curricular, entre as quais a inclusão de quatro disciplinas novas, oferecidas paralelamente às Físicas Gerais Experimentais, que são denominadas Físicas Básicas (I, II, III e IV). Entre outras características, essas disciplinas foram propostas com objetivo explícito de favorecer a articulação em sala de aula de aspectos históricos, fenomenológicos, matemáticos e conceituais, criando assim condições para um estudo contextualizado dos assuntos. Como você avalia a inclusão dessas quatro disciplinas no curso noturno de Licenciatura em Física?

[LHSS] – Da maior importância. A maior importância do curso de Física Básica é a discussão do fenômeno. Nas Físicas Experimentais os alunos não passam de meros reprodutores de experimento com roteiro pronto, dizendo todo o que você deve fazer, passo-a-passo, inclusive dizendo o resultado onde você deve chegar. Se o aluno lê o roteiro antes, ele sabe muito bem o resultado que ele vai alcançar no experimento antes dele responder o roteiro, ou o final do roteiro. E Física Básica, quando a gente faz o experimento na sala de aula, a gente passa grande parte da aula discutindo o fenômeno, até chegar na conclusão e, às vezes, até a gente chegar em conclusões que não eram conclusões esperadas, e a gente tem que refazer, e isso é muito importante, entender o fenômeno.

[JF] – Você viu isso em todas as Físicas Básicas?

[LHSS] – Infelizmente não, existe uma das Físicas Básicas que precisa ser repensada e reformulada, que é a Física Básica II.

[JF] – O que você sugere?

[LHSS] – Que alguém se predisponha a fazer uma pesquisa do contexto histórico, do conteúdo da disciplina, que está faltando, que não tem, aliás, não tem. Que se predisponha a montar e a fazer os experimentos do curso, os experimentos que levaram às descobertas da teoria tanto da Mecânica Estatística como da Termodinâmica pra que isso seja discutido na Básica II. Hoje fica parecendo uma aula de ensino médio.

[JF] – Perfeito!

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica III. Como você avalia a abordagem utilizada, isto é, o método utilizado pelo professor na apresentação dos assuntos desta disciplina, simultaneamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual?

[LHSS] – No início, nas primeiras aulas, você toma um susto, porque é muita informação, você recebe aquela quantidade de informação tanto histórica quanto fenomenológica e experimental e você começa a ver que vai demorar um tempinho para você começar associar aquelas ideias. A gente não está acostumado, a gente não está acostumado a discutir o fenômeno e suas bases históricas ao mesmo tempo. É o que eu estava falando das outras matérias, ou a gente está fazendo conta, ou a gente está discutindo fenômeno, ou a gente está reproduzindo experimento pra depois chegar em casa fazer, abrir as contas. E na Básica III a gente fez as três coisas ao mesmo tempo: a gente fez o fenômeno, o experimento, a gente discutiu o contexto histórico e provou matematicamente, diversas vezes. Isso a gente demora um tempo pra se acostumar. Quando você chega duas semanas, três semanas depois do curso,

você vê que aquilo ali é a melhor forma de se trabalhar aquele assunto, conhecer a evolução da Física, conhecer quais foram os pontos, os fatores que levaram a descoberta de determinado conceito, ou como se chegou à determinada equação. Aquilo ali foi puramente matemático? Foi experimental? Isso é muito importante na formação de um professor, aliás, de um físico.

[JF] – E no que diz respeito ao conteúdo de Física Básica III, qual assunto, ou quais assuntos de Física Básica III lhe despertou ou lhe despertaram mais interesse?

[LHSS] – Com certeza toda vez que falava de História, como era algo muito novo pra mim, me conquistava mais. Porque é assim, a gente acha que sabe, que conhece a Física, a gente acha que conhece, quando se chega em Básica III a gente já pegou alguma matérias e aí você começa a desconstruir pra construir. Às vezes um conceito que está escrito num livro todo bonitinho e de uma maneira simplificada pra que alguém possa entender, quando você vai discutir aquilo não é bem daquele jeito, então, o desconstruir durante a aula para construir em uma só aula, desconstruir o conceito algo que você já tinha dentro de sua cabeça e construir uma nova fórmula de visualizar a coisa era algo que me fascinava.

[JF] – Você considera que esta disciplina esta cumprindo a função para a qual foi criada, que é a de contextualizar os assuntos apresentados em sala de aula?

[LHSS] – Básica I, Básica III e Básica IV, sim.

[JF] – Considerando agora especificamente a disciplina Física Básica IV, você cursou a Física Básica IV?

[LHSS] – Não.

[JF] – Tem alguma informação a Física Básica IV anterior, pretende cursar? Tem alguma informação a respeito de Física Básica IV, não?

[LHSS] – De conversas com os colegas, de experimentos, algumas curiosidades sobre os assuntos, eu não vejo a hora de pegar a disciplina, era pra ter pegado semestre passado.

[JF] – Como você sabe, as disciplinas Física Básica III e IV são optativas para os alunos de Licenciatura. O que o levou a matricular-se em Física Básica III?

[LHSS] – Depois que eu conheci a Básica I, que é obrigatória, do meu ponto de vista Básica I, II, III e IV deviam ser obrigatórias pra um professor. Eu não vejo hoje, eu não me vejo hoje como professor sem completar o ciclo com Básica IV. Hoje eu sou um professor melhor, porque eu consigo conversar com meus alunos e a gente avança muito mais por causa da Básica III… coisa que não me vinha na cabeça… quando eu pegava as Físicas Experimentais, o que eu via era conta; chegar no ensino médio, pegar um livro, um Ramalhão, e achar que resolver todas aquelas contas, era ser bom em Física e eu vejo hoje que isso não é.

[JF] – Você considera então que as Físicas III e IV devem ser obrigatórias?

[LHSS] – Muito mais pra quem é licenciatura do que pra quem é bacharelado.

[JF] – Considerando a sua experiência como aluno da disciplina Física Básica III, já que você não fez Física Básica IV, e também Física Básica I e II, que você cursou, você acredita que as mesmas devem sofrer alguma modificação significativa?

[LHSS] – A Física Básica I eu visualizo que dá pra incrementar um pouco mais com experimento, mas a discussão filosófica histórica é muito boa. Tanto o professor Olival quanto Clemes, Climério, desculpe, assumiu a discussão histórico-filosófica, foi muito boa. Física III tem mais experimentos, então a gente além de discutir a questão histórica, a

questão… tem um pouco de filosofia também, em alguns momentos e a questão fenomenológica é muito boa.

[JF] – Que influência ou que impacto o curso de Física Básica III teve em seus estudos posteriores ou nas suas atividades posteriores?

[LHSS] – Mudou a forma como ensino eletricidade hoje, eletricidade no ensino médio, que a gente chama de magnetismo. Mudou a forma, eu não ensino hoje Física pro terceiro ano, magnetismo, sem antes falar sobre o histórico, sem antes contar um pouco da história, eu não consigo hoje falar sobre blindagem eletrostática sem falar de Faraday, eu não consigo falar de corrente alternada sem pensar em Tesla, então a gente cresce, cresce como profissional depois da Básica.

[JF] – A que você atribui a grande carência de professores, a falta de professores de Física para ensinar em escolas de nível médio?

[LHSS] – Salário. Salário. A gente - não que físico seja melhor que ninguém - a gente tem que estudar muito pra sair aqui de dentro da Faculdade como professor e, quando a gente chega aí no mercado, os professores de Física não querem se sujeitar a ganhar R$ 10,00 por hora/aula, como o Estado quer pagar. Então eles arranjam colégios particulares que vão pagar R$ 25,00, R$ 30,00 por hora/aula, e depois vão fechar acordos, e os professores de Física não querem ir pro Estado, não querem fazer concursos, não são atraídos por isso. É o que acaba com a escola pública. Hoje tem professor de geografia dando aula de Física, eu até conheço professor de português que dá aula de Física.

[JF] – Mais alguma questão, algum tema que você queira falar que não foi perguntado?

[LHSS] – Não, eu acho que a gente colocou em pauta tudo, sobre as Básicas.

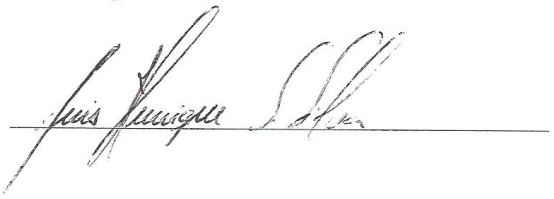
CARTA DE CESSÃO

Salvador, 06 de Dezembro de 2012

Sr. José Fernando Moura Rocha,

Eu, LUIS HENRIQUE SANTANA SILVA, estado civil, Solteiro, documento de identidade, 07010066 76, declaro para os devidos fins que cedo os direitos autorais de minha entrevista gravada em 06/12/2012, para o Sr. José Fernando Moura Rocha usá-las integralmente ou em partes, sem restrições de prazos ou citações, desde a presente data.

Abdicando de direitos meus e de meus descendentes quanto ao objeto desta carta de cessão, subscrevo a presente.



ANEXO 2: Anexos Diversos

ANEXO 2.A Programa da disciplina "Física Geral e Experimental" de meados da década de 1950.

219

FACULDADE DE FILOSOFIA DA BAHIA

PROGRAMA DE FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL

1ª SÉRIE

I - Introdução

1. O método das ciências físicas. Relação íntima entre a pesquisa experimental e a investigação teórica - Importancia do estudo quantitativo dos fenômenos - A pesquisa das relações de inter-dependencia entre as grandezas - Leis físicas - As teorias físicas - Princípios gerais - Postulados - Hipóteses - Desenvolvimento formal das teorias e verificação experimental de suas consequências - Experiências cruciais.

2. A medida física. Unidade, instrumento e método de medida - Sistemas de unidades derivadas - Sistemas de unidades das grandezas geométricas e mecânicas - A legislação metrológica no Brasil.

Teoria das dimensões - Fórmulas dimensionais - Transformações de unidades - Homogeneidade - Semelhança física - Experimentação sobre modelos reduzidos.

3. Teoria dos erros. Noções de cálculo das probabilidades necessárias ao estudo dos erros acidentais - Teorema de J. Bernoulli - Distribuição normal da probabilidade dos erros - Curva de Gauss - Módulo de precisão - Erro provavel - Erro médio quadrático - Propagação do erro médio quadrático - Valor mais provavel de uma grandeza - Média aritmética e média ponderada - Cálculo dos erros em função dos resíduos - Propagação dos erros.

4, Pesquisa das relações de inter-dependência. Determinação da forma das relações de inter-dependência por considerações de homogeneidade - Método de Bertrand - Determinação dos parâmetros de uma interpolatriz parabólica pelo método dos mínimos quadrados - Anamorfose logarítmica - Correlação - Relação de correlação - Correlação linear - Indice de correlação - Critérios de linearidade - Equações de regressão.

5. Noções de cálculo vetorial. Grandezas físicas vetoriais - Diferentes tipos de grandezas vetoriais - Vetores polares e axiais - Representação geométrica dos vetores - Notações - Vetores unitários - Produto escalar e produto vetorial - Derivação vetorial.

Fonte: Arquivo da FFCH-UFBA

ANEXO 2.B Programa da disciplina Física Teórica – Teoria Eletromagnética – 1957 – Curso de Física, 3ª série.

UNIVERSIDADE DA BAHIA

FACULDADE DE FILOSOFIA

CURSO DE FÍSICA - 3ª SÉRIE

PROGRAMA DE FÍSICA TEÓRICA

TEORIA ELETROMAGNÉTICA

1957

Carga Horária: 4 Horas semanais
Duração: 2 semestres

1 - Equações do campo eletromagnético; equações de Maxwell e equação da continuidade. Constante dielétrica e permeabilidade magnética; polarização elétrica e magnética. Meios condutores lineares, lei de Ohm.

2 - Potências eletromagnéticos; transformação de calibre. Equação dos potenciais para meios homogêneos e isótropos, condição de Lorentz. Equação das ondas, velocidade de propagação no vácuo.

3 - Integração da equação de Poisson; função de Green; propriedades do campo eletrostático. Potenciais de multipolos.

4 - Integração da equação de D'Alembert; funções de Green retardada, avançada, irradiada. Multipolos.

5 - Noções sôbre tensores; transformação de coordenadas. Relatividade de Galileu, consequências óticas. Princípio da relatividade - Einstein. Transformação de Lorentz, consequências. Espaço-tempo e conceitos relacionados. Mecânica relativista, equivalência entre massa e energia.

6 - Formulação covariante da teoria de Maxwell.

7 - Teoria do eletron. Equações de Lorentz, campo de Liénard-Wiechert. Potenciais retardado, avançado, irradiado e de Wentzel.

8 - Oscilação do eletron ligado, amortecimento da radiação, largura das linhas espectrais. Obtenção das equações de Maxwell a partir das equações de Lorentz. Polarização, dispersão e absorção.

9 - Propriedades magnéticas da matéria. Teoria eletrônica dos metais.

10 - Princípios gerais da teoria dos campos. Leis de conservação. Formalismo hamiltoniano. Aplicação à eletrodinâmica.

11 - Teoria clássica do eletron de Dirac.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1,2,3,4,5,5. J. Stratton, Electromagnétic theory (McGraw-Hill) 6,7,8,9,10, 11. R. Becker, Theorie des electrons (Alcan, ed. francesa);
W. Heitler, Quantum Theory of radiation (Oxford);
G. Wentzel, Quantentheorie del Wellenfelder (Franz Deuticke ou Interscience, trad. americana);
J. Leite Lopes, Fundamentos da Eletrodinâmica (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) Anais da Acad. Brasileira de Ciências, vol. 22, n. 4 (1950).

(PROGRAMA DA FACULDADE NACIONAL DE FILOSOFIA - 1952.)

FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - UFBA
ARQUIVO
20/12/2012

Fonte: Arquivo da FFCH-UFBA

ANEXO 2.C Programa da disciplina Mecânica Superior – 1957 – Curso de Física, 3ª série

UNIVERSIDADE DA BAHIA
FACULDADE DE FILOSOFIA

CURSO DE FÍSICA - 3ª SÉRIE

Programa de Mecânica Superior
1957 Carga Horária: 3 Horas semanais
Duração: 2 semestres

1. Noções gerais sôbre as ligações. Anolonomia. Reonomia Unilateralidade.
2. Princípio de D'Alembert.
3. Teorema dos trabalhos virtuais.
4. Calculo das reações pelo método de Lagrange.
5. Aplicação do Teorema dos trabalhos virtuais a problemas de Estática.
6. Equações de Lagrange. Aplicações.
7. Estabilidade do equilíbrio e pequenos movimentos de um sistema material.
8. Equações canônicas.
9. Princípio de Hamilton.
10. Transformações de contato. Parênteses de Lagrange. Parênteses de Poisson.
11. Equação de Hamilton. Jacobi. Integração dos sistemas canônicos. Teorema de Liouville.
12. Princípio de Manpertuis. Princípios de Jacobi.
13. Equações de variações. Invariantes integrais. Teorema de Liouville. Espaço de fase.
14. Princípio de Gauss. Princípio de Hertz.
15. As equações de Maxwell.
16. A transformação de Lorentz.
17. Cinemática da Relatividade restrita.
18. Dinâmica da Relatividade restrita.
19. Noções sôbre Relatividade generalisada.

ARQUIVO 22/04/76
FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - UFBA ARQUIVO 20/12/2012

Fonte: Arquivo da FFCH-UFBA

ANEXO 2.D Programa da disciplina Física Superior – Introdução à Teoria Quântica – 1957 – Curso de Física, 3ª série

UNIVERSIDADE DA BAHIA

FACULDADE DE FILOSOFIA

CURSO DE FÍSICA - 3ª SÉRIE

PROGRAMA DE FÍSICA SUPERIOR

INTRODUÇÃO A TEORIA QUÂNTICA

1957

Carga Horária: 3 Horas semanais
Duração: 2 semestres

1 - Teoria cinética dos gases; hipóteses fundamentais, cálculo da pressão, temperatura e calores específicos de um gás perfeito. - Livre caminho médio, viscosidade, condutibilidade térmica e difusão. Lei de distribuição da energia e da velocidade; teorema-H de Boltzmann; entropia. Aplicações da lei de distribuição. Número de Avogadro e constantes moleculares.

2 - Radiações do corpo negro; recordação das leis de Kirchhoff, - Stefan-Boltzmann e Wien; fórmulas de Rayleigh-Jeans e Wien. Concepção quântica e lei de Planck. Aplicação da teoria dos quanta ao efeito fotoelétrico, teoria dos fotons de Einstein. Determinação de h. Teoria quântica dos calores específicos dos sólidos. Efeito Compton.

3 - Idéias sôbre a constituição do átomo. Modêlo de Thomson; difusão de raios-X e número de elétrons por átomo. Experiências de Geiger Marsden sôbre difusão de partículas alfa, o átomo de Rutherford. Séries espectrais. O átomo de Bohr. Espectros de hidrogênio e hélio ionizado, determinação espetroscópica de e/m. Potências de excitação e ionização. Experiências de Franck e Hertz, de Foote, Meggers e Mohler, de Davis e Goucher.

4 - Onde de De Broglie. Comprimento de onda De Broglie de corpúsculos. Experiências de Davisson e Germer. Equação de Schrodinger; ondas e planas e grupos de ondas; espaço dos momentos. Função de Schrodinger e estado; probabilidade; esperança de grandezas físicas; equação da continuidade; teorema de Ehrenfest; relação da incerteza.

5 - Operadores lineares; hermitianos e unitários. Quantidade de movimento, hamiltoniana e momento angular. Regras de comutação. Operadores e sua representação por matrizes.

6 - Estados estacionários: poço de potencial, degrau de potencial, - oscilador harmônico, o átomo de hidrogênio; propriedades das auto-funções e auto-valores; números quânticos.

7 - Multiplicidade das linhas espectrais e o spin do eletron. Efeito Zeeman anômalo. Teoria do spin, de Pauli. Princípio de Pauli e sistema periódico. Sistemas de partículas idênticas e simetria - das funções de Schrodinger.

8 - Noções sôbre a teoria das colisões atômicas. Reflexão e transmissão em barreira de potencial. Seção de choque; sistemas de centro

FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - UFBA
ARQUIVO
20/12/2012

de massa e do laboratório. Difusão através de potenciais esféricamente simétricos; método de Faxén-Holtsmark. Efeito Ramsauer-Townsend. Difusão com ressonância. Fórmula de Rutherford. Aplicações.

9 - Teoria das perturbações; método variacional; aproximação de Born. noções sôbre o método da variação das constantes e probabilidade de transição; método do WKB.

10 - Lei de distribuição dos estados quânticos de um átomo; aplicação ao equilíbrio térmico. Dedução da fórmula de Planck pelo método de Einstein; coeficientes B e C. Teoria quântica dos gases paramagnéticos. Entropia. Princípio de Nernst.

11 - Quantização do movimento de translação das moléculas de um gás - perfeito; células do espaço de fase; entropia, método de Stern. Teoria de Saha do equilíbrio térmico por ionização; efeito termoiônico. Estatística de Bose-Einstein; degenerescência do gás de Einstein; gás de fotons, de Bose. Estatística de Fermi-Dirac; propriedades do gás de Fermi, degenerescência; aplicações aos electrons metálicos; o átomo de Thomas-Fermi.

22 09 76 Margaridoff

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. M. Born, Atomic Physics (Stechert), cap. I; P. Jordan, Statistiche Mechanik auf quantentheoretische Grundlage (Vieweg), cap. I; E. Bloch, Théorie cinétique des gaz (Colin), cap. III; E. Borel, Mécanique statistique classique (Gauthier-Villars).
2. Born, Atomic Physics, caps. IV, VII; F. Richtmyer e E. Kennard, Introduction to Modern Physics (McGraw-Hill), caps. III, V; J. Leite Lopes, Introdução à Física Atômica (Rio), cap. IV.
3. Richtmyer e Kennard, Introd. to Mod. Physics, cap. VI; Born, Atomic - Physics, caps. II, V.
4. 5, 6. Born, Atomic Physics, cap. V e apêndices; Leite Lopes, Introd. à Fis. Atom., cap. IV; L. Schiff, Quantum Mechanics (McGraw-Hill), caps. I a IV, VI; G. Beck, Wellenmechanik, in Frank-von Mises, Differential- - und Integralgleichungen der Mechanik und Physik (M. S. Rosenberg), 2 vol., caps. 24, 25, 26; W. Pauli, Allfemeinen Prinzipien der Wellenmechanik, in Handbuch der Physik, vol. 24, cap. 2; W. Heisenberg, Phisical principles of quantum theory (Chicago).
7. Born, Atom. Phys., cap. VI; Schiff, Quantum Mechanics, cap. IX.
8. 9. Schiff, Quantum Mechanics, caps. V e VII; N. Mott e W. Massey, Theory of atomic collision (Oxford), caps. II,III.
10. 11. E. Fermi, Molecole e cristalli (Zanichelli), parte III; Born, Atom. Phys., cap. VII; E. Schrodinger, Statistical Thermodynamics - (Cambrisge); F. Perrin, Mécanique statistique quantique (Gauthier-Villars).

(PROGRAMA DA FACULDADE NACIONAL DE FILOSOFIA - 1952)

FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - UFBA
ARQUIVO
20/12/2012

Fonte: Arquivos da FFCL-UFBa

ANEXO 2.E Programa da disciplina Geometria Superior – 1954 – Cursos de Física e Matemática, 3ª série

UNIVERSIDADE DA BAHIA
FACULDADE DE FILOSOFIA

Curso de Matemática e Física - 3ª, série
PROGRAMAS PARA O ANO LETIVO DE 1954
GEOMETRIA SUPERIOR - XI CADEIRA

1ª. PARTE - Desenvolvimento e complementos de Geometria Infinitesimal

1) - Tangência nas curvas planas; tangentes e normais, e problemas correlatos. Caracteres de inflexão. Coordenadas cartesianas e polares.
2) - Pontos singulares
3) - Assíntotas. Coordenadas cartesianas e polares
4) - Quadratura de áreas planas; coordenadas cartesianas e polares.
5) - Retificação de curvas planas; coordenadas cartesianas e polares.
6) - Curvatura das curvas planas. Evolutas e evolventes. (Coordenadas cartesianas e polares) .
7) - Teoria dos contactos.
8) - Envoltória de uma família de curvas. Envolvidas.
9) - Tangência, no espaço, a curvas geométricas. Plano normal. Plano osculador às curvas reversas.
10) - Planos tangentes a superfícies curvas. Normais.
11) - Retificação de curvas reversas.
12) - Quadratura de superfícies de revolução-
13) - Quadratura de superfícies quaisquer.
14) - Cubatura de corpos de revolução
15) - Cubatura de corpos limitados por superfícies geométricas quaisquer.
16) - Equações diferenciais das famílias de superfícies cilíndricas e cônicas.
17) - Equações diferenciais das superfícies de revolução
18) - Curvatura das curvas reversas ; flexão e torsão. Esfera osculatriz.
19) - Curvatura das superfícies; secções principais. Indicatrizes. Pontos umbilicais. Pontos singulares.

JA 02 2012

20) - Superfícies envoltórias. Envolvidas.

21) - Trajetórias ortogonais.

22) - Linhas de nível; linhas de declividade máxima; linhas assintóticas; linhas geodésicas, de superfícies curvas geométricas.

2ª. PARTE- GEOMETRIA PROJETIVA. COMPLEMENTOS

23) - Sistema polar; propriedades fundamentais.

24) - Secções planas de uma quádrica; propriedades duais.

25) - Tétraedros auto-conjugados em um sistema polar; propriedades,

26) - Quádricas de pontos imaginários, de pontos hiperbólicos e de pontos elípticos.

27) - Sistema nulo; propriedades métricas. Fórma canônica.

28) - A cúbica reversa e suas principais propriedades

29) - Sistema nulo determinado por uma cúbica reversa.

3ª. PARTE - TOPOLOGIA

30) - Definições de hiper-espaço (métrico e projetivo). Classificação das Geometrias, segundo Klein. Exemplos intuitivos de propriedades topológicas. Noções sôbre as superfícies riemannianas das curvas algébricas.

31) - Topologia pontual e combinatória.

32) - Noções sôbre a teoria dos grupos abelianos

33) - Cadeias e ciclos. As operações D e S.

34) - Grupos de homologia em relação a um módulo geral. Circuit

35) - Teoremas de invarianças. Invariança topológica dos grupos de homologia.

36) - Variedades combinatórias e sua invariança.

Elísio de Carvalho Lisboa

(as) Elísio de Carvalho Lisboa

Prof. Catedrático

Aprovado em sessão de 30/11/1953

PEDRO TAVARES FILHO

17.12.2012

Fonte: Arquivos da FFCL-UFBA

ANEXO 2.F Programa da disciplina Física Matemática – 1958 – Cursos de Física e Matemática, 4ª série

la. folha.

UNIVERSIDADE DA BAHIA;
FACULDADE DE FILOSOFIA
Cursos de Física e Matemática-4a.série
Ano letivo, 1958.
FÍSICA METAMÁTICA - XII Cadeira.

PROGRAMA. Carga Horária:3 Horas semanais
Duração: 2 semestres

1. "Análise vetorial: Gradiente, divergência, rotacional, laplaciano, d'alembertiano, fluxo, circulação. Teorema de Stokes. Teorema da divergencia.
2. "Algebra tensorial": Covariancia e contravariancia. Adição e multiplicação. Contração. Simetria e anti-simetria.
3. Densidades e capacidades tensoriais. Vetores axiais.
4. "Análise dos tensores lineres": Gradiente, rotacional de vetor covariante, divergencia de uma densidade.
5. Generalização do teorema de Stokes e do Teorema da divergência.
6. Métrica riemanniana. Sistemas ortogonais. Componentes em verdadeira grandesa. Laplaciano.
7. Derivação covariante. Simbolos de Christoffel.

II

1. Classificação e redução das equações lineares de derivadas parciais com coeficientes constantes.
2. Campos irrotacionais e solenoidais. Superficies de discontinuidade
3. Equação de Laplace.
4. Equação de Poisson.
5. Principais propriedades das funções harmônicas.
6. Problema de Dirichlet.
7. Problema de Neumann.
8. Equação da condução do Calor. Problema do resfriamento da esfera.
9. Potenciais de um vetor. Equação da continuidade. Equação da mecânica e dos meios continuos.
10. Potenciais retardados. A equação das ondas.
11. Problema de Cauchy para a equação das ondas.
12. As equações de Maxwell.
13. A transformação de Lorentz.
14. Cinemática da Relatividade restrita
15. Dinâmica da Relatividade restrita
16. Noções sôbre Relatividade generalisada.

Programa adotado pela Faculdade Nacional de Filosofia.

ARQUIVO 22/09/1976
20 12 2012

Fonte: Arquivos da FFCL-UFBA

ANEXO 2.G Programa da disciplina Física Básica I

UFBA	SUPERINTENDÊNCIA ACADÊMICA SECRETARIA GERAL DE CURSOS	PROGRAMA DE DISCIPLINA	1999

Código: FIS-139	Nome: Física Básica I			
	Teórica	Prática	Total	Unidade: Instituto de Física
Carga Horária	30	30	60	Departamento: Física Geral – Depto. II
Créditos	02	01	03	Pré-requisito(s): Sem pré-requisito
Módulo	40	20		Curso(s)/natureza: Obrigatória

EMENTA

Estudam-se as relações da física com a sociedade. discute-se o método científico e estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas no ramo da mecânica, a nível introdutório, sem ênfase no cálculo diferencial e integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive, recursos de simulação computacional, história da ciência e experimentos em laboratório didático envolvendo medidas de grandezas físicas, além de experiências demonstrativas. discutem-se artigos. publicados em revistas científicas, relativos a mecânica. apresentam-se aplicações tecnológicas da mecânica.

OBJETIVOS

Dar ao aluno uma visão geral do que é a física e de suas relações com a sociedade.

Capacitar o aluno a identificar e manipular conceitos, fenômenos e leis físicas no ramo da mecânica a partir de uma abordagem fenomenológica/qualitativa, a nível introdutório.

METODOLOGIA

O conteúdo será abordado a partir de aulas expositivas, seminários, aulas práticas em laboratórios didáticos envolvendo medidas de grandezas físicas, aulas com experiências demonstrativas e manipulação de softwares educacionais em laboratórios de computação. A avaliação será feita a partir de questões discursivas, preferencialmente, onde o aluno mostrará dominar o vocabulário técnico relativo ao assunto estudado.

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

1. Gref – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física*. São Paulo. Edusp. (1993).
2. Holton, G., Rutherford, F. J. e Watson, F. G., *Projecto Física*, Unidade 1- Movimento nos Céus, Unidade 2 – Conceitos de Movimento. Lisboa. Fundação C. Gulbekian (1980).
3. PSSC – Physical Science Study Committee. Editora Universidade de Brasília. (1967).
4. Máximo, A e Alvarenga, B. – *Curso de Física*. Vol. 1. São Paulo. Editora Scipione (2000).
5. Feynman, R. P. et al – Física – *Mecânica, radiación y calor*. Vol. I. Fundo Educativo Interamericano S. A. (1971).
6. Lucie, P. – *Física Básica, Mecânica*. Editora Campos, Rio de Janeiro (1979)
7. Einstein, A e Infeld, L. – *A Evolução da Física*. Rio de Janeiro. Zahar. (1976).
8. Bassalo, J. M. F. – *Crônicas da Física*. Pará. Editora Universitária/Pará. 4 vol. (1987/1995).

- Artigos científicos sobre os conteúdos citados, publicados em revistas especializadas a exemplo da:
  - Revista Brasileira de Ensino de Física
  - Revista Catarinense de Ensino de Física
  - American Journal of Physics
  - Physics Education
  - Scientific American

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- A importância da Física e do físico na sociedade contemporânea/Seminário.
- O universo em que vivemos/Seminário
- O método científico; a necessidade da experimentação e da matemática.
- Grandezas físicas e suas representações.
- O conceito de vetor
- Leis de Newton: conceitos de espaço, tempo, velocidade, aceleração e força..
- Conceito de atrito
- Conceitos de trabalho, energia, momento linear e momento linear e momento angular
- Leis de conservação
- Gravitação
- Evolução conceitual da Mecânica e suas relações e/o Cálculo Dif. E Integral. Os limites das Leis de Newton.
- Aplicações tecnológicas das leis da Mecânica.
- Tópicos sobre pesquisas atuais em Física.

Aprovação pelo Departamento

Data Chefe do Departamento

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

Observação

A versão em língua portuguesa da referência "Holton, G., Rutherford, F. J. e Watson, F. G., *Projecto Física*, Unidade 1- Movimento nos Céus, Unidade 2 – Conceitos de Movimento. Lisboa. Fundação C. Gulbekian (1980)" não era conhecida no início do ano de 1999.

ANEXO 2.H Programa da disciplina Física Básica II

UFBA	SUPERINTENDÊNCIA ACADÊMICA SECRETARIA GERAL DE CURSOS	PROGRAMA DE DISCIPLINA	1998

Código: FIS- 140	Nome: Física Básica II			
	Teórica	Prática	Total	Unidade: Instituto de Física
Carga Horária	30	30	60	Departamento de Física do Estado Sólido
Créditos	02	01	03	Pré requisito(s): Nenhum
Módulo	40	20		Curso(s)/natureza: Obrigatória

EMENTA

Estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas relacionadas com oscilações, fluidos, ondas e calor, a nível introdutório, sem ênfase no Cálculo Diferencial e Integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive, recursos de simulação computacional, História da Ciência e experimentos de laboratório envolvendo medidas de grandezas físicas, além de experiências demonstrativas. Discutem-se artigos simples publicados em revistas científicas relativos aos conteúdos citados, bem como suas aplicações tecnológicas.

OBJETIVOS

Capacitar o aluno a identificar e manipular conceitos, fenômenos e leis físicas relativos às oscilações, ondas e calor a partir de uma abordagem fenomenológica/qualitativa, a nível introdutório.

METODOLOGIA

O conteúdo será abordado a partir de aulas expositivas, seminários, aulas práticas em laboratórios didáticos envolvendo medidas de grandezas físicas, aulas com experiências demonstrativas e manipulação de softwares educacionais em laboratórios de computação. A avaliação será feita a partir de questões discursivas, preferencialmente, onde o aluno mostrará dominar o vocabulário técnico relativo ao assunto estudado.

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

1. GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Vol. 2. *Física*. São Paulo. Edusp (1993).
2. HOLTON, G., Rutherford, F. J. e Watson, F. G., *Projecto Física*, Unidade 1 – Movimento nos Céus, Unidade 2 – Conceitos de Movimento. Lisboa. Fundação C. Gulbekian (1980).
3. PSSC – Physical Science Study Committee. Editora Universidade de Bra(sília (1967).
4. MÁXIMO, A. e ALVARENGA, B. – *Curso de Física*. Vol. 1. São Paulo. Editora Scipione (2000).
5. FEYNMAN, R. P. et al. – *Física – Mecânica, radiation y calor*. Vol. 1. Fundo educativo Interamericano S. A. (1971).
6. EINSTEIN, A. e Infeld, I. – *A Evolução da Física*. Rio de Janeiro. Zahar (1976).
7. BASSALO, J. M F. – Crônicas da Física. Pará. Editora Universitária/Pará. 4 vol.. (1987/1995)

Artigos científicos sobre os conteúdos citados, publicados em revistas especializadas a exemplo da:

- Revista Brasileira de Ensino da Física
- Caderno Catarinense de Ensino de Física
- American Journal of Physics
- Physics Education
- Scientific American

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- Características e propriedades dos fluidos em repouso. Leis da Pressão e o Princípio de Arquimedes.
- Dinâmicas dos fluidos ideais e suas propriedades básicas. Fluidos reais. Aplicações.
- Características e propriedades das oscilações e sua descrição. Ressonância. Aplicações.
- Características e propriedades das ondas elásticas.
- Caracterização de sistemas termodinâmicos.
- Calor e Primeira Lei da Termodinâmica.
- Processos termodinâmicos. Entropia.
- Cinética dos gases. Movimento Browniano.
- Evolução conceitual da Termodinâmica.
- Aplicações tecnológicas das leis da Termodinâmica.

Aprovação pelo Departamento

Data Chefe do Departamento

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.I Programa da disciplina Física Básica III

UFBA	SUPERINTENDÊNCIA ACADÊMICA SECRETARIA GERAL DE CURSOS	PROGRAMA DE DISCIPLINA	1999

Código: FIS-141	Nome: Física Básica III			
	Teórica	Prática	Total	Unidade: Instituto de Física
Carga Horária	30	30	60	Departamento: Geofísica Nuclear – Depto. I
Créditos	02	01	03	Pré-requisito(s): Sem pré-requisito
Módulo	40	20		Curso(s)/natureza: Optativa

EMENTA

Estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas relacionadas no ramo do Eletromagnetismo, a nível introdutório, sem ênfase no Cálculo Diferencial e Integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive, recursos de simulação computacional, História da Ciência e experimentos de laboratórios envolvendo medidas de grandezas físicas além de experiências demonstrativas. Discutem-se artigos simples publicados em revistas científicas, relativos ao Eletromagnetismo. Apresentam-se aplicações tecnológicas de Eletromagnetismo.

OBJETIVOS

Capacitar o aluno a identificar e manipular conceitos, fenômenos e leis físicas relativos às oscilações, ondas e calor a partir de uma abordagem fenomenológicas/qualitativa, a nível introdutório.

METODOLOGIA

O conteúdo será abordado a partir de aulas expositivas, seminários, aulas práticas em laboratórios didáticos envolvendo medidas de grandezas físicas, aulas com experiências demonstrativas e manipulação de softwares educacionais em laboratórios de computação. A avaliação será feita a partir de questões discursivas, preferencialmente, onde o aluno mostrará dominar o vocabulário técnico relativo ao assunto estudado.

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

9. Gref – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física*. Vol. 3. São Paulo. Edusp. (1993).
1. Holton, G., Rutherford, F. J. e Watson, F. G., *Projecto Física*, Unidade 3 – Luz e Eletromagnetismo. Lisboa. Fundação C. Gulbekian (1980).
2. PSSC – Physical Science Study Committee. Editora Universidade de Brasília (1967).
3. Máximo, A e Alvarenga, B. – *Curso de Física*. Vol. 3. São Paulo. Editora Scipione (2000).
4. Feynman, R. P. et al – *Física – Mecânica, radiación y calor*. Vol. I. Fundo Educativo Interamericano S. A (1971).
5. Einstein, A e Infeld, L. – *A Evolução da Física*. Rio de Janeiro. Zahar. (1976).
6. Bassalo, J. M. F. – *Crônicas da Física*. Pará. Editora Universitária/Pará. 4 vol. (1987/1995).

- Artigos científicos sobre os conteúdos citados, publicados em revistas especializadas a exemplo da:
  - Revista Brasileira de Ensino de Física
  - Caderno Catarinense de Ensino de Física
  - American Journal of Physics
  - Physics Education
  - Scientific American

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- Conceito de carga elétrica e a estrutura da matéria. Processos de eletrização. Lei de Coulomb.
- Conceito de campo elétrico e de força elétrica. Aplicações as distribuições simples de carga (distribuições: pontuais, esfera carregada e condensador).
- Conceitos de potencial elétrico, diferença de potencial elétrico, energia potencial elétrica e superfícies equipotenciais.
- Conceitos de tensão e de corrente elétrica. Lei de Ohm. Efeito Joule em um resistor.
- Circuitos elétricos e suas leis fundamentais.
- Conceito de campo magnético. Irmãs. Efeitos magnéticos da corrente elétrica. Força de Lorentz.
- Conceito de ondas eletromagnéticas e seu espectro
- Desenvolvimento histórico dos conceitos do Eletromagnetismo.
- Aplicações tecnológicas do Eletromagnetismo..

Aprovação pelo Departamento

Data Chefe do Departamento

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.J Programa da disciplina Física Básica IV

UFBA	SUPERINTENDÊNCIA ACADÊMICA SECRETARIA GERAL DE CURSOS	PROGRAMA DE DISCIPLINA	1998

Código: FIS-142	Nome: Física Básica IV			
	Teórica	Prática	Total	Unidade: Instituto de Física
Carga Horária	30	30	60	Departamento: Física do Estado Sólido – Depto. III
Créditos	02	01	03	Pré-requisito(s): Sem pré-requisito
Módulo	40	20		Curso(s)/natureza: Optativa

EMENTA

Estudam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas no ramo da Óptica e o processo de formulação da Física Moderna, a nível introdutório, sem ênfase no Cálculo Diferencial e Integral, a partir de uma abordagem fenomenológica, usando, inclusive, recursos de simulação computacional, História da Ciência e experimentos de laboratório envolvendo medidas de grandezas físicas, além de experiências demonstrativas. Discutem-se artigos simples publicados em revistas científicas, relativos aos conteúdos citados. Apresentam-se aplicações Tecnológicas da Óptica e da Física Moderna.

OBJETIVOS

Capacitar o aluno a identificar e manipular conceitos, fenômenos e leis físicas no ramo da Óptica, a partir de uma abordagem fenomenológicas/qualitativa, a nível introdutório. Iniciar o aluno nos conceitos de Física Moderna.

METODOLOGIA

O conteúdo será abordado a partir de aulas expositivas, seminários, aulas práticas em laboratórios didáticos envolvendo medidas de grandezas físicas, aulas com experiências demonstrativas e manipulação de softwares educacionais em laboratórios de computação. A avaliação será feita a partir de questões discursivas, preferencialmente, onde o aluno mostrará dominar o vocabulário técnico relativo ao assunto estudado.

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

1. GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Vol. 3. *Física*. São Paulo. Edusp. (1993).
2. HOLTON, G., Rutherford, F. J. e Watson, F. G., *Projecto Física*, Unidade 4 – Luz e Eletromagnetismo. Lisboa. Fundação C. Gulbekian (1980)
3. PSSC – Physical Science Study Committee. Editora Universidade de Brasília. (1967)
4. FEYNMAN, R. P. et al – *Física – Electromagnetismo e Matéria*. Vol. 2. Fundo Educativo Interamericano S. A (1971).
5. MÁXIMO, A e ALVARENG, B. – *Curso de Física*. Vol. 2. São Paulo. Editora Scipione. (2000)
6. EINSTEIN, A e Infeld, L. – *A Evolução da Física*. Rio de Janeiro. Zahar. (1976).
7. BASSALO, J. M. F. – *Crônicas da Física*. Pará. Editora Universitária/Pará. 4 vol. (1987/1995).

- Artigos científicos sobre os conteúdos citados, publicados em revistas especializadas a exemplo da:

Revista Brasileira de Ensino da Física

Caderno Catarinense de Ensino de Física

American Journal of Physics

Physics Education

Scientific American

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- Os fenômenos da Óptica Geométrica.
- Os processos de formação de imagens.
- Os fenômenos da Óptica ondulatória.
- Os quanta de luz.
- A dualidade onda-corpúsculo da luz.
- A unificação da Óptica, Eletricidade e Magnetismo.
- O desenvolvimento histórico dos conceitos da Óptica e o processo de formação da Física Moderna.
- Aplicações tecnológicas da Óptica e da Física Moderna.

Aprovação pelo Departamento

Data Chefe do Departamento

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.K Texto para divulgação do Curso de Física, Licenciatura, noturno, enviado às escolas de ensino médio, da Bahia, no ano de 1998

A UFBa TAMBÉM TEM !

CURSO NOTURNO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Com a criação, neste ano, do Curso Noturno de Licenciatura em Física, a Universidade Federal da Bahia dá o primeiro passo para atender a uma reivindicação antiga de uma parcela significativa da sociedade baiana. Pelo seu horário de funcionamento (18:30 às 22:10 h de segunda a sexta-feira), o curso de Licenciatura em Física, atenderá, principalmente, àquela clientela que geralmente trabalha - ou deseja trabalhar - e tem dificuldades para conciliar os horários da universidade com o de trabalho.

O Currículo

O currículo foi concebido atendendo a dois aspectos principais: Primeiro, para permitir ao aluno uma maior flexibilidade na escolha do conjunto de disciplinas que deseja cursar e ainda possibilitar sua matrícula em um menor número de disciplinas, por semestre, sem aumentar significativamente o tempo máximo para conclusão do curso. Segundo, procurando incluir disciplinas novas, envolvendo, inclusive, meio ambiente, filosofia, língua estrangeira, informática, etc. O Curso Noturno de Licenciatura em Física envolve conteúdos de Física (41%), Educação (23%), além de matemática, computação, química e outros conteúdos de opção dos alunos.

A Clientela

Destina-se aos vestibulandos que se interessam pela matéria Física e que não podem se dedicar aos estudos universitários no turno diurno por motivos diversos, inclusive o de trabalho.

O Profissional

Formam-se profissionais de nível superior com habilitação para ministrar a matéria Física nos colégios de segundo grau, podendo o Licenciado em Física dar continuidade aos seus estudos, ingressando em cursos de pós-graduação.

O Mercado

Existe um amplo mercado de trabalho constituído pelas escolas públicas e particulares. No momento, essas escolas não encontram no mercado os profissionais que geralmente precisam, com diploma de Licenciado em Física (professor formado para ensinar a disciplina Física). Para suprir tal carência são contratados, em regime precário, estudantes ou pessoas com formação em outras áreas.

O Corpo Docente

O corpo docente do curso noturno de Licenciatura em Física tem alta qualificação. A sua maioria é de professores com doutorado realizado no Brasil ou no exterior, alguns, inclusive, com pós-doutorado; outros são mestres ou especialistas.

Informações Diversas

Horário de Funcionamento: das 18:30 às 22:10 horas, de segunda a sexta-feira.
Local: Instituto de Física/UFBa, no Bairro da Federação/Ondina.
Inscrição Vestibular: Agosto de 1998. Número de vagas no vestibular: 40 vagas.
Início do Curso: Primeiro semestre de 1999. Tempo de duração: Tempo médio de 5 anos.
Infra-estrutura Material: Biblioteca com mais de 10.500 exemplares; laboratórios didáticos; laboratório de computação, inclusive com acesso à Internet; cantina, etc.

Fonte: Arquivo do Instituto de Física - UFBA

ANEXO 2.L Boletim Informativo do Instituto de Física – publicação interna

Folha da Física

Boletim Informativo do Instituto de Física da UFBA

Ano I, número 6, Junho de 2002

Ponto de Vista

DIPLOMAÇÃO

*José Fernando Moura Rocha**

Neste ano de 2002, o Curso de Licenciatura em Física - noturno, encontra-se no seu quarto ano de implantação, com 127 alunos matriculados e com uma evasão em torno de 25%, o que é um índice relativamente baixo, se comparado com os 80% de evasão dos cursos de Física diurnos, de 6 anos atrás. Atualmente os cursos de Física diurnos contam com 206 alunos matriculados e com um índice de evasão muito menor que o do noturno.

O que mudou neste período?

Mudou o mercado de trabalho e mudou o Instituto de Física?

Quanto ao mercado de trabalho, a mudança no seu perfil pode ser compreendida a partir da análise do crescente número desempregados no Brasil, concomitante com a oferta de novos empregos (em número insuficiente) com salários iniciais em geral inferiores aos que prevaleciam em anos anteriores. Naturalmente que esta mudança ocorrida no mercado de trabalho tem influenciado os mais jovens na busca por mais qualificação, e o curso de graduação em Física (licenciatura ou bacharelado) tem se mostrado uma ótima opção.

Com relação às mudanças ocorridas no Instituto de Física, estas aconteceram em função da percepção de seus professores da necessidade de se alterar o quadro desfavorável em que se encontravam os cursos de Física diurnos, por volta de 1996, caracterizados pela evasão elevadíssima, e uma disponibilidade de 103 *vagas residuais*. Com os esforços desenvolvidos, nestes últimos anos, o número de alunos matriculados nos cursos de Física passou de 140/semestre (diurno, 1996) para 330/semestre (diurno mais noturno, 2002), a quantidade de vagas residuais dos cursos de Física diurnos tornou-se insignificante, ou mesmo zero, e as vagas residuais do curso noturno são de apenas 21 (8 das quais já preenchidas em junho de 2002).

A grande questão que precisa ser respondida agora é: Porque o índice de diplomação, apesar de ultimamente ter crescido um pouco, continua relativamente baixo?

Não é fácil responder a esta indagação, mas algumas pistas poderiam ser seguidas:

Será que as grades curriculares não estão "descoladas" (para usar um termo da moda) do alunado? Será que só os alunos autodidatas estariam se formando?

Será que os professores estão desmotivados? Será que os professores distinguem um aluno que trabalha de um aluno que não trabalha? Será que os professores só ensinam, ou os professores ajudam o aluno a aprender?

A parte experimental tem tido a atenção que merece? As aulas experimentais estão programadas para o tempo disponível (1 hora e 40 minutos!)? Os roteiros das experiências são compreensíveis para um aluno que ainda não viu a parte teórica? Se não são, o que é feito para compensar a dificuldade imposta? E ainda: Que grau de prioridade é dado aos cursos de Física Geral e Experimental, em função de importância que têm para a formação dos alunos?

Os alunos estão interessados ou motivados?

Bem, estas questões precisam ser respondidas pelo Instituto de Física da UFBa. De qualquer forma, quanto ao interesse ou à motivação dos alunos, podemos adiantar que, a contar pelos números anteriormente citados, não poderíamos ter um alunado mais interessado ou motivado.

Num artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino Física, em março de 2002 (Vol. 22, nº 1), o professor Marco Antônio Moreira, da UFRGS, faz o seguinte comentário a respeito da problemática dos cursos de Física no Brasil:

" Possivelmente, os estudantes que sobrevivem e acabam saindo bacharéis ou licenciados em Física nem precisassem" ter tido o ensino que tiveram. Trata-se muito mais de seleção natural do que aprender em função do ensino".

NOVOS CURSOS À NOITE?

O Curso de Licenciatura em Física - Noturno, Hoje

A implantação do Curso de Licenciatura em Física-noturno é uma experiência bem sucedida, desfazendo as dúvidas que alguns poderiam ter antes de sua criação. A mudança do perfil do mercado e a intensa mobilização em torno da criação e implantação do curso noturno, com divulgação nos principais órgão de imprensa e com confecção e distribuição de cartazes em escolas de nível médio, aliados à grande atenção que o Instituto de Física e outros institutos e escolas da UFBa têm dado ao curso, parecem ser as principais razões do sucesso.

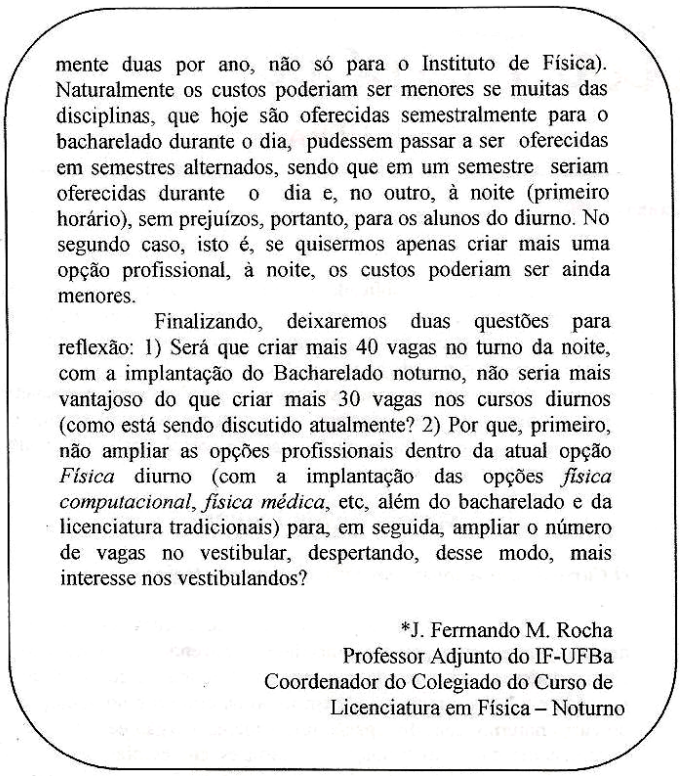
Antes da criação do curso noturno, com apenas 99 alunos inscritos para o vestibular de 1998, disputando as 50 vagas diurnas (relação candidatos/vaga de 1,98), mesmo os professores mais otimistas não poderiam prever que, no vestibular de janeiro de 1999, **após o aumento do número de vagas oferecidas para Física** (além das 50 diurnas, mais 40 noturnas), a concorrência para os cursos diurnos aumentaria para 3,66 candidatos/vaga e, simultaneamente, a concorrência para o recém criado curso noturno seria de 4,65 candidatos/vaga. Passamos de 99 alunos inscritos no vestibular de Física, no ano de 1998, para 360 alunos no vestibular do ano de 1999. Um crescimento de quase quatro vezes. As relações candidatos/vaga nestes últimos três anos mantiveram-se estáveis, sendo que no ano de 2002 foi de 4,68 para o diurno e de 5,08 para o noturno, o que dá um total de 437 candidatos inscritos.

O Futuro do Curso de Licenciatura em Física - Noturno

A curto prazo, a tarefa mais importante é alertar os professores responsáveis pelas turmas oferecidas para o Curso de Licenciatura em Física - noturno, que tão importante quanto ministrar o conteúdo programático de cada disciplina, é maximizar o aproveitamento dos 50 minutos de cada aula. Os 20 minutos de intervalo após cada duas horas de aula, parecem ser sem importância para alguns, mas, para os alunos do noturno, são preciosos, o que indica a necessidade dos professores aprimorarem suas aula para que possam aproveitar bem o tempo disponível, usando outros recursos além do quadro e giz, sem falar na escolha adequada dos chamados livros de texto e na destinação de tempo para tirar eventuais dúvidas.

Tão importante quanto seus esforços de aprimoramento, é o próprio professor (com a ajuda dos Colegiados de Física), ao final de cada semestre, solicitar aos alunos uma avaliação de suas aulas e de seu curso (através de um formulário a ser respondido em classe, por exemplo). Algo nesta direção já foi feito pelo Colegiado do curso noturno, com bons resultados.

A médio prazo, o objetivo é criar também o Curso de Bacharelado em Física - noturno! Uma proposta de grade curricular já foi formulada, mostrando sua viabilidade. Quanto aos custos da criação desse curso, devemos, primeiro, decidir se queremos criar um curso de Bacharelado, oferecendo *mais* 40 vagas no vestibular, além das 40 para a licenciatura noturna, ou se queremos criar mais uma opção profissional para os alunos da noite - o bacharelado - mantendo apenas as 40 vagas hoje oferecidas à noite. No primeiro caso, implicaria na criação de novas vagas para concurso de professores, a serem preenchidas ao longo de 5 anos (aproximada-



mente duas por ano, não só para o Instituto de Física). Naturalmente os custos poderiam ser menores se muitas das disciplinas, que hoje são oferecidas semestralmente para o bacharelado durante o dia, pudessem passar a ser oferecidas em semestres alternados, sendo que em um semestre seriam oferecidas durante o dia e, no outro, à noite (primeiro horário), sem prejuízos, portanto, para os alunos do diurno. No segundo caso, isto é, se quisermos apenas criar mais uma opção profissional, à noite, os custos poderiam ser ainda menores.

Finalizando, deixaremos duas questões para reflexão: 1) Será que criar mais 40 vagas no turno da noite, com a implantação do Bacharelado noturno, não seria mais vantajoso do que criar mais 30 vagas nos cursos diurnos (como está sendo discutido atualmente? 2) Por que, primeiro, não ampliar as opções profissionais dentro da atual opção *Física* diurno (com a implantação das opções *física computacional*, *física médica*, etc, além do bacharelado e da licenciatura tradicionais) para, em seguida, ampliar o número de vagas no vestibular, despertando, desse modo, mais interesse nos vestibulandos?

*J. Fernando M. Rocha
Professor Adjunto do IF-UFBa
Coordenador do Colegiado do Curso de
Licenciatura em Física – Noturno

Fonte: Arquivo do Instituto de Física - UFBA

ANEXO 2.M Questionário para acompanhamento e avaliação da disciplina Física Básica III, usado no semestre 2000.1

Universidade Federal da Bahia
Instituto de Física
Depto. I / Depto. II / Depto. III

QUESTIONÁRIO PARA ACOMPANHAMENTO E AVALIAÇÃO DAS DISCIPLINAS OFERECIDAS PELO INSTITUTO DE FÍSICA

Preencha com caneta • **Não é necessário identificar-se**

Disciplina: . . . . . .Turma: . . . . . .

Curso matriculado na UFBA/Ano de ingresso: . . . . . .

Carga horária semanal em disciplinas: . . . . . .

Carga horária semanal em outras atividades (trabalho, estágio, monitoria, bolsa de trabalho, etc.): . . . . . .

*Atribua uma nota de no **mínimo 0 (zero)** e no **máximo 10 (dez)** para as questões abaixo:*

Questões sobre o Professor	**Teoria** Prof.	**Laboratório** Prof.
1. Pontualidade		
2. Assiduidade		
3. Cumprimento do programa		
4. Domínio do assunto		
5. Clareza na exposição do assunto		
6. Quantidade de exercícios resolvidos em sala de aula		
7. Esclarecimento de dúvidas em sala de aula		
8. Atendimento aos alunos fora do horário de aula		
9. Relacionamento com a turma		
10. Correspondência entre o nível das provas e o nível das aulas		
11. Critério de correção da prova		
12. Critério de correção do relatório		
13. Divulgação dos resultados em tempo hábil		
Questões sobre o Curso	**Teo**	**Lab**
14. Livro texto adotado		
15. Experimentos realizados		
16. Roteiros do laboratório		
Questões sobre o Aluno	**Teo**	**Lab**
17. Domínio dos conhecimentos prévio para acompanhar o curso		
18. Você lê o roteiro antes da realização da experiência?		Sim / Não
19. Você estuda apenas na véspera das provas?	Sim / Não	Sim / Não
20. Você procura o professor no horário extra classe?	Sim / Não	Sim / Não
Avaliação Final	**Teo**	**Lab**
21. Conceito final atribuído ao professor		
22. Conceito final atribuído a si mesmo		

ESPAÇO LIVRE PARA OUTRAS CONSIDERAÇÕES (sobre a teoria e/ou o laboratório): . . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . (continue no verso)

. . . . . .

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.N Questionário utilizado no primeiro semestre de 2012 para coletar as opiniões dos alunos da disciplina Física Básica III

Questão 1

Identifique entre os temas estudados dois ou três assuntos que você aprendeu, ou compreendeu melhor, em razão da abordagem utilizada nesse curso de Física Básica III (Eletromagnetismo), em que se procura, articular os conceitos teóricos com experimentos demonstrativos (não só qualitativos) e recursos da História da Ciência (História da Física).

Questão 2

Em que esta abordagem contextualizada, simultaneamente histórica, fenomenológica, matemática e conceitual, favoreceu a aprendizagem ou levou a uma melhor compreensão do conteúdo dessa disciplina?

Questão 3

Em razão da sua experiência como aluno de **Física Básica III,** você acha que, no caso do currículo do curso de **Licenciatura em Física**, esta disciplina deve ser obrigatória, optativa ou excluída? Por que:

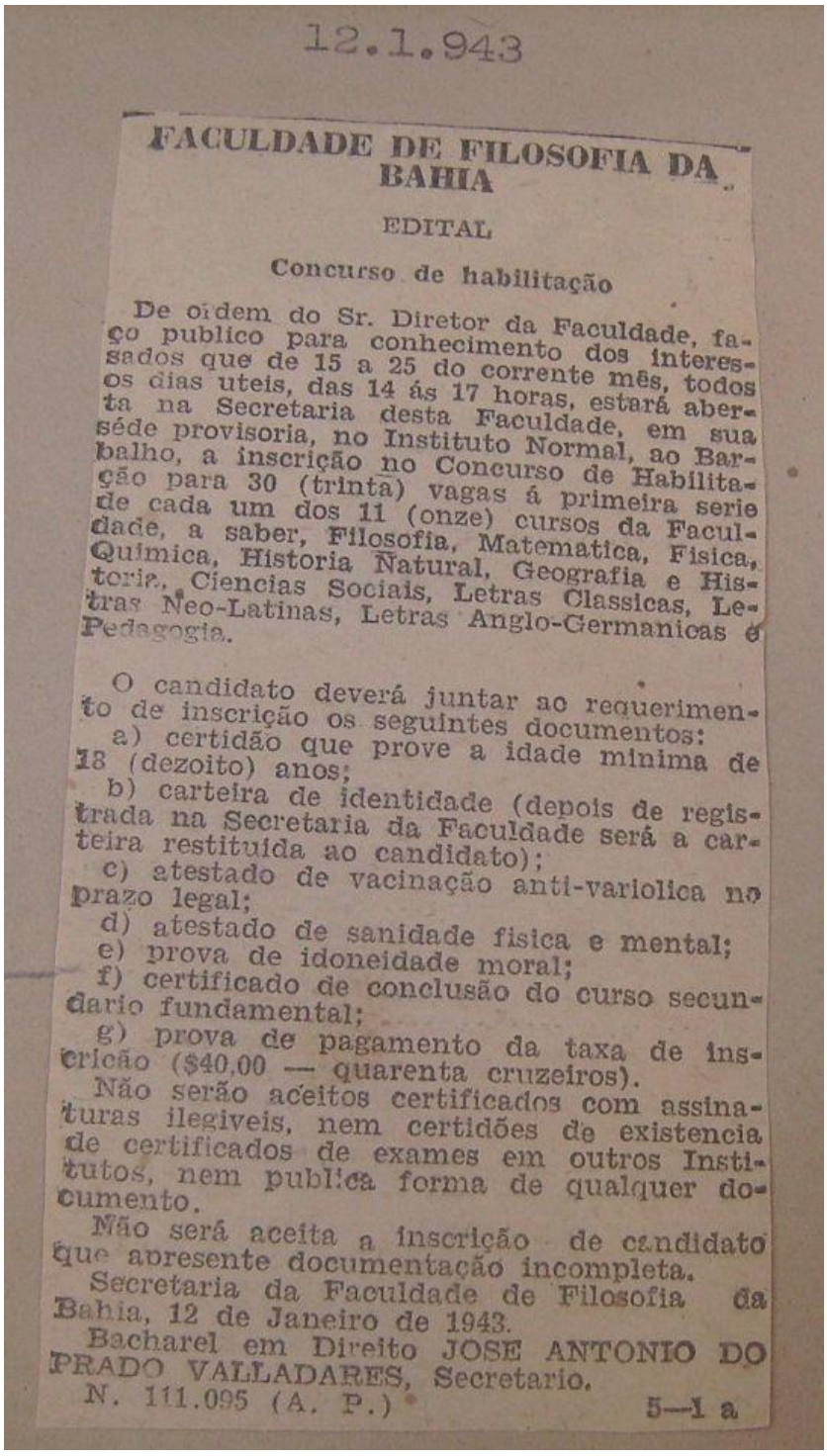
Questão 4

Em razão da sua experiência como aluno de **Física Básica III**, você acha que, no caso do currículo do curso de **Bacharelado em Física**, esta disciplina deveria ser incluída como obrigatória, deveria ser incluída como optativa ou **não** deveria ser incluída? Por quê?

Questão 5

Expresse livremente sua opinião sobre o curso de Física Básica III, ministrado neste primeiro semestre de 2012.

ANEXO 2.O Edital do primeiro "Concurso de Habilitação" para o Curso de Física e reportagens sobre os pretendentes aos cursos da FFBA



12.1.943

FACULDADE DE FILOSOFIA DA BAHIA

EDITAL

Concurso de habilitação

De ordem do Sr. Diretor da Faculdade, faço publico para conhecimento dos interessados que de 15 a 25 do corrente mês, todos os dias uteis, das 14 ás 17 horas, estará aberta na Secretaria desta Faculdade, em sua séde provisoria, no Instituto Normal, ao Barbalho, a inscrição no Concurso de Habilitação para 30 (trinta) vagas á primeira serie de cada um dos 11 (onze) cursos da Faculdade, a saber, Filosofia, Matematica, Fisica, Quimica, Historia Natural, Geografia e Historia, Ciencias Sociais, Letras Classicas, Letras Neo-Latinas, Letras Anglo-Germanicas e Pedagogia.

O candidato deverá juntar ao requerimento de inscrição os seguintes documentos:

a) certidão que prove a idade minima de 18 (dezoito) anos;

b) carteira de identidade (depois de registrada na Secretaria da Faculdade será a carteira restituida ao candidato);

c) atestado de vacinação anti-variolica no prazo legal;

d) atestado de sanidade fisica e mental;

e) prova de idoneidade moral;

f) certificado de conclusão do curso secundario fundamental;

g) prova de pagamento da taxa de inscrição ($40,00 — quarenta cruzeiros).

Não serão aceitos certificados com assinaturas ilegiveis, nem certidões de existencia de certificados de exames em outros Institutos, nem publica forma de qualquer documento.

Não será aceita a inscrição de candidato que apresente documentação incompleta.

Secretaria da Faculdade de Filosofia da Bahia, 12 de Janeiro de 1943.

Bacharel em Direito JOSE ANTONIO DO PRADO VALLADARES, Secretario.

N. 111.095 (A. P.) 5—1 a

Fonte: Arquivos da FFCL-UFBA



11.1.943

Inscrições ao concurso de habilitação da Faculdade de Filosofia da Bahia

JA' PLENAMENTE GARANTIDO O FUNCIONAMENTO DOS SEIS CURSOS DA PRIMEIRA SERIE — AS CONDIÇÕES EXIGIDAS

Na reunião promovida sabado ultimo, na Escola Politecnica, a convite da Secretaria da Faculdade de Filosofia, grande foi o numero de candidatos que se apresentaram aos cursos desta Faculdade. Compareceram mais de 50 moças e rapazes, havendo todos fornecido indicação do curso que pretendem seguir. Poude-se assim verificar que o curso de Geografia e Historia é o mais procurado, seguindo-se os de Matematica, Ciencias Sociais, Física, Filosofia e Letras Clássicas.

Considerando o limite minimo estabelecido pelo Conselho Técnico Administrativo ,está, para o ano de 1943, garantido o funcionamento da 1ª série destes seis cursos, pois a cada um deles se apresentaram mais de 6 candidatos.

A inscrição para o Concurso de Habilitação á primeira série dos diferentes cursos da Faculdade será aberta a 15 do corrente, devendo encerrar-se a 25. Os exames vestibulares serão realizados na segunda quinzena de fevereiro.

ABERTURA DAS INSCRIÇÕES

A Faculdade de Filosofia da Bahia está fazendo publico, para conhecimento dos interessados, que, de 15 a 25 do corrente mês, todos os dias uteis, das 14 ás 17 horas, estará aberta na Secretaria daquela Faculdade, em sua sede provisoria, no Instituto Normal, ao Barbalho, a inscrição ao Conourso de Habilitação para 30 (trinta) vagas á primeira série de cada um dos 11 (onze) cursos da Faculdade, a saber, Filosofia, Matematica, Física, Química, Historia Natural, Geografia e Historia, Ciencias Sociais, Letras Classicas, Letras Neo-Latinas, Letras Anglo-Germanicas e Pedagogia.

O candidato deverá juntar ao requerimento de inscrição os seguintes documentos:

a) certidão que prove a idade minima de (18) anos;

b) carteira de identidade (depois de registrada na Secretaria da Faculdade será a carteira restituida ao candidato);

c) atestado de vacinação anti-variolica no prazo legal;

d) atestado de sanidade física e mental;

e) prova de idoneidade moral;

f) certificado de conclusão do curso secundario fundamental;

g) prova de pagamento da taxa de inscrição ($40,00 — quarenta cruzeiros).

Não serão aceitos certificados com assinaturas ilegiveis, nem certidões de existencia de certificados de exames em outros Institutos, nem publica forma de qualquer documento.

Não será aceita a inscrição de candidato que apresente documentação incompleta.

Novo centro de estudos

Abrindo as inscrições para o concurso de habilitação, a Faculdade de Filosofia da Bahia já pode assegurar o seu funcionamento normal, no corrente ano, pois é grande a afluencia dos candidatos aos cursos daquela instituição cultural, fundada sob os melhores auspicios e contando com o maior interesse do governo e dos homens de estudo de nossa terra.

Podendo um grupo de abnegados concretizar uma idéia tão magnifica como esta de instalar uma escola de estudos filosoficos em nossa capital, dentro des normas e regulamentos oficiais, representa este esforço admiravel uma demonstração viva de que as realizações culturais continuam a merecer a nossa melhor atenção e o nosso maior desvelo.

A Bahia sempre pesou na balança das atividades intelectuais do país como um elemento de primeira ordem. Temos uma tradição de centro de estudos, dos maiores do país e esta tradição não é morta, antes está sempre revivida pelas gerações que se sucedem.

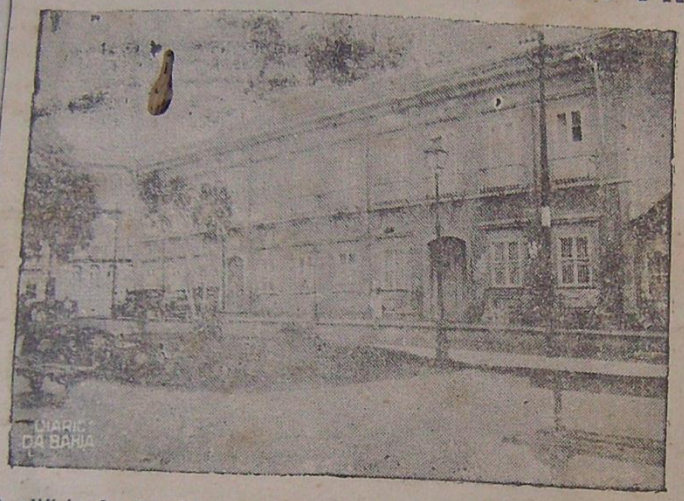
Os problemas do espírito aqui, sempre contaram com uma equipe de estudiosos e homens cultos, todos voltados para a ciencia e para as letras, com uma vocação irresistivel a que não se poderiam furtar. Muitos deles auto-didatas, que venciam sempre barreiras e obstaculos, para dar maior renome á sua terra. E criada e funcionando dentro em breve, a Faculdade de Filosofia vem abrir amplos caminhos ás novas gerações estudiosas, aos que tinham muitas vezes de contar com o proprio esforço para aumentar o circulo dos seus conhecimentos. Ficamos aparelhados assim com um centro de estudos, que poderá abrir nova fase para a vida intelectual da Bahia, desde que ela se instala num ambiente de maior simpatia e maior apoio de todas as classes. Cabe portanto ao seu professorado fazer viver e manter o prestigio que sempre tiveram os institutos de ensino de nossa capital. Prestigio esse que se irradia dentro e fóra do Estado.

Fonte: Arquivos da FFCL-UFBA

10.2.1943

Oitenta e seis candidatos ao concurso de Habilitação da F. de Filosofia

OS EXAMES TERÃO INICIO NO PROXIMO DIA 15



O edificio da Faculdade de Ciencias Economicas, onde serão realizados os exames

Ao Concurso de Habilitação da Faculdade de Filosofia inscreveram-se 86 (oitenta e seis) candidatos, distribuidos pelos seguintes cursos aqueles cujo requerimento foi deferido pelo Inspetor Federal. *Filosofia*: Maria Luiza dos Santos Varjão, Lêda Nunes Ferraro, Alberto da Costa Holtz, Maria Conde Rizerio de Carvalho, José Jeronimo de Souza Filho, Vanda Hegouet, Rui Alberto de Assis Espinheira. *Matemática*: Araci Coelho Esteve, Paulino de Freitas Torres, Abraão Ruchman, Maria Viete de Seixas Pereira, Margarida Orenstein, Valter Orlando de Oliveira Porto, Roskild de Sena Moreira, Gilberto Pires Marinho, João Sampaio Espinheira, Ramakrishna Bagavam dos Santos, Aurelino Teles de Souza. *Geografia e Historia*: Lavinia Augusta Vilas Boas Machado, Stela Maria Pereira de Carvalho, Maria Helena Barreto Campos, Maria Thetis Nunes, Wilde Oliveira Lima, Ivete Duarte Alves, Maria da Conceição Carvalho Freire, Estela Fróes, Teresa Maria Calmon Vilas Boas, Ana Diamantina Nolasco de Carvalho, Gildina de Melo Ferreira, José da Silva Nunes, Geilza Cravo Batinga, Edla G. Campos, Maria José Bonfim Santana, Rui Tito Ninck Carteado, Leopoldo Campos Monteiro, Antonia Fernanda Paca de Almeida, Maria Malva Oliveira Badaró e Cloris Reni Rocha Coelho. *Ciencias Sociais*: Sara Orenstein, Maria Lessa Ribeiro, Marcilio Amintas Jorge, Vilobaldo Ferreira Coelho. Zitelman José Santos de Oliva, João Batista de Lima e Silva, José Newton Alves de Souza, Dalva de Matos, Benedito José Alves, Cicero Pessoa da Silva, Joaquim Costa Pinto Neto, José Maria Cardoso, Alberto Leal Vita, Almir Magalhães Matos, Mario Alves de Souza Vieira, Enock Santiago Filho, Humberto da Cunha Chagas, Miguel Antonio da Rocha, Lezenita de Oliveira Coelho. *Letras Classicas*: Vitoria Cerqueira Pinto, Flavio Magnavita, José Maria da Costa Vargens, João Pio dos Santos Filho, João Almeida Santana e Armindo Ferreira da Silva. *Letras Anglo- Germanicas*: Maria Cristina Otoni Fontes, Maria José Nolasco de Carvalho, Valter Rui Soares dos Santos, Diva da Silva Sampaio, Haenel de Carvalho Ferreira e Ana Cooperman. *Pedagogia*: Augusta de Melo Batalha, Raimundo Luiz Fernandes, Alice de Oliveira Costa, Leonor Livramento Dantas, Agnaldo Moreira de Pinho e Elza Tereza de Melo Batalha.

Os candidatos Celso Orrico, Zozima Safira Fonseca, José Acacio Ferreira, Edson Augusto Silva, Maria Lucia Guimarães Vieira e Lucia Costa Nogueira deverão fazer entrega dos documentos que ainda não entregaram afim de que seus pedidos de inscrição sejam deferidos pelo Inspetor Federal.

O LOCAL DAS PROVAS

As provas ao Concurso de Habilitação serão realizadas na Faculdade de Ciencias Economicas, na Praça da Piedade, e terão inicio na proxima segunda-feira, 15 do corrente, ás 8,30 da manhã.

O horario das provas para os diferentes cursos poderão ser vistos na Secretaria da Faculdade, no Instituto Normal, ao Barbalho.

Fonte: Arquivos da FFCL-UFBA

ANEXO 2.P Aspectos legais relativos ao currículo da Licenciatura em Física, implantado em 1963

O currículo da Licenciatura em Física foi fixado pela Resolução s/n, de 17/11/1962, do antigo Conselho Federal de Educação (C.F.E.), transcrita a seguir:

O Presidente do Conselho Federal de Educação, usando das atribuições que lhe confere os Arts. 9º. letra e, e 70º. da Lei no. 4.024, de 20 de dezembro de 1961, e nos termos do Parecer n. 296/62, que a esta fica incorporado:

RESOLVE:

Art. 1º. – O currículo mínimo para o curso de formação de professores de Física abrangerá os seguintes assuntos:

1. *Matemática: Cálculo Diferencial, Integral e Vetorial, Geometria Analítica e Cálculo Numérico*
2. *Química Geral e Inorgânica e Fundamentos de Química Orgânica*
3. *Mecânica Geral*
4. *Física Experimental: acústica, calor, óptica, propriedades dos fluidos, magnetismo e eletricidade*
5. *Estrutura da Matéria*
6. *Instrumentação para o Ensino*
7. *Matérias pedagógicas de acordo com o Parecer no. 292/62*

Art. 2º. – O curso destinado à formação de professores de Física terá a duração de 2.500horas de atividades, com integralização a fazer-se no mínimo de três e no máximo de seis anos letivos.

Art. 3º. – Esta Resolução entrará em vigor, obrigatoriamente, a partir do ano letivo de 1963.

.....

Na prática, as matérias sugeridas no currículo mínimo eram desdobradas em disciplinas. Para o Bacharelado, entretanto, não existia currículo mínimo fixado por legislação. As matérias relacionadas geralmente estavam presentes nos currículos de Bacharelado em Física:

1. Física Geral e Experimental
2. Matemática: Cálculo, Geometria Analítica, Álgebra, Equações Diferenciais, Métodos Matemáticos da Física.
3. Computação, Eletrônica e Química
4. Mecânica Clássica
5. Termodinâmica e Mecânica Estatística
6. Teoria Eletromagnética
7. Estrutura da Matéria
8. Mecânica Quântica
9. Física Moderna e Contemporânea
10. Laboratório de Física Moderna

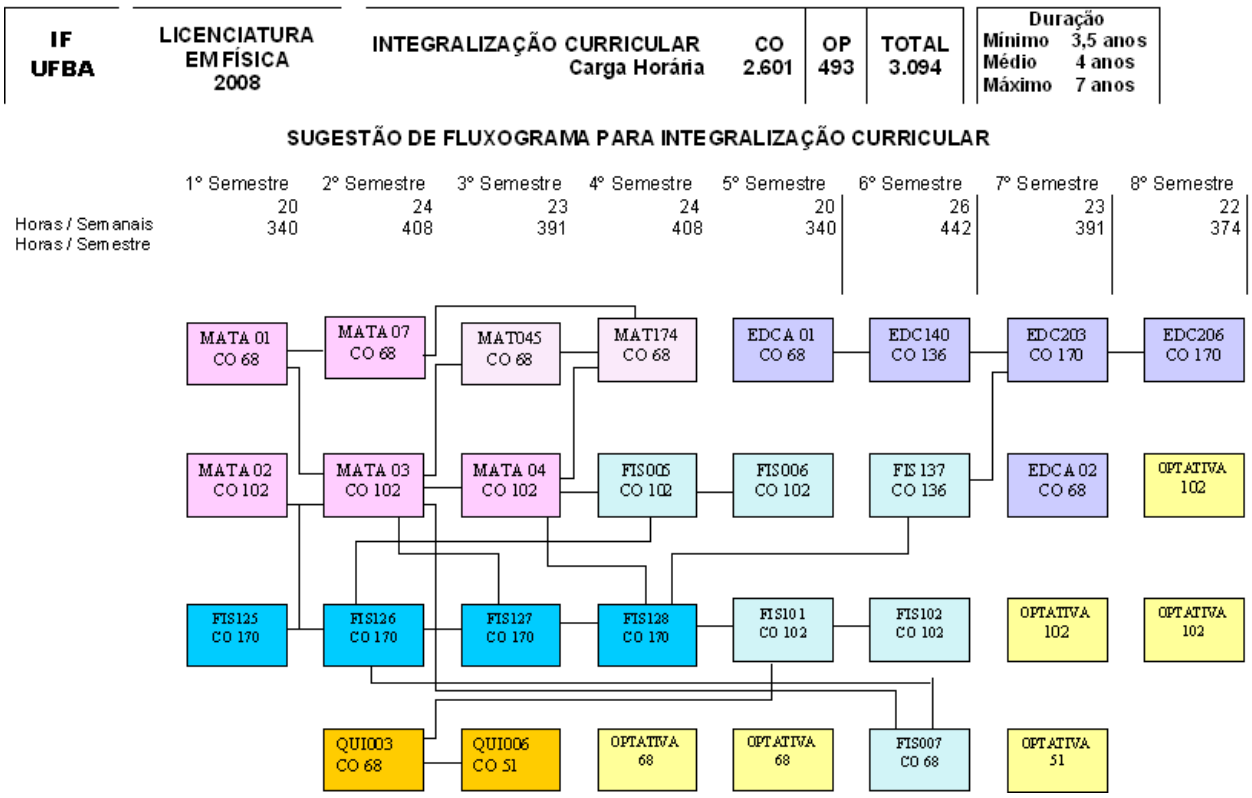
A exigência de *currículo mínimo* foi revogada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - Lei n.º 9.394/96.

ANEXO 2.Q Comparação da estrutura curricular do Curso de Física da FNF (Rio de Janeiro) com a do Curso de Física da FFCL (São Paulo)

Estrutura Curricular do Curso de Física da FNF por volta de 1950 (CUNHA, 1984, out.)	**Estrutura Curricular do Curso de Física da FFCL da USP em 1946** (PRADO, F. D., e HAMBURGER, E. W., 2004)
1º Ano Análise Matemática I; Geometria Analítica e Projetiva; Cálculo Vetorial; Física Geral e Experimental I; Laboratório de Física G. e Experimental I	1º Ano Análise Matemática; Geometria Analítica e Projetiva; Cálculo Vetorial; Física Geral e Experimental;
2º Ano Análise Matemática II; Mecânica Racional; Física Geral e Experimental; Análise Vetorial e Geometria Diferencial	2º Ano Análise Matemática; Mecânica Racional; Física Geral e Experimental; Geometria Descritiva e Complementos de Geometria
3º Ano Análise Superior (Matrizes, Tensores e Espaço de Hilbert) Mecânica Superior (Analítica e Relatividade) Física Matemática (Mecânica dos Meios contínuos e Teoria da Asa Finita) e Física Teórica (Eletromagnetismo). Física Superior (Física Moderna e Mecânica Quântica) Física Superior (com aulas práticas de vidro) Física Aplicada	3º Ano Análise Matemática Mecânica Analítica Física Matemática e Física Teórica. Física Superior
Bacharelado	**Bacharelado**
4º Ano Física Aplicada Física Superior Física Nuclear Mecânica Superior Física Teórica Análise Superior	4º Ano Física Aplicada (2 ou 3 Optativas)
Licenciatura	**Licenciatura**
4º Ano Não informado	4º Ano Psicologia Educacional Didática Geral Didática Especial

Fontes: CUNHA, 1984, out; PRADO, F. D., e HAMBURGER, E. W., 2004.

ANEXO 2.R **Fluxograma do Curso de Física, Licenciatura, diurno, para alunos ingressos no ano de 2011(o mesmo de 2008)**



Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.S Matriz curricular do Curso de Física Licenciatura, diurno, para alunos ingressos no ano de 2011 (o mesmo de 2008)

CURRÍCULO DO CURSO DE FÍSICA – LICENCIATURA

Base Legal – Parecer nº 296, aprovação em 17/11/62 em resolução anexa do C.F.E.

PERFIL DO LICENCIADO –
Este profissional é formado para trabalhar essencialmente no ensino e por isso requer conhecimento sólido e atualizado em Física, em Matemática e adequado treinamento na área pedagógica. Trata-se de uma profissão cuja carência se faz sentir em todos os níveis de ensino e na pesquisa da área educacional, numa sociedade que utiliza cada vez mais os produtos e insumos da pesquisa e da tecnologia.

ELENCO DE DISCIPLINAS

Disciplinas do Currículo Mínimo (CM)

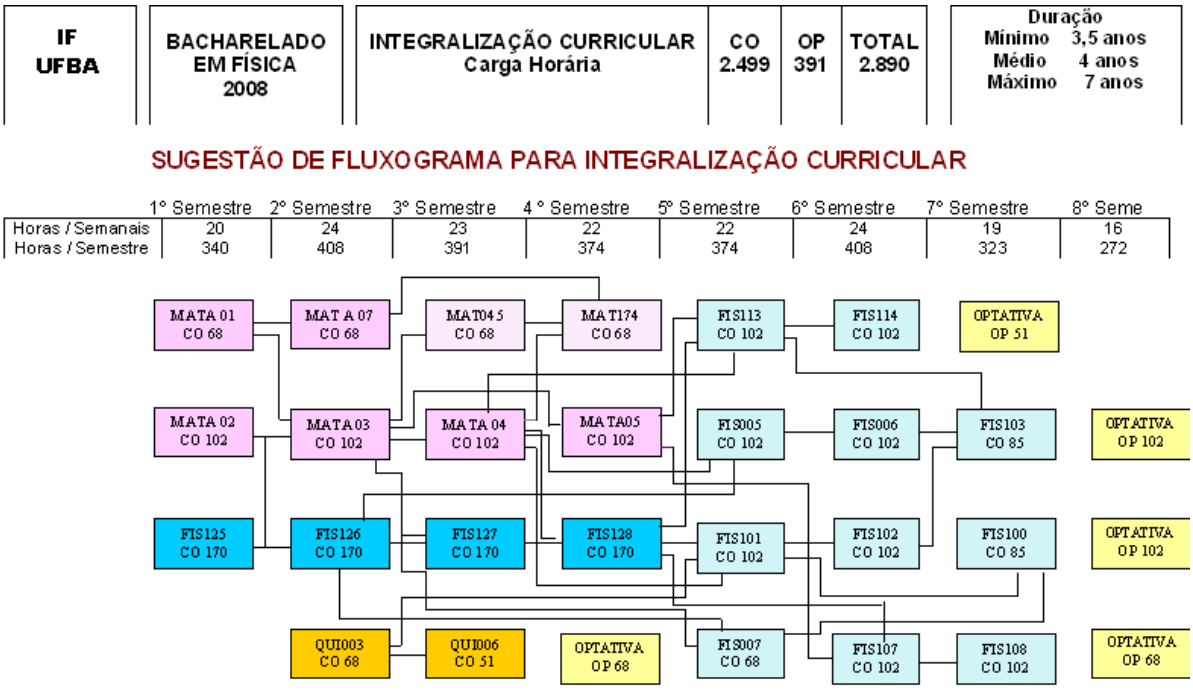
Código	Nome	CH (T. P. E.)	Pré-requisito
FIS 005	Mecânica Geral e Teórica I	102 (68.34.00)	FIS126, MATA04
FIS 006	Mecânica Geral e Teórica II	102 (68.34.00)	FIS005
FIS 007	Termodinâmica	68 (34.34.00)	FIS126, MATA03
FIS 101	Estrutura da Matéria I	102 (51.51.00)	QUI003, FIS128
FIS 102	Estrutura da Matéria II	102 (51.51.00)	FIS101
FIS 125	Física Geral Experimental I F	170 (68.102.00)	Não tem
FIS 126	Física Geral Experimental II F	170 (68.102.00)	FIS125, MATA 02
FIS 127	Física Geral Experimental III F	170 (68.102.00)	MATA03, FIS126
FIS 128	Física Geral Experimental IV F	170 (68.102.00)	MATA04, FIS127
FIS137	Projetos e Modelos	136 (34.102.00)	FIS128
MATA01	Geometria Analítica	68 (34.34.00)	Não tem
MATA07	Algebra Linear A	68 (34.34.00)	MATA01
MATA03	Cálculo B	102 (51.51.00)	MATA01, MATA02
MATA04	Cálculo C	102 (51.51.00)	MATA03
MAT045	Processamento de Dados	68 (34.34.00)	MATA03
MAT174	Cálculo Numérico I	68 (34.34.00)	MATA07/MAT045/MATA04
MATA02	Cálculo A	102 (68.34.00)	Não tem
QUI003	Química	68 (34.34.00)	Não tem
QUI006	Química Orgânica I	51 (51.00.00)	QUI003
EDCA01	Fundam. Psicológicos da Educação	68 (34.34.00)	Não tem
EDCA02	Organização da Educação Brasileira	68 (34.34.00)	Não tem
EDC140	Didática I	136 (51.68.51)	EDCA 01
EDC203	Metodologia e Prática de Ensino I	170 (51.68.51)	EDC140, FIS137
EDC206	Metodologia e Prática de Ensino II	170 (15.51.102)	EDC203

Disciplinas Complementares Optativas (OP)
Opções na área de atuação dentre as listadas:

Código	Nome	CH(T. P. E.)	Pré-requisito
COM 364	Comunicação e Informática	68 (34.34.00)	Não tem
EDC 142	Técnicas e Recursos Audiovisuais	119 (51.68.00)	Não tem
EDCA05	História da Educação Brasileira	68 (51.00.00)	Não tem
EDC 266	Introdução à Informática na Educação	102 (51.51.00)	Não tem
EDC 274	História da Educação I	68 (34.34.00)	Não tem
EDC 276	Filosofia da Educação I	68 (34.34.00)	Não tem
EDC 278	Sociologia da Educação I	68 (34.34.00)	Não tem
EDC 283	Currículos	68 (68.00.00)	Não tem
EDC 286	Avaliação da Aprendizagem	68 (34.34.00)	Não tem
FIS 100	Introdução à Mecânica Estatística	85 (51.34.00)	FIS007, FIS101
FIS103	Introdução à Mecânica Quântica	85 (34,51,00)	FIS006/ FIS113/ FIS102
FIS 104	Introdução à Física do Estado Sólido	68 (34.34.00)	FIS102/ MAT007
FIS 105	Relatividade Restrita	68 (34.34.00)	FIS 128
FIS 107	Eletromagnetismo I	102 (68.34.00)	FIS128/ MAT007
FIS 108	Eletromagnetismo II	102 (68.34.00)	FIS107
FIS 109	Eletrônica I	102 (34.68.00)	FIS128/ MAT007
FIS 110	Eletrônica II	102 (34.68.00)	FIS 109
FIS 111	Introdução à Física Nuclear	102 (34.68.00)	FIS 102
FIS 112	Evolução da Física	51 (51.00.00)	Não tem
FIS 113	Métodos de Física Teórica I	102 (68.34.00)	FIS 128/ MAT 007
FIS 115	Tópicos do Ensino de Física	68 (34.34.00)	Cond. espec. de pré-requisito
FIS 116	Tópicos de Física Moderna	68 (34.34.00)	Cond. espec. de pré-requisito
FIS 117	Tópicos de Física Clássica	68 (34.34.00)	Cond. espec. de pré-requisito
FIS 119	Óptica	68 (34.34.00)	FIS107
FIS 120	Física e Sociedade	68 (34.34.00)	Não tem
FIS129	Introdução a Eletrônica Quântica	68 (34.34.00)	FIS102
FIS 133	Física do Meio Ambiente	68 (34,34,00)	FIS128
FIS 138	Introdução à Física da Terra Sólida	68 (34.34.00)	FIS 127/ GED 202
FIS 144	Complementos de Eletromagnetismo	85 (51.34.00)	FIS 128/ MAT A04
FIS 146	Informática Aplicada à Física	68 (34.34.00)	Não tem
FIS 148	Introdução à Física Matemática	85 (51.34.00)	MATA04
FISA01	Introdução à Astronomia	68 (34.34.00)	Não tem
FISA83	Introdução à Física Atômica e Molecular	68 (51,17,00)	FIS 101
GEO004	Geologia Geral I	102 (51.51.00)	Não tem
GEO005	Geologia Geral II	102 (51.51.00)	GED004
GEO 199	Geofísica I-A	85 (51.34.00)	FIS127
GEO 202	Geologia Física	102 (51.51.00)	Não tem
MATA05	Cálculo D	102 (51.51.00)	MATA03
MAT018	Álgebra Linear II	68 (34.34.00)	MATA 07
MAT025	Estatística III-A	68 (34.34.00)	MATA03
MAT105	Funções Analíticas I	85 (51.34.00)	MATA03

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.T **Fluxograma do Curso de Física, Bacharelado, diurno para alunos ingressos no ano de 2011 (o mesmo de 2008)**



Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.U Matriz curricular do Curso Física, Bacharelado, diurno, para alunos ingressos no ano de 2011 (o mesmo de 2008)

CURRÍCULO DO CURSO DE FÍSICA – BACHARELADO

Base Legal – Parecer nº 296, aprovação em 17/11/62 em resolução anexa do C.F.E.

O PERFIL DO BACHAREL –

O Bacharel em Física é Formado para trabalhar essencialmente com a pesquisa nas diversas áreas da Física, e por isso deve ter sólido e atualizado conhecimento científico e tecnológico para poder abordar(tratar) problemas novos e tradicionais e esteja preocupado em buscar novas formas do saber e do fazer científico. Tem um campo de trabalho que possibilita a atuação nas Universidades, na Indústria e nos Centros de pesquisa, entre outros.

COMPONENTES CURRICULARES OBRIGATÓRIAS (CO)

igo	Nome	CH (T. P. E.)	Pré-requisito
125	Física Geral Experimental I F	170 (68.102.00)	Não tem
126	Física Geral Experimental II F	170 (68.102.00)	FIS125/MATA02
127	Física Geral Experimental III F	170 (68.102.00)	FIS126/MATA03
128	Física Geral Experimental IV F	170 (68.102.00)	FIS127/MATA04
005	Mecânica Geral e Teórica I	102 (68.34.00)	FIS126/MATA04
006	Mecânica Geral e Teórica II	102 (68.34.00)	FIS005
007	Termodinâmica	68 (34.34.00)	FIS126/MATA03
100	Introdução a Mecânica. Estatística	85 (51.34.00)	FIS007/FIS101
101	Estrutura da Matéria I	102 (51.51.00)	FIS128/QUI003
102	Estrutura da Matéria II	102 (51.51.00)	FIS101
103	Introdução a Mecânica Quântica	85 (34.51.00)	FIS006/FIS 113/FIS 102
107	Eletromagnetismo I	102 (68.34.00)	FIS128/MAT007
108	Eletromagnetismo II	102 (68.34.00)	FIS107
113	Métodos de Física Teórica I	102 (68.34.00)	FIS128/MAT007
114	Métodos de Física Teórica II	102 (68.34.00)	FIS113
TA 07	Álgebra Linear A	68 (34.34.00)	MATA01
TA01	Geometria Analítica	68 (68.00.00)	Não tem
TA03	Cálculo B	102 (51.51.00)	MATA01/MATA02
TA04	Cálculo C	102 (51.51.00)	MATA03
TA05	Cálculo D	102 (51.51.00)	MATA03
T045	Processamento de Dados	68 (34.34.00)	MATA03
T174	Cálculo Numérico I	68 (34.34.00)	MATA07/MAT045/MATA04
TA 02	Cálculo A	102 (68.34.00)	Não tem
003	Química	68 (34.34.00)	Não tem
006	Química Orgânica I	51 (51.00.00)	QUI003

Componentes Curriculares Optativas (OP)

Opções na área de atuação dentre as listadas:

Código	Nome	CH(T. P. E.)	Pré-requisito
COM 364	Comunicação e Informática	68 (34.34.00)	Não tem
EDC140	Didática I	136 (51.34. 51)	EDCA01
EDCA01	Fundamentos Psicológicos da Ed.	68 (34.34.00)	Não tem
EDC283	Currículo	68 (34.34.00)	Não tem
MAT018	Álgebra Linear II	68 (34.34.00)	MATA07
MAT025	Estatística III-A	68 (51.34.00)	MATA03
MAT105	Funções Analíticas I	85 (51.34.00)	MATA03
MAT135	Funções Analítica II	68 (34.34.00)	MAT105
MAT137	Métodos Matemáticos da Física	68 (34.34.00)	MAT105
MAT200	Álgebra I- Inteiros e Grupos	102 (34.68.00)	Não tem
MAT201	Álgebra II Anéis e Polinômios	68 (34.34.00)	MAT200
MAT204	Análise Real I	102 (68.34.00)	MATA04/ MAT018
MAT206	Análise Real II	102 (68.34.00)	MAT204
MAT207	Topologia Geral I	102 (68.34.00)	MAT200/ MAT204
MAT208	Geometria Diferencial	102 (68.34.00)	MAT007/ MAT018
MAT209	Teoria das Equações Diferenciais	68 (68.00.00)	MATA07/ MATA04
MAT210	Equações Diferenciais Parciais	68 (34.34.00)	MAT204
MAT211	Cálculo Avançado	68 (34.34.00)	MAT007, MAT204
FIS 104	Introdução à Física do Estado Sólido	68 (34.34.00)	FIS102, MAT007
FIS 105	Relatividade Restrita	68 (34.34.00)	FIS128
FIS 106	Introdução à Mecânica Analítica	68 (34.34.00)	FIS006, FIS113
FIS 109	Eletrônica I	102 (34.68.00)	FIS128/ MAT 007
FIS 110	Eletrônica II	102 (34.68.00)	FIS 109
FIS 111	Introdução a Física Nuclear	102 (34.68.00)	FIS 102
FIS112	Evolução da Física	51 (51.00.00)	Não tem
FIS 115	Tópicos do Ensino de Física	68 (34.34.00)	Cond. espec. de pré-requis:
FIS 116	Tópicos de Física Moderna	68 (34.34.00)	Cond. espec. de pré-requis:
FIS 117	Tópicos de Física Clássica	68 (34.34.00)	Cond. Espec. de pré-requis
FIS 119	Óptica	68 (34.34.00)	FIS 107
FIS 120	Física e Sociedade	68 (34.34.00)	Não tem
FIS 129	Introdução a Eletrônica Quântica	68 (34.34.00)	FIS102
FIS132	Métodos em Geofísica Nuclear	68 (34.34.00)	FIS128
FIS 133	Física do Meio Ambiente	68 (34.34.00)	FIS128
FIS137	Projetos e Modelos	136 (34.102.00)	FIS128
FIS138	Introdução à Física da Terra Sólida	68 (34.34.00)	FIS127/ GEO202
FISA01	Introdução à Astronomia	68 (34.34.00)	Não tem
FISA83	Introdução à Física Atômica e Molecular	68 (51,17,00)	FIS 101
GEO004	Geologia Geral I	102 (34.68.00)	Não tem
GEO005	Geologia Geral II	102 (34.68.00)	GEO 004
GEO199	Geofísica I-A	102 (45.45.00)	FIS127
GEO202	Geologia Física I	102 (45.45.00)	Não tem
GEO208	Métodos Sísmicos	102 (34.68.00)	FIS128/ GEO199
GEO218	Hidrodinâmica em Meios Porosos	68 (34.34.00)	FIS128

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.V Quadro de equivalência entre componentes novos e antigos na reformulação curricular aprovada em 2013 – Física - UFBA

Componente cursado em currículos anteriores	Equivalência no atual currículo
FIS125-Física Geral e Experimental I-F	FIS121 - Física Geral e Experimental I-E
FIS126-Física Geral e Experimental II-F	FIS122 - Física Geral e Experimental II-E
FIS127-Física Geral e Experimental III-F	FIS123 - Física Geral e Experimental III-E
FIS128-Física Geral e Experimental IV-F	FIS124 - Física Geral e Experimental IV-E
FIS101-Estrutura da Matéria I	FIS#06 - Estrutura da Matéria + FIS#07 - Laboratório de Estrutura da Matéria
FIS005-Mecânica Geral e Teórica I	FIS#16 - Mecânica Clássica I
FIS006-Mecânica Geral e Teórica II	FIS#17 - Mecânica Clássica II
FIS106 - Introdução à Mecânica Analítica	FIS#18 - Mecânica Clássica III
FIS007-Termodinâmica	FIS#19 - Termodinâmica A
FIS108-Eletromagnetismo I	FIS#20 - Teoria Eletromagnética I
FIS109-Eletromagnetismo II	FIS#21 - Teoria Eletromagnética II
FIS113-Métodos de Física Teórica I	FIS#22 - Métodos de Física Teórica A
FIS114-Métodos de Física Teórica II	FIS#23 - Métodos de Física Teórica B
FIS100-Introdução à Física Estatística	FIS#26 - Mecânica Estatística
FIS137-Projetos e Modelos	FIS#08 - Projetos e Modelos I + FIS#09 - Projetos e Modelos II
FIS143-Complementos de Mecânica	FIS#13 - Mecânica clássica
FIS144-Complementos de Eletromagnetismo	FIS#14 - Eletromagnetismo
FIS145-Complementos de Termodinâmica	FIS#12 - Física Térmica
FIS139-Física Básica I	FIS#01 - Conceitos de Física A
FIS140-Física Básica II	FIS#02 - Conceitos de Física B
FIS141-Física Básica III	FIS#03 - Conceitos de Física C
FIS142-Física Básica IV	FIS#04 - Conceitos de Física D
FIS112-Evolução da Física	FIS#05 - Filosofia da Física A
MAT045-Processamento de Dados	MATA37-Introdução à Lógica de Programação

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.W Ementas das disciplinas Conceitos de Física A, B, C e D.

Código e Nome do Componente Curricular: FIS#01 – Conceitos de Física A	**Departamento:** FIS04 – Física Geral	**Carga Horária:** **Total:** 68h **T:** 51h **P:** 17h **E:** 00	
Modalidade: Disciplina	**Função:** Básica	**Natureza:** **Bacharelado:** Obrigatória	**Licenciatura:** Obrigatória
Pré-requisito: Sem pré-requisito		**Módulo de alunos:** **T:** 30 **P:** 30 **E:** 00	
Ementa: Estuda-se a gênese do método científico; para isto abordam-se os conceitos, fenômenos e leis físicas relativas à Mecânica, desde suas origens na Grécia Antiga até a revolução científica do século XVII. Em especial, são estudadas a Cosmologia e a Física aristotélica; a Astronomia ptolomaica; a transmissão do aristotelismo ao ocidente; a Astronomia e a Física da Idade Média; a revolução copernicana; a obra científica de Kepler; a obra científica de Galileu; o nascimento da Física newtoniana, sintetizada nos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, e a modernização da Mecânica newtoniana. O estudo contextualizado do assunto é apoiado por experimentos demonstrativos, quando possível.			

Código e Nome do Componente Curricular: FIS#02 – Conceitos de Física B	**Departamento:** FIS05 – Física do Estado Sólido	**Carga Horária:** **Total:** 68h **T:** 34h **P:** 34h **E:** 00	
Modalidade: Disciplina	**Função:** Básica	**Natureza:** **Bacharelado:** Obrigatória	**Licenciatura:** Obrigatória
Pré-requisito: Conceitos de Física A (FIS#01)		**Módulo de alunos:** **T:** 30 **P:** 30 **E:** 00	
Ementa: Estudam-se, de forma contextualizada, os conceitos, fenômenos e leis físicas relacionadas à Termodinâmica e à Teoria Cinética. Usando recursos da História da Ciência, estuda-se o desenvolvimento das idéias da Termodinâmica e da Teoria Cinética, desde a Antiguidade até o século XIX. O estudo contextualizado do assunto é apoiado necessariamente por experimentos demonstrativos. Apresentam-se aplicações tecnológicas da Termodinâmica; oscilações e ondas Mecânicas, com o apoio de experimentos, também são estudadas.			

Código e Nome do Componente Curricular: FIS#03 – Conceitos de Física C	**Departamento:** FIS04 – Física Geral	**Carga Horária:** **Total:** 68h **T:** 34h **P:** 34h **E:** 00	
Modalidade: Disciplina	**Função:** Básica	**Natureza:** **Bacharelado:** Obrigatória	**Licenciatura:** Obrigatória
Pré-requisito: Conceitos de Física B (FIS#02)		**Módulo de alunos:** **T:** 30 **P:** 30 **E:** 00	
Ementa: Estudam-se de forma contextualizada os conceitos, fenômenos e leis físicas relacionados ao Eletromagnetismo. Usando recursos da História da Ciência, estuda-se o desenvolvimento das idéias do Eletromagnetismo, desde a Antiguidade até o século XIX. O estudo contextualizado do assunto é apoiado por experimentos demonstrativos. Apresentam-se aplicações tecnológicas do Eletromagnetismo.			

<table>
<tr><td>Código e Nome do Componente Curricular:
FIS#04 – Conceitos de Física D</td><td>Departamento:
FIS05 – Estado Sólido</td><td colspan="2">Carga Horária:
Total: 68h
T: 34h P: 34h E: 00</td></tr>
<tr><td>Modalidade:
Disciplina</td><td>Função:
Profissional</td><td>Natureza:
Bacharelado:
Optativa</td><td>Licenciatura:
Optativa</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pré-requisito:
Conceitos de Física C (FIS#03)</td><td colspan="2">Módulo de alunos:
T: 30 P: 15 E: 00</td></tr>
<tr><td colspan="4">Ementa:
Estudam-se de forma contextualizada os conceitos, fenômenos e leis físicas relacionados à Óptica e à Física Moderna. Usando recursos da História da Ciência, estuda-se o desenvolvimento das idéias da Óptica e da Física Moderna, desde a Antiguidade até o século XX. O estudo contextualizado do assunto é apoiado por experimentos demonstrativos. Apresentam-se aplicações tecnológicas da Óptica e da Física Moderna.</td></tr>
</table>

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA

ANEXO 2.X – Disciplinas do "núcleo comum" dos novos currículos dos cursos de Física

- Conceitos de Física, desdobrados em 03 (três) componentes teórico-práticos, cada um com 04 horas semanais; - **Física Geral e Experimental**, desdobrada em 04 (quatro) componentes, cada um com 04 horas semanais teóricas e 02 horas semanais experimentais. **- Estrutura da Matéria,** com 04 horas semanais teóricas; - **Laboratório de Estrutura da Matéria,** com 04 horas semanais experimentais; **- Filosofia da Física,** com 04 horas semanais; - **Cálculo Diferencial e Integral**, desdobrado em 03 (três) componentes com 06 horas semanais teóricas cada; - **Geometria Analítica**, com 04 horas semanais teóricas; - **Química Geral**, com 02 horas teóricas e 02 horas experimental semanais; - **Trabalho de Conclusão de Curso,** desdobrado em duas componentes com 02 horas semanais cada.

Fonte: Arquivo do Colegiado de Graduação em Física - UFBA