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

CLAUDIA DE ALENCAR SERRA E SEPULVEDA

PERFIL CONCEITUAL DE ADAPTAÇÃO: UMA FERRAMENTA PARA A ANÁLISE DE DISCURSO DE SALAS DE AULA DE BIOLOGIA EM CONTEXTOS DE ENSINO DE EVOLUÇÃO.

Salvador

2010

CLAUDIA DE ALENCAR SERRA E SEPULVEDA

PERFIL CONCEITUAL DE ADAPTAÇÃO: UMA FERRAMENTA PARA A ANÁLISE DE DISCURSO DE SALAS DE AULA DE BIOLOGIA EM CONTEXTOS DE ENSINO DE EVOLUÇÃO.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana, para a obtenção do grau de Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências, na área de concentração em Educação Científica e Formação de Professores.

Orientador: Charbel Niño El-Hani

Co-Orientador: Eduardo Fleury Mortimer

SALVADOR
2010

CLAUDIA DE ALENCAR SERRA E SEPULVEDA

PERFIL CONCEITUAL DE ADAPTAÇÃO:
UMA FERRAMENTA PARA A ANÁLISE DE DISCURSO DE SALAS DE AULA DE BIOLOGIA EM CONTEXTOS DE ENSINO DE EVOLUÇÃO.

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências, na área de concentração em Educação Científica e Formação de Professores, Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana, pela seguinte banca examinadora:

Charbel Niño El-Hani – Orientador _____
Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Eduardo Fleury Mortimer – Co-Orientador_____
Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo
Universidade Federal de minas Gerais (UFMG)

Gustavo Andrés Caponi _____
Doutor em Lógica e Filosofia da Ciência pela Universidade Estadual de Campinas
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Jonei Cerqueira Barbosa _____
Doutor em Educação Matemática pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

José Luis de Paula Barros Silva _____
Doutor em Química pela Universidade Federal da Bahia
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Susana Pimentel Couto _____
Doutora em Educação pela Universidade Federal da Bahia
Universidade Federal do Recôncavo Baiano (UFRB)

Resultado:

Salvador, 30 de julho de 2010

Dedico este trabalho a todos os professores, em especial aos professores Osmar Sepúlveda e Maria Sepúlveda, a quem eu devo esta feliz escolha profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Charbel Niño El-Hani, meu orientador e estimado amigo El-Hani, meus agradecimentos pelo respeito e confiança no meu trabalho, pela orientação dialógica, no sentido bakhtiniano mais intenso desta palavra, e pela riquíssima interlocução que tem me proporcionado nestes dez anos de trabalho colaborativo.

Ao professor Eduardo Fleury Mortimer, pela disponibilidade em co-orientar este trabalho de pesquisa, pelo modo atencioso com que me recebeu em meu estágio "canapé" em Belo Horizonte, em um momento tão atribulado de organização do ENPEC, e pela significativa contribuição na minha formação como pesquisadora.

A professora Vanessa Perpétua Garcia Santana Reis, não só pela participação e colaboração na pesquisa e trabalhos dela decorrentes, mas principalmente, pelas aulas de gestão do tempo escolar, da dinâmica discursiva em sala de aula e das relações profissionais no espaço social e institucional da escola pública, que tanto contribuíram para minha formação docente.

A professora Adela Molina de Andrade, pelo interesse no meu trabalho, pelas riquíssimas discussões sobre a noção de obstáculo epistemológico e sua relação com a abordagem de perfis conceituas, por ter me proporcionado a interação com pesquisadores de outra comunidade acadêmica e a rica experiência de conhecer a belíssima cidade de Bogotá.

Ao professor José Luis de Paula Barros Silva, pelas ricas discussões sobre o pensamento de Vygotsky, e pelas sugestões e comentários apresentados no exame de qualificação.

Ao professor Jonei Cerqueira Barbosa, pelas contribuições no exame de qualificação, em especial, aquelas relativas à apresentação precisa do problema e questões de pesquisa e outros aspectos relativos à metodologia.

Ao professor Gustavo Caponi pelas preciosas discussões sobre a gênese do pensamento evolutivo, e pela precisa contribuição na caracterização epistemológica e nomeação das zonas do perfil de adaptação.

Aos meus queridos professores do CPM – Colégio da Polícia Militar dos Dendezeiros – especialmente, Ana Cássia, Valter, Jocenilda e Natália - pelas riquíssimas interlocuções acerca dos inúmeros desafios do ensino de evolução. Valter, foram nossas discussões na disciplina "Fundamentos de Biologia" que me incentivaram a fazer o meu querido artigo da Hiena, valeu!

Ao professor Osmar Sepúlveda, meu querido papai, pelo apoio constante e inestimável ao meu desenvolvimento pessoal e profissional, e pelo exemplo de vida.

A professora Maria Sepúlveda, minha raiz, por ter me educado de modo a cultivar "la más alta disciplina del carácter", segundo José Ingenieros, "la rebeldia", da qual, ela mesma, é o maior exemplo.

A Gabriela Sepúlveda Sobrinho, minha querida filha, pelo modo carinhoso, compreensivo e seguro com que me apóia cotidianamente em todos os desafios que a vida me apresenta. Você é realmente MUITO DIVA!

A minha amiga e escudeira, Andréia Maria Pereira de Oliveira, pelo apoio e companheirismo nesta batalha cotidiana da docência e da pesquisa acadêmica que anima nossas vidas de professoras da UEFS.

A Fabiano Vieira, nosso querido Fabi, pelas discussões em filosofia da biologia, e especificamente pelo saudável anti- adaptacionismo – embora, um pouco desmedido. Mas mais que isso, por nos proporcionar sempre os melhores, fundamentais e produtivos momentos de embriaguez entre amigos.

A Marina Tavares pelas agradáveis e produtivas conversas, tanto do ponto de vista profissional quanto pessoal, durante minha estadia em BH.

Aos meus colegas do Núcleo de Pesquisa em Filosofia, História e Ensino de Ciências Biológicas, pelo apoio constante ao meu trabalho e preciosas interlocuções. Nei, meus agradecimentos pela paciência frente as infindáveis consultorias relativas ao pensamento teleológico na biologia.

A Fredy Garay Garay, pelas discussões sobre discurso e cognição, papel das narrativas, e vários outros temas ligados ao meu trabalho, e especialmente, por ter me levado a conhecer Bogotá de modo tão divertido, junto ao também querido Carlos.

A Mariângela Cerqueira Almeida, a dedicada e desafiadora orientanda, pelas discussões sobre a polissemia do conceito de adaptação e os desafios que impõem ao ensino de evolução.

Aos meus colegas de Departamento de Educação, os professores Marco Barzano e Ludmila de Holanda Cavalcante, neste momento, pelo apoio institucional, e sempre, pelo exemplo de seriedade e diplomacia nas relações profissionais.

Por fim, agradeço o apoio financeiro da FAPESB.

RESUMO

Neste trabalho, avaliamos o potencial heurístico de um modelo de perfil conceitual de adaptação como ferramenta teórico-metodológica para investigação de situações de ensino e aprendizagem de evolução a partir de uma perspectiva sociocultural. Em particular, nós investigamos como o perfil conceitual pode ser empregado para modelar a produção de significados ao longo de interações discursivas em salas de aula de Ciências.

A partir do exame dialógico de informações advindas de estudos epistemológicos e históricos, da literatura sobre concepções alternativas, de dados obtidos em entrevistas e questionários com estudantes do ensino médio e do ensino superior, e da análise de alguns episódios de ensino de evolução, construímos um modelo de perfil conceitual de adaptação constituído por quatro zonas: funcionalismo intra-orgânico, ajuste providencial, perspectivas transformacionais e perspectivas variacionais.

Este modelo inicial de perfil de adaptação foi aplicada, de modo integrado à estrutura analítica do discurso desenvolvida por Mortimer e Scott, à análise discursiva de episódios de ensino de evolução, produzidos ao longo de uma unidade didática sobre a teoria darwinista da seleção natural, em uma turma do terceiro ano do ensino médio.

Os dados produzidos a partir desta análise nos levaram a concluir que: (1) a caracterização dos compromissos epistemológicos e ontológicos das quatro zonas de nosso modelo inicial se mostrou suficiente para modelar a heterogeneidade de modos de pensar sobre adaptação em salas de aula de biologia do ensino médio; (2) este modelo, quando empregado de modo integrado à estrutura analítica de Mortimer e Scott, tornou possível descrever, em termos semânticos, lingüísticos e sociais, os contextos discursivos em que há negociação de significados em torno de diferentes modelos explicativos para a mudança evolutiva, assim como àqueles em que se construiu uma univocidade em direção a perspectiva darwinista.

Para aumentar o poder heurístico deste modelo, propusemos uma caracterização enunciativa para cada uma de suas quatro zonas, a partir da identificação de modos típicos de falar sobre o conceito de adaptação. Estes modos de falar são descritos em termos da noção de linguagem social de Bakhtin e de formas típicas de enunciados produzidos na significação do conceito de adaptação, ao longo das interações discursivas em sala de aula.

Nós também discutimos algumas implicações de nosso trabalho para o programa de pesquisa em perfis conceituais, no que diz respeito: (1) à metodologia de construção de modelos de perfil conceitual; e (2) ao papel desempenhado pelos compromissos epistemológicos e ontológicos que fundamentam modos de pensar que são geneticamente anteriores àquele representativo da perspectiva da ciência escolar no que concerne à apropriação da linguagem social da ciência pelos estudantes.

Palavras-chave: Perfil conceitual, Adaptação, Análise de discurso, Ensino de evolução.

ABSTRACT

In this work, we evaluate the heuristic potential of a model of a conceptual profile of adaptation as a theoretical-methodological tool to investigate teaching and learning situations in evolution education from a sociocultural perspective. In particular, we investigate how the conceptual profile can be applied to model meaning making during discursive interactions in science classrooms.

Based on the dialogical examination of information derived from historical and epistemological studies, the literature on alternative conceptions, data obtained through interviews and questionnaires applied to high school and college students, and the analysis of some episodes of evolution teaching, we constructed a model of conceptual profile of adaptation composed of four zones: intra-organic functionalism, providential adjustment, transformational perspectives, and variational perspectives.

This initial model of conceptual profile of adaptation was used, in combination with the Mortimer and Scott's framework for the analysis of classroom discourse, in the discourse analysis of episodes of evolution teaching. These episodes were produced during a teaching unit about the Darwinist theory of natural selection, in a class of the last year of high school, in the Brazilian educational system.

The data produced by means of this analysis led us to conclude that: (1) the characterization of the epistemological and ontological commitments of the four zones of our initial model was sufficient to model the heterogeneity of modes of thinking about adaptation in biology high school classrooms; (2) this model, when applied alongside with Mortimer and Scott's analytical framework, made it possible to describe, in semantic, linguistic, and social terms, the discursive contexts in which there is a negotiation of meanings around different explanatory models of the evolutionary change, as well as those in which a univocality about the Darwinist perspective was built.

To increase the heuristic power of the model, we proposed an enunciative characterization of its four zones, based on the identification of typical modes of speaking about the concept of adaptation. These modes of speaking are described in terms of the Bakhtinian notion of social language and the typical forms of statements produced in meaning making about adaptation, during the discursive interactions in the classroom.

We also discuss some implications of our work to the research program on conceptual profiles, with regard to: (1) the methodology of constructing models of conceptual profiles; and (2) to the role played by the epistemological and ontological commitments that establish modes of thinking that are genetically prior to that representing the perspective of school science with regard to the appropriation of the social language of science by the students.

Palavras-chave: Conceptual profile, Adaptation, Discourse analysis, Evolution teaching.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 13

CAPÍTULO I: O programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o desenho metodológico de nosso estudo 19

1.1 Bases teóricas da abordagem dos perfis conceituais 19

1.2 . Bases epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais 35

1.2.1 Debate entre universalismo e multiculturalismo na educação científica 35

1.2.2. Desenvolvimento das bases epistemológicas do perfil conceitual no pragmatismo objetivo 38

1.2.3. Contribuições da abordagem em perfis conceituais a uma educação científica culturalmente sensível: 46

1.3. Bases metodológicas para as investigações em perfis conceituais 53

1.4. Construção do perfil conceitual de adaptação: desenho metodológico da pesquisa 60

CAPÍTULO II: Constituição das zonas do perfil: capturando a polissemia do conceito de adaptação nos diferentes domínios genéticos e contextos de ensino 64

2.1. A gênese sócio-histórica do conceito de adaptação 65

2.2. A gênese do conceito de adaptação à luz da literatura em aprendizagem e ensino de evolução: 94

2.3. A gênese do conceito de adaptação biológica no contexto do ensino médio: nossos dados empíricos 130

2.4. A gênese do conceito de adaptação biológica no contexto do ensino superior: 141

2.5. Temas epistemológicos em torno dos quais a polissemia do conceito pode ser organizada 152

CAPÍTULO III: Caracterização epistemológica das zonas de um perfil conceitual de adaptação 160

3.1. Funcionalismo intra-orgânico 162

3.2. Ajuste providencial: 165

3.3. Perspectiva transformacional: 168

3.4. Perspectiva variacional: 171

CAPÍTULO IV: Fundamentos teóricos e metodológicos para análise do discurso da sala de aula 185

4.1. A análise interpretativa do discurso na pesquisa em educação científica: 185

4.2. O diálogo entre as idéias de Vygotsky e Bakhtin como fundamento teórico e metodológico para análise do discurso em sala de aula: 186

SUMÁRIO

CAPÍTULO IV (continuação)

4.3. Estrutura analítica para investigar o gênero de discurso da sala de aula. 195

4.4. Estrutura teórica para analisar explicações narrativas na sala de aula de ciências. 200

4.5. Análise Microgenética: uma abordagem metodológica inscrita na matriz histórico-cultural de interpretar processos humanos. 204

4.6. Procedimentos metodológicos para produção de episódios de ensino, nossa unidade de análise. 206

CAPÍTULO V: Aplicação do perfil conceitual de adaptação na análise do discurso de uma sala de aula do ensino médio. 212

5.1. Contexto pedagógico 212

5.2. Análise dos Episódios 215

5.3. Apropriação da perspectiva da ciência escolar pelos estudantes no plano social da sala de aula 317

5.4. Estratégias enunciativas articuladas pela professora e a dinâmica discursiva da sala de aula 324

CAPÍTULO VI: Aperfeiçoamento do modelo 331

6.1. Modos de falar sobre adaptação: em busca de uma caracterização enunciativa das zonas do perfil. 331

6.1.1. Caracterização enunciativa da zona funcionalismo intra-orgânico 333

6.1.2. Caracterização enunciativa da zona ajuste providencial 336

6.1.3. Caracterização enunciativa da zona perspectiva transformacional 337

6.1.4 Caracterização enunciativa da zona perspectiva variacional 338

6.2. Valor pragmático das zonas anteriores à perspectiva variacional 340

6.2.1. O papel da construção de narrativas na significação do conceito darwinista de adaptação 344

6.2.2 O papel da construção do problema do design na significação do conceito darwinista de adaptação 352

6.2.3. O uso da linguagem teleológica na significação do conceito darwinista de adaptação 358

6.2.4 Compromissos estruturais das zonas geneticamente anteriores ao ponto de vista escolar: obstáculos epistemológicos ou sementes conceituais? 378

CONSIDERAÇÕES FINAIS 381

REFERÊNCIAS 389

APÊNDICE 405

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Etapas do desenho metodológico da investigação sobre modelo de perfil conceitual de adaptação e seu uso na análise de interações discursivas em sala de aula.	63
FIGURA 2	A distinção entre adaptação e exaptação, de acordo com Gould e Vrba (1982).	93
FIGURA 3	Ilustração apresentada aos estudantes para análise do fenômeno da camuflagem.	140
FIGURA 4	Representação esquemática de uma explicação variacional e de uma explicação transformacional para a mudança evolutiva	173
FIGURA 5	Quatro classes de abordagens comunicativas, segundo estrutura analítica de Mortimer e Scott	199
FIGURA 6	Organização espacial e social da sala de aula e o posicionamento das câmaras de vídeo.	208
FIGURA 7	Esboço de mapa de atividade referente a primeira aula	209
FIGURA 8	Segmento do mapa de atividade definitivo referente à primeira aula	210
FIGURA 9	Diagrama da estrutura da interação em sala de aula ao longo do episódio 1.1.	225
FIGURA 10	Construção de narrativa pelo estudante 2 em interação com a professora, entre os turnos de fala 19 e 26 do episódio 2.1	235
FIGURA 11	Construção de uma explicação narrativa transformacional para a diversificação dos bicos dos tentilhões.	237
FIGURA 12	Diagrama da estrutura de interação em sala de aula, ao longo do episódio 2.2.	243
FIGURA 13	Construção de uma narrativa para explicar a mudança adaptativa de uma população de pássaros submetida à escassez de recursos alimentares.	251
FIGURA 14	Diagrama da estrutura de interação em sala de aula ao longo do episódio 2.3.	253
FIGURA 15	Jogo dos Clipsitacídeos	260
FIGURA 16	Tabelas de referência: quantidade de calorias por tipo de semente e quantidade de calorias necessárias para sobreviver e reproduzir-se	260
FIGURA 17	Resultados obtidos na realização do jogo “Clipsitacídeos” na turma pesquisada	261
FIGURA 18	Ilustração projetada em aula para subsidiar discussão sobre a origem da diversidade de tentilhões das Galápagos	281
FIGURA 19	Construção de uma narrativa pela estudante 1 (E1) em interação com a professora (P), para explicar a origem dos tentilhões de Galápagos, durante episódio 4.1.	283
FIGURA 20	Resultados obtidos no jogo dos clipsitacídeos em outra turma da mesma escola	288
FIGURA 21	Diagrama de estrutura de interação em sala de aula ao longo do episódio 4.3.	291
FIGURA 22	Diagrama da estrutura de interação em sala de aula ao longo do episódio 5.2.	302
FIGURA 23	Caso de resistência a inseticidas numa praga agrícola analisado pelos estudantes	312
FIGURA 24	Etapas de apropriação do ponto de vista da ciência escolar pelos estudantes	318

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 25	Desenhos em que estudantes (8 a 13 anos) explicam a função dos espinhos de cactos recorrendo à histórias fictícias	345
FIGURA 26	Desenho em que são narradas contingências cotidianas, para explica a função dos espinhos de cactos.	344
FIGURA 27	Desenhos em que a função dos espinhos de cactos é explicada apresentando-se informações sobre o ambiente e/ou propondo-se um mecanismo de funcionamento	346

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Matriz epistemológica de significação do conceito de adaptação.	157
QUADRO 2	Caracterização epistemológica das zonas de um perfil conceitual de adaptação.	182
QUADRO 3	Caracterização epistemológica de formas variacionais de significar o conceito	183
QUADRO 4	Aspectos da estrutura analítica desenvolvida por Mortimer e Scott	195
QUADRO 5	Intenções do Professor	196
QUADRO 6	Conjunto de episódios selecionados para análise.	216
QUADRO 7	Mapa de atividades da 1° aula	217
QUADRO 8	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio de ensino 1.1.	225
QUADRO 9	Mapa de atividades da 2° aula	228
QUADRO 10	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.1.	239
QUADRO 11	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.2.	244
QUADRO 12	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.3.	254
QUADRO 13	Quadro 13: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.4	259
QUADRO 14	Mapa de atividades da 3° aula	262
QUADRO 15	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 3.1	271
QUADRO 16	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 3.2.	275
QUADRO 17	Mapa de atividades da 4° aula,	277
QUADRO 18	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 4.1.	285
QUADRO 19	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 4.3.	292
QUADRO 20	Mapa de atividades da 5° aula	293
QUADRO 21	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação nos episódios 5.1 e 5.2.	302
QUADRO 22	Mapa de atividade da 6° aula	304

LISTA DE QUADROS

QUADRO 23	Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 6.1.	311
QUADRO 24	Mapa de atividades da 7° aula	313
QUADRO 25	Caracterização enunciativa das zonas de um perfil de adaptação	339
QUADRO 26	Elaboração conceitual desenvolvida pelo estudante 2	349

INTRODUÇÃO

A abordagem dos perfis conceituais foi desenvolvida por Mortimer (1994; 1995; 2000 a) como um modelo teórico alternativo à mudança conceitual (Posner et. al., 1982) para analisar a produção de novos significados pelos estudantes sobre modelos explicativos e conceitos científicos no espaço social da sala de aula. Ela se fundamenta na idéia de que em cada indivíduo podem coexistir diferentes formas de pensar um mesmo conceito, que compõem um perfil conceitual.

De acordo com o modelo, para cada conceito científico é possível construir um perfil, cujas zonas são constituídas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos que fundamentam diferentes formas de se compreender a realidade. Associadas a estas "formas de pensar", encontram-se "modos de falar" empregados na enunciação dessas diferentes perspectivas de significar o conceito. A despeito de cada indivíduo apresentar seu próprio perfil conceitual, com um grau particular de representação de determinadas zonas, as zonas em si mesmas são potencialmente compartilhadas por todos indivíduos de um mesmo contexto sociocultural.

A proposta da existência de tais formas coletivas de pensamento pode ser fundamentada na noção de heterogeneidade do pensamento verbal de Tulviste (1986, p. 19 apud Wertsch, 1991, p. 96), segundo a qual "em qualquer cultura e em qualquer indivíduo existe, não uma forma homogênea de pensamento, mas diferentes tipos de pensamento verbal". Ela pode ser pensada igualmente a partir da perspectiva sociocultural de Vygotsky (2001) sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, segundo a qual o pensamento individual é constituído através da internalização de mediadores simbólicos construídos sócio-culturalmente, entre eles a linguagem, disponibilizadas através das interações sociais.

A abordagem de perfis conceituais pretende, portanto, modelar os diferentes modos a partir dos quais as pessoas podem conceitualizar eventos e objetos conceitualizáveis, em decorrência da variedade de contextos sociais em que nossas experiências têm lugar (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009).

Inicialmente desenvolvido como um modelo para analisar a evolução conceitual de estudantes ao longo da aprendizagem de conceitos científicos, o perfil conceitual passou a ser aplicado também à análise da produção de significados no espaço social da sala de aula e ao

modo como este processo se dá ao longo das interações discursivas entre professor e estudantes e estudantes entre si.

Com base no diálogo entre a teoria de enunciação do Círculo de Bakhtin e a abordagem de Vygotsky sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, Mortimer (2001) propôs que investigações sobre a produção de novos significados em sala de aula poderiam ser organizadas tendo em vista a relação entre formas de pensar, caracterizadas a partir de um perfil conceitual, e modos de falar, caracterizados em termos das noções de linguagem social e gênero de discurso de Bakhtin (1981).

Essa proposta foi adotada por Amaral (2004) em um estudo para avaliar o uso de um perfil para os conceitos de entropia e espontaneidade como instrumento de análise de discurso em sala de aula, que permitisse a compreensão da evolução das idéias dos estudantes sobre as transformações químicas e físicas no decorrer de um processo de ensino e aprendizagem. A intenção de Amaral (2004, p. 270) foi ampliar a discussão teórica sobre o perfil conceitual, ao considerar que este modelo "pode ser usado para compreender a heterogeneidade de idéias presentes em sala de aula, relacionando diferentes formas de pensar a diferentes formas de falar".

O presente trabalho pretende avaliar o potencial heurístico de um perfil conceitual de adaptação como ferramenta para a análise de discurso em sala de aula em episódios de ensino de evolução, quando aplicado de forma integrado à estrutura analítica do discurso desenvolvida por Mortimer e Scott (2002; 2003).

Em termos teóricos, é possível argumentar a favor do potencial heurístico de perfis conceituais como ferramenta para uma análise de discurso voltada à investigação da produção de significado em sala de aula, tendo em vista o papel que este modelo pode cumprir ao orientar epistemologicamente a análise semântica do discurso produzido neste espaço social.

A despeito da diversidade de perspectivas teóricas que orientam o campo da análise de discurso, é possível dizer que as abordagens contemporâneas concordam em considerar que o discurso é mais do que uma forma de usar a linguagem, concebendo-o como um fenômeno social (Hicks, 1995; van Dijk, 1997). Segundo van Dijk (1997, p. 2), uma forma de caracterizar o discurso sob esta perspectiva mais abrangente é tratá-lo como um *evento comunicativo*, socialmente situado, no qual pessoas interagem verbalmente para comunicar idéias, crenças, pontos de vista, ou expressar emoções. Assim, os estudos discursivos têm como meta, para este autor, a descrição integrada de três dimensões do discurso: (1) o uso da linguagem – um fenômeno lingüístico, (2) as idéias e crenças que estão sendo comunicadas e

sua significação – um fenômeno cognitivo, (3) e as interações em situações sociais de comunicação – um fenômeno social.

Consideramos que a estrutura analítica desenvolvida por Mortimer e Scott (2002; 2003) nos permite investigar duas das dimensões citadas acima, tanto as interações sociais na comunicação entre professor e estudantes na sala de aula de ciências, como o uso da linguagem, uma vez que está ancorada nas noções de linguagem social e gênero de discurso de Bakhtin (Bakhtin, 1934/1981; Volochinov, [1929], 1992) e na noção de dualismo funcional do texto de Lotman (1988 apud Wertsch, 1991). Estamos propondo que o perfil conceitual pode prestar grande contribuição ao dar conta da segunda dimensão da análise discursiva citada por van Dijk (1997), ou seja, a dimensão cognitiva, o que inclui os pontos de vista que estão sendo comunicados e os significados negociados ao longo das interações em sala de aula.

O conceito de adaptação, entre os diversos conceitos da biologia evolutiva, se presta particularmente bem à construção de um perfil conceitual para ser aplicado ao contexto de ensino de evolução. Isso porque a adaptação é um conceito central nas explicações darwinistas e abriga uma grande polissemia, tanto no domínio específico da biologia, como em outros domínios da cultura geral e da linguagem.

A idéia de evolução cumpre um papel central e organizador na estrutura do pensamento biológico, sendo indispensável para a compreensão de muitos dos modelos explicativos da biologia (Futuyma, 1992; Meyer; El-Hani, 2005). O ensino da teoria darwinista de evolução assume grande importância na educação básica, não só por esta razão, como também por exercer importante papel na educação para a cidadania, em particular, para a tomada de decisões em situações sócio-científicas (Sadler, 2005). Afinal, a compreensão satisfatória de diversos processos biológicos que têm impacto social depende do pensamento evolutivo, a exemplo da resistência bacteriana a antibióticos e das pandemias provocadas por vírus emergentes (Futuyma, 2002; Meyer; El-Hani, 2005) ou do melhoramento genético de plantas e animais utilizados pelos seres humanos (Bull; Wichman, 2001; Futuyma, 2002).

Contudo, desde a década de 1980, tem sido constatada a presença de dificuldades por parte dos alunos para resolver problemas e interpretar fenômenos biológicos em termos darwinistas, mesmo após instrução formal sobre o tema (e.g., Clough; Wood-Robinson, 1985; Bishop e Anderson, 1990; Bizzo, 1994; Desmastes, Settlage, Good, 1995; Jensen; Finley, 1996). São citados os seguintes fatores para a abrangência de tais dificuldades: a incompreensão de conceitos centrais que estruturam a teoria darwinista da evolução (Ferrari; Chi, 1998); a rejeição aos aspectos metafísicos implicados na teoria da evolução, em relação

às visões sobre a natureza; e a presença de concepções inadequadas sobre a natureza da ciência, as quais dificultam a compreensão das razões que justificam a teoria darwinista de evolução e fazem com que ela seja largamente aceita pela comunidade acadêmica (Smith, Siegel; McInerney, 1995; Rudolph; Stewart, 1998; Dagher; Boujaoude, 2005).

Diante da importância do ensino de evolução e das dificuldades em promover a compreensão do pensamento darwinista, amplamente documentadas na literatura em concepções alternativas e mudança conceitual, justifica-se a pertinência do desenvolvimento de modelos teóricos e ferramentas metodológicas que possam amparar investigações acerca da compreensão de modelos explicativos darwinistas no espaço sócio-cultural e institucional da sala de aula.

Algumas dificuldades observadas quanto à compreensão do pensamento evolutivo darwinista pelos estudantes, como aquelas decorrentes de seus aspectos metafísicos, sugerem a importância no ensino de evolução de uma proposta de educação científica culturalmente sensível. Propostas curriculares e pedagógicas desta natureza reconhecem a necessidade de se ter em devida conta a diversidade de culturas e sistemas de conhecimento representados em qualquer sala de aula de ciências, em decorrência das visões de mundo dos estudantes, as quais frequentemente diferem do conhecimento da ciência ocidental moderna. Ao adotar este premissa, é possível assumir diversos posicionamentos (El-Hani; Sepúlveda, 2006). Em nosso grupo de pesquisa, estamos inclinados a propor que uma educação culturalmente sensível deve instaurar um diálogo entre diferentes saberes na educação científica (Baptista; El-Hani, 2006), de modo a tornar claro, não só a distinção entre eles, mas também entre os contextos em que eles podem ser aplicadas de maneira mais adequada ou poderosa (El-Hani; Mortimer, 2007 a).

Tem sido argumentado que a abordagem dos perfis conceituais, ao definir suas bases teóricas em uma perspectiva sociocultural da cognição e suas bases epistemológicas no pragmatismo objetivo, nos oferece respostas sobre qual tipo de aprendizagem deve ser esperado numa educação científica culturalmente sensível desta natureza (El-Hani; Mortimer, 2007 a; capítulo I neste trabalho).

Com base nos argumentos de natureza teórica, brevemente, expostos acima, defendemos que o perfil conceitual de adaptação pode se constituir em uma poderosa ferramenta teórico-metodológica para investigação de situações de ensino e aprendizagem de evolução a partir de uma perspectiva sociocultural, ao ser empregado para modelar a produção de significados ao longo de interações discursivas em sala de aula. Esta investigação foi planejada com o objetivo de avaliarmos se esta tese se sustenta em termos empíricos. Para

tanto, estruturamos nossa pesquisa em torno da seguinte questão: Em que medida a aplicação de um modelo de perfil conceitual de adaptação à análise de discurso nos permite compreender o modo como se processa a apropriação do ponto de vista da ciência escolar pelos estudantes no contexto do ensino da teoria darwinista de evolução, e a relação que este processo estabelece com a dinâmica discursiva instaurada no espaço social das salas de aula do ensino médio de biologia?

Para responder a estas questões, estruturamos nossa investigação nas seguintes etapas:

(1) Construção de uma proposta de perfil conceitual de adaptação;

(2) Aplicação desta proposta na análise discursiva de episódios de ensino de evolução produzidos no contexto do ensino médio de biologia;

(3) Aperfeiçoamento do modelo inicialmente proposto a partir da caracterização de modos de falar sobre adaptação, empregados por estudantes e professores ao negociarem significados em torno das explicações para as mudanças evolutivas.

Estruturamos nosso relato de pesquisa em seis capítulos: I. O programa de pesquisa em perfis conceituais e o desenho metodológico de nosso estudo; II. Constituição das zonas do perfil: capturando a polissemia do conceito de adaptação nos diferentes domínios genéticos e contextos de ensino; III. Caracterização epistemológica das zonas de um perfil conceitual de adaptação; IV Fundamentos teóricos e metodológicos para análise do discurso da sala de aula; V. Aplicação do perfil conceitual de adaptação à análise do discurso de uma sala de aula do ensino médio; VI. Aperfeiçoamento do modelo.

No primeiro capítulo, apresentaremos as bases teóricas da abordagem dos perfis conceituais, dando ênfase as suas relações com a perspectiva sociocultural do desenvolvimento cognitivo e situando-as na linha de investigação que trata a aprendizagem de ciências como a aprendizagem da linguagem social da ciência escolar, e tem como foco os processos de enunciação coletivos no espaço social da sala de aula. Trataremos também das bases epistemológicas que fundamentam este programa de pesquisa, com o intuito de esclarecer de que modo o perfil conceitual contribui para uma educação científica sensível culturalmente. Após, apresentarmos, as bases metodológicas para as investigações em perfis conceituais, explicamos o desenho metodológico de nossa investigação.

No capítulo II, descreveremos o percurso que nos levou a proposição de categorias a partir das quais foi construída nossa proposta inicial de perfil conceitual de adaptação. Será apresentado o exame de dados referentes a três domínios genéticos da formação de conceitos, sociocultural, ontogenético e microgenético, o processo de identificação de um conjunto de compromissos ontológicos e epistemológicos que estabilizam formas de pensar o conceito de

adaptação, e a organização destes dados em uma matriz epistemológica. Nesta matriz se encontram identificados e caracterizados os temas epistemológicos a partir dos quais a polissemia em torno do conceito de adaptação pode ser ordenada.

No capítulo seguinte, apresentaremos a caracterização epistemológica das zonas desta proposta inicial de perfil conceitual, a qual pretende modelar diferentes significados atribuídos a este conceito, quando empregado nas explicações da origem, existência e diversificação da forma viva.

No capítulo IV, serão apresentados os fundamentos teóricos e metodológicos que orientaram a aplicação do perfil conceitual à análise do discurso da sala de aula, de modo integrado a estrutura analítica do discurso de Mortimer e Scott (2002; 2003). Além de analisar os aspectos que compõem a referida estrutura analítica, examinamos como se encontra fundada teoricamente em uma abordagem sociocultural da mente fundada no diálogo entre as idéias de Vygotsky e Bakhtin construído por Wertsch (Wertsch, 1985; 1991; Wertsch; Smolka, 2001). São descritos também os procedimentos metodológicos que empregamos para produção de episódios de ensino, nossa unidade de análise.

No capítulo V, apresentaremos uma análise de episódios de ensino na qual empregamos a caracterização das zonas do perfil conceitual de adaptação de modo integrado à estrutura analítica do discurso desenvolvida por Mortimer e Scott (2002, 2003). Os episódios analisados foram produzidos ao longo de uma seqüência didática de ensino da teoria da evolução por seleção natural, aplicada a uma turma do ensino médio.

A partir dos resultados obtidos na análise discursiva apresentada nos capítulos precedentes, no capítulo VI, proporemos o aperfeiçoamento da proposta inicial do perfil de adaptação, seguindo duas diretrizes: (1) a caracterização enunciativa das zonas e; (2) uma análise a respeito do valor pragmático das zonas geneticamente anteriores à forma darwinista de pensar o conceito de adaptação. Ao final do capítulo, discutimos algumas implicações do conceito de adaptação para a abordagem dos perfis conceituais.

CAPÍTULO I:

O programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o desenho metodológico de nosso estudo

Neste capítulo, pretendemos deixar claro o modo como estamos concebendo a noção de perfil conceitual e a sua utilização na organização de investigações acerca da construção de significados em sala de aula. Para tanto, iniciaremos com um breve histórico do desenvolvimento das bases teóricas, epistemológicas e metodológicas que sustentam o programa de pesquisa sobre perfis conceituais, para, em seguida, apresentarmos o desenho metodológico de nossa investigação.

1.1 Bases teóricas da abordagem dos perfis conceituais

A noção de perfil conceitual foi construída no decorrer de uma investigação acerca da evolução das concepções atomistas e do uso dessas concepções para explicar estados físicos dos materiais por estudantes de 14 a 15 anos, ao longo de uma seqüência de aulas (Mortimer, 1994; 2000a). As hipóteses propostas no estudo e os pressupostos utilizados na metodologia de ensino estavam pautados, inicialmente, em elementos da teoria de Piaget, mais especificamente, no modelo de equilibração majorante (Piaget, 1975), assim como no modelo de mudança conceitual (Hewson, 1981; Posner et. al., 1982). No entanto, com o desenrolar da pesquisa, não foi possível detectar mudanças conceituais como resultado da intervenção pedagógica; ao contrário, constatou-se a convivência entre idéias alternativas prévias e os conceitos científicos construídos nas aulas. Os estudantes desenvolviam e expressavam uma concepção atomista da matéria em alguns contextos, mas este fato não implicava o abandono de concepções alternativas, a exemplo da concepção substancialista, as quais voltavam a emergir na resolução de alguns problemas, como aqueles relativos a situações cotidianas. Essas observações levaram Mortimer (1994; 1995; 2000a) a conceber a evolução conceitual dos estudantes como a construção de um perfil conceitual que se tornava mais complexo ao longo do processo de aprendizagem, sem implicar o abandono das noções inicialmente abraçadas por eles.

Mortimer (1994: 1995; 2000a) tomou como base, então, a idéia de que coexistem, em cada indivíduo, diferentes formas de pensar um mesmo conceito, as quais compõem um

perfil conceitual, constituído por zonas identificadas com base em compromissos epistemológicos e ontológicos próprios de diferentes formas de compreender a realidade.

A despeito de cada indivíduo apresentar seu próprio perfil para cada conceito, com um peso distinto dado a cada zona, as zonas propriamente ditas podem ser potencialmente compartilhadas por todos os indivíduos num mesmo contexto sociocultural. Assim, a particularidade de cada perfil conceitual individual não reside propriamente em sua composição em termos de zonas, mas no peso que estas zonas apresentam no pensamento individual, em decorrência das oportunidades que os indivíduos tiveram de aplicá-las em diferentes contextos de modo eficaz, ao longo de suas experiências sociais, seja na educação formal, na vida cotidiana ou no trabalho. El-Hani e Mortimer (2007a, p. 675), baseando-se nas categorias de um perfil conceitual de massa, fornecem o seguinte exemplo de como o peso relativo das zonas de um perfil pode variar em função, por exemplo, da experiência profissional: a noção empirista de massa, como algo que pode ser determinado com uma balança, apresenta um peso potencialmente maior no perfil conceitual de um químico, que trabalha diariamente em um laboratório pesando amostras, do que a noção racional de massa como uma relação entre força e aceleração, aprendida na escola. O oposto, no entanto, ocorre no caso de um professor de Física que ensina as leis de Newton todo ano a várias turmas. Neste caso, a noção racional de massa tem potencialmente maior peso no perfil individual desse professor, em relação à noção empirista.

A noção de perfil conceitual foi inspirada pelo perfil epistemológico de Bachelard (1968; 1984), segundo o qual cada conceito científico pode ser descrito por mais de uma doutrina filosófica, cada uma delas representando uma forma de pensar, um conjunto de compromissos epistemológicos que enfocam uma face do conceito.

Pautando-se em uma análise acerca das diferentes maneiras de conceituar a realidade, formuladas em termos de sistemas filosóficos de pensamento, Bachelard (1984) construiu uma proposta de perfil epistemológico para o conceito de massa, composto por cinco categorias: realismo ingênuo, empirismo claro e positivista, racionalismo clássico da mecânica racional, racionalismo completo (relatividade) e racionalismo discursivo. Estas zonas foram caracterizadas por Bachelard a partir de sua análise sobre o progresso do conhecimento científico, mais especificamente, sobre os fatores que influenciaram os processos de construção de conhecimento no campo da física.

Para que a noção de perfil epistemológico pudesse ser aplicada à análise de processos de ensino e aprendizagem de ciências, foi preciso que novos parâmetros fossem introduzidos,

dando origem à noção de perfil conceitual. Entre os três aspectos acrescidos por Mortimer (1994; 2000a) à noção de Bachelard, dois deles já foram mencionados: a distinção entre características ontológicas e epistemológicas das zonas do perfil e o fato de as zonas serem determinadas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos, em lugar de escolas filosóficas de pensamento, como no caso do perfil epistemológico. O terceiro aspecto diz respeito ao papel que a tomada de consciência, pelo estudante, de seu próprio perfil desempenha no processo de aprendizagem.

O fato de que cada zona do perfil é estruturada não apenas epistemológica, mas também ontologicamente, é um aspecto importante na visão de Mortimer (2000a, p. 79), uma vez que muitos problemas na aprendizagem de conceitos científicos tem sido relacionados às dificuldades de distinguir a que categoria ontológica estes conceitos são designados. Mortimer (2000a) se apóia na análise de Chi (1992) acerca das dificuldades de mudança das categorias ontológicas dos conceitos, como um dos desafios a ser enfrentado na aprendizagem de ciências:

> Para que os estudantes entendam realmente o que é força, luz, calor e corrente, eles precisam mudar suas concepções de que essas entidades são substâncias, e passar a considerá-las como um tipo de evento baseado em restrições (incluindo campos), o que requer, conseqüentemente, uma mudança em sua ontologia (Chi, 1991, p. 141).

A tomada de consciência pelo estudante de seu próprio perfil é outro aspecto importante. De acordo com Mortimer (2000a, p. 79), a ausência de tomada de consciência de seu próprio perfil conceitual pode explicar o fato de alguns estudantes, que apresentam um bom desempenho ao empregar conceitos científicos na resolução de problemas familiares, voltarem a empregar concepções alternativas na resolução de questões que envolvem situações novas e/ou cotidianas, como mostram os estudos que criticam as pesquisa em mudança conceitual (Galili; Bar, 1992; Cobern, 1996) .

No estudo de Gaili e Bar (1992), por exemplo, estudantes que tiveram um bom desempenho ao empregar o conceito de força newtoniano na resolução de problemas familiares a respeito, reverteram a um raciocínio pré-newtoniano de “movimento requer força” na resolução de questões relativas a situações novas e/ou cotidianas. Mortimer (2000a, p. 79-80) interpreta essa “regressão” como um indício de que os estudantes não tinham consciência de seu próprio perfil. Mesmo adquirindo o conceito newtoniano de força, caso o aluno não tenha se conscientizado da relação entre este conceito e o seu conceito anterior, não sabendo, assim, em que contexto empregar um ou outro, diante de uma situação nova, provavelmente, este aluno seria levado a generalizar seu conceito anterior, que por ser mais familiar, seria usado com mais segurança em uma situação nova.

A aprendizagem de ciências é entendida pela abordagem dos perfis conceituais em termos de dois processos interligados: (1) a aquisição de novas zonas de um perfil conceitual, ou seja, de novos modos de pensar um conceito, neste caso, os modos científicos de pensar, e (2) a tomada de consciência acerca da multiplicidade de formas de pensar que um perfil encerra, bem como dos contextos em que cada um destas formas de pensar podem ser aplicadas de maneira adequada e poderosa (El-Hani; Mortimer, 2007 a).

É importante destacar que esta compreensão do processo de aprendizagem é bastante distinta daquela proposta pelo modelo da mudança conceitual. A abordagem de perfis conceituais recusa uma das idéias centrais daquele modelo, tal como proposto por Posner e colaboradores (1982), a de que estudantes devem ser levados a romper com suas concepções prévias ao aprender ciências (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009).

Como podemos concluir, a noção de perfil conceitual compartilha com a noção de perfil epistemológico de Bachelard, na qual foi inicialmente inspirada, basicamente a idéia de coexistência de diferentes formas de interpretar um conceito científico. No entanto, o modelo de perfis conceituais propôs uma nova compreensão do estatuto epistemológico e ontologico das zonas do perfil e uma nova visão acerca da relação dinâmica entre as zonas no decorrer de um processo de evolução conceitual.

No início do desenvolvimento do programa de pesquisa sobre perfis conceituais, o perfil epistemológico de massa proposto por Bachelard (1984) forneceu um sistema filosófico adequado para identificar compromissos epistemológicos e ontologicos que sustentam as formas de pensar, ou os hábitos de pensamento, envolvidos na gênese de conceitos centais da física e da química relativos, a exemplo de matéria e energia. Deste modo, a caracterização das zonas do perfil epistemológico de Bachelard exerceu um papel importante na construção de perfis para os conceitos de átomo e estados físicos da matéria (Mortimer, 1994; 2000a), de molécula (Mortimer, 1997), de calor (Amaral e Mortimer, 2001), e de espontaneidade e entropia (Amaral, 2004). No entanto, o mesmo não ocorreu com conceitos relativos a outras áreas de conhecimento, para os quais, posteriormente, foram propostos perfis. Este foi o caso, por exemplo, de conceitos pertinentes às ciências biológicas.

Na construção do perfil de vida por Coutinho (2005), do perfil de morte por Nicoli (Nicoli, 2009; Nicoli; Mortimer, 2009), assim como em nossa experiência com o perfil de adaptação, as categorias propostas por Bachelard não deram conta de descrever as formas de pensar os conceitos em questão. Foi necessário acessar outros sistemas filosóficos, ou fundamentar-se em diversos estudos epistemológicos acerca da gênese destes conceitos, para

proceder a investigação dos compromissos ontológicos e epistemológicos que fundamentavam as diferentes perspectivas de interpretá-los.

A fundamentação filosófica das zonas do perfil de vida, por exemplo, esteve pautada em parte nas formas de categorização de entidades identificadas por Lakoff (1987) e, em parte, na caracterização de diferentes estratégias de definir vida analisadas em estudos epistemológicos do conceito. A caracterização epistemológica de algumas categorias que constituíram as zonas deste perfil esteve fundamentada também no estudo de Piaget (1934) acerca da evolução da compreensão da causalidade por crianças.

No caso do processo de construção das zonas de um perfil para o conceito de morte, Nicoli (Nicoli, 2009; Nicoli; Mortimer, 2009) se apoiou em obras de diferentes áreas do conhecimento, como biologia, medicina, tanatologia, psicologia e sociologia, assim como em elementos da filosofia de Platão.

O fato é que, à medida que a noção de perfil conceitual foi sendo aplicada a conceitos relativos a outros campos do conhecimento, o sistema filosófico de Bachelard foi perdendo o papel central que desempenhou, como referencial teórico e metodológico, na constituição das zonas de perfis para conceitos relativos à matéria e suas transformações, ou ao conceito de energia.

Um segundo percurso do programa de pesquisa sobre perfis conceituais, que precisamos ter em vista para entendermos a construção e consolidação de suas bases teóricas, consistiu em sua progressiva identificação com a abordagem sociocultural da cognição e, conseqüentemente, em seu afastamento da perspectiva cognitivista da aprendizagem, baseada no paradigma piagetiano que orientou o movimento da mudança conceitual.

A aproximação com os estudos socioculturais dos processos mentais humanos se iniciou desde a investigação realizada por Mortimer (1994; 2000a) acerca da evolução das concepções atomistas de estudantes em sala de aula, que deu origem, como já mencionamos, ao modelo de perfis conceituais. Ao longo desta investigação, três constatações, duas de natureza teórico-metodológica e outra de natureza empírica, apontaram a insuficiência do paradigma piagetiano da equilibração para interpretar os dados relativos ao processo de construção do atomismo pelos estudantes em sala de aula, à luz da noção de perfil conceitual. Elas também sugeriram, ao mesmo tempo, a adoção de elementos da abordagem sociocultural da cognição para a análise deste processo. Trataremos nos parágrafos seguintes destas três constatações.

Mortimer (1994; 2000a) dispunha de dados de sala de aula, relativos a uma proposta de ensino inicialmente elaborada para promover a construção do atomismo através de um

processo de equilibração (Piaget, 1975), assim como de um perfil conceitual de átomo e de estados físicos da matéria como sistema de análise. Ao proceder a análise dos dados, ele se deparou com dois desafios metodológicos: (1) Como aplicar as categorias do perfil à análise de um processo social de construção de idéias, as quais, ao serem disponibilizadas no espaço social da sala de aula passam por um processo de negociação, deixando de ser uma propriedade individual? (Mortimer, 2000a, p. 151); (2) Como analisar a equilibração, um processo individual, a partir dos dados da sala de aula, tendo em vista a impossibilidade de se acompanhar os indivíduos no processo de ensino (Mortimer, 2000a, p. 153)? Ele encontrou nas idéias de Vygotsky acerca da relação entre processos externos e internos no desenvolvimento das funções mentais superiores um caminho para superar estes desafios, dado que estas idéias apontam para a superação da dicotomia social/individual.

Segundo a lei geral do desenvolvimento cultural proposta por Vygotsky, "qualquer função no desenvolvimento cultural da criança aparece duas vezes, ou em dois planos. Primeiro, ela aparece no plano social, e então no plano psicológico. Primeiro, ela aparece entre as pessoas como uma categoria interpsicológica, e então dentro da criança, como uma categoria intrapsicológica" (Vygotsky, 1978, p. 163). Há dois aspectos importantes nas afirmações de Vygotsky a respeito da relação entre estes dois planos, conforme nos advertem Wertsch e colaboradores (Wertsch e Stone, 1985; Wertsch e Smolka, 2001). O primeiro deles é que Vygotsky procurava deixar claro que os processos internos não são simples cópias dos processos que ocorrem no plano social. A internalização não constitui a transferência de processos externos, mas um processo de transformação genética e formação de um plano interno de consciência[1]. O segundo deles é o de que a relação entre o funcionamento social e individual está baseada no fato de ambos os planos, intra- e interpsicológicos, usam as mesmas ferramentas[2] para pensar, quais sejam, a linguagem e outros mecanismos semióticos construídos culturalmente. Portanto, a ponte que conecta os processos externos e internos é fornecida pela análise de tais mecanismos semióticos.

---

[1] Como discutiremos melhor adiante, tendo em vista uma abordagem sócio-interacionista do conceito, esta internalização pode ser entendida em termos da constituição de potencialidades de emergência de funções mentais similares, sempre produzidas na interação socialmente situada entre um indivíduo e alguma situação externa, e não como a produção de estruturas mentais estabilizadas de modo inteiramente interno (Mortimer, Scott & El-Hani, 2009).

[2] A analogia entre ferramenta e linguagem é empregada neste texto a partir de uma perspectiva psicológica, tal como proposta por Vygotsky (2003, p. 71-72), a qual afirma que a semelhança entre instrumento e signo repousa exclusivamente na função mediadora que caracteriza ambos. Este uso não implica em igualar o instrumento – como meio de trabalho para dominar a natureza – ao signo – como meio de interação social, dado que estas atividades mediadoras orientam de modo diferente o comportamento humano.

Diante deste referencial, o segundo desafio metodológico, a impossibilidade de se acompanhar os indivíduos no processo de ensino, foi reinterpretado por Mortimer (2000 a, p. 153) como uma característica do sistema vygotskiano, o qual admite que as idéias possam ser construídas no espaço social da sala de aula e, neste processo, internalizadas. Esta interpretação trouxe duas conseqüências para as investigações de processos de ensino com base em perfis conceituais.

A primeira delas diz respeito ao que devemos explorar nos dados de sala de aula. As transcrições dos processos de ensino fornecem dois tipos de informações importantes, primeiro, sobre como as idéias se desenvolvem no plano interpsicológico e, segundo, indicações sobre as dificuldades no processo de internalização dessas idéias (Mortimer, 2000a, p. 152). A segunda conseqüência responde ao primeiro desafio metodológico enfrentado por Mortimer, citado acima. Uma das conseqüências da relação entre os planos inter- e intrapsicológicos proposta por Vygotsky é que as mesmas categorias de um perfil conceitual podem ser usadas para detectar a evolução conceitual de idéias tanto em indivíduos como no espaço social da sala de aula (Mortimer, 2000a, p. 153).

A terceira constatação estabelecida no decorrer da análise do processo de ensino do atomismo levou ao reconhecimento da importância de outra idéia central na obra de Vygotsky, a de que a chave para o entendimento da ação humana, tanto no plano individual como no social, está na análise das ferramentas e dos símbolos - os designados mecanismos semióticos - empregados na mediação entre estas ações e os objetos (Wertsch, 1985; Mortimer, 2000a).

Um importante elemento dos processos de ensino e aprendizagem, revelado na investigação em questão (Mortimer, 1994; 2000a), consistiu na superação de obstáculos ontológicos e epistemológicos[3]. Foi identificado um obstáculo ontológico forte, de difícil superação, "o horror ao vácuo", o qual tornava a concepção atomística da matéria contra-intuitiva. Ao longo da seqüência de aula investigada, a superação deste obstáculo não foi promovida pela apresentação de evidências empíricas, resultantes de experimentos supostamente cruciais, e/ou por mecanismos de perturbações e compensações, como previsto pelo modelo de mudança conceitual de Posner e colaboradores e pela teoria piagetiana de equilibração. Admitir a possibilidade da existência de vazio entre as moléculas foi um salto

[3] Tributária da noção de obstáculo epistemológico de Bachelard (1996), a noção de obstáculos ontológicos e epistemológicos se refere às idéias sobre o caráter de entidades, eventos e processos naturais que contradizem as características dos conceitos, das teorias e dos modelos científicos, de modo a torná-los contra-intuitivos; e as concepções sobre o modo como tais entidades, eventos e processos podem ser conhecidos que não estão de acordo com os pressupostos epistemológicos e as práticas de construção do conhecimento próprias da ciência.

possível apenas quando a voz do professor, através de um discurso de autoridade[4], se impôs como "a voz" da cultura científica, e /ou quando se instaurou a construção social de um consenso e de uma linguagem para expressá-lo (Mortimer, 2000a, p. 343-344).

Conclui-se, portanto, que a superação da descontinuidade entre conceitos intuitivos do senso comum e noções contra-intuitivas da ciência, caracterizada pelos obstáculos, se deu a partir de um processo de negociação de significados no espaço social da sala de aula, em que o uso da linguagem e as estratégias discursivas empregadas pelo professor exerceram um papel fundamental. Esta interpretação dos dados de sala de aula levou Mortimer (1994; 2000) a considerar o paradigma piagetiano da equilibração insuficiente para descrever a superação de obstáculos epistemológicos e ontológicos, bem como a sugerir que as idéias de Vygotsky poderiam prestar grande contribuição à abordagem dos perfis conceituais. Nas palavras de Mortimer:

> Na equilibração, a ultrapassagem desse tipo de obstáculo é vista como um processo contínuo, uma vez que a estrutura mais equilibrada sempre contém a estrutura menos equilibrada. Não fica claro qual o papel das rupturas nesse processo. A descontinuidade que detectamos na construção do atomismo pode ser entendida se buscarmos a origem do conceito na cultura, no professor e na sua voz de autoridade, e nos "amplificadores culturais" presentes na sala de aula. Essa é uma contribuição teórica importante da linha vygotskiana ao nosso trabalho, uma vez que ela reconcilia nossa noção de perfil conceitual, onde é possível e real a existência de rupturas, num sistema psicológico que admite a descontinuidade. O processo de superação dos obstáculos em sala de aula pode ser explicado dentro desse novo sistema como fruto das interações no plano intermental e não mais como uma acomodação de uma perturbação que preserva o esquema anterior. (Mortimer, 2000a, p. 346)

Como podemos ver, esta constatação chamou a atenção para a importância de analisar o papel desempenhado por um sistema mediador, constituído pela interação discursiva entre estudantes e professor, bem como pelo uso de diversas ferramentas culturais, como os textos e atividades didáticas, na produção de novos significados no espaço social da sala de aula. Essa demanda levou o programa de pesquisa sobre perfis conceituais a se aprofundar no referencial teórico oferecido pelos escritos de Vygotsky, assim como em trabalhos acerca do papel da linguagem na construção de conhecimento inspirados em Vygotsky e comprometidos com uma abordagem sociocultural da cognição, entre eles, a obra de Wertsch (1985, 1991, 1998). Isso levou a um afastamento da abordagem piagetiana.

---

[4] Estamos nos referindo a noção de discurso de autoridade tal como é empregada na teoria da enunciação do Círculo de Bakhtin, refere-se a um discurso cuja estrutura semântica não permite interanimação com outras vozes, e as enunciações e os significados são pressupostos como sendo fixos, impassíveis de serem modificados (Wertsch, 1991). Este conceito, assim como outros conceitos bakhtinianos, que orientam nossa análise de discurso em sala de aula serão tratados no capítulo III.

Analisando a natureza do atomismo, enquanto objeto de ensino da química, e os dados a partir dos quais o perfil conceitual de átomo e estados físicos da matéria foi construído, Mortimer faz a seguinte consideração acerca da consistência entre a abordagem sociocultural da ação mental e a abordagem de perfis conceituais:

> Estamos trabalhando com o atomismo, um sistema simbólico que a cultura humana construiu como parte da química e da física, também sistemas simbólicos de linguagens, símbolos e teorias que mediam nossa relação com as transformações da matéria, naturais e artificiais. Nossa idéia de perfil conceitual, por outro lado, resulta numa seqüência genética histórica, filosófica e cultural. Algo pertencente à cultura, não ao indivíduo. Mesmo as concepções individuais detectadas na revisão dos estudos de concepções alternativas atomistas revelam um padrão de cultura do dia-a-dia, numa relação muito estreita com a linguagem do senso comum, sendo, em muitos casos, algo coletivo. A idéia da origem social do conhecimento e do papel mediador desse sistema social de símbolos, instrumentos e ferramentas, disponíveis para as novas gerações pelo ensino, mas ao mesmo tempo dinâmicas, abertas a novidades, nos parece compatível como o caráter histórico-cultural de nosso perfil conceitual (Mortimer, 2000a, p. 150-151).

Há dois aspectos a serem destacados nesta citação. O primeiro deles é a ênfase dada por Mortimer à natureza supra-individual e cultural das zonas do perfil conceitual, aspecto que discutiremos em maior detalhe mais adiante. O segundo aspecto para o qual gostaríamos de chamar atenção é o fato de as afirmações a respeito do atomismo se aplicarem, de um modo geral, aos demais conceitos, modelos explicativos e teorias que compõem o corpo de conhecimentos da ciência e constituem o discurso da ciência escolar. Os conceitos e modelos explicativos da ciência compõem sistemas simbólicos que mediam nossa relação com a realidade física e se constituem em um modo particular de falar sobre o mundo natural, produzido e tornado válido por uma comunidade científica, a linguagem social da ciência. A existência deste modo de falar próprio da ciência e algumas de suas características peculiares foram analisadas por Mortimer (1998, p. 102), levando-o a propor que "a aprendizagem da ciência é inseparável da aprendizagem da linguagem científica".

Em um estudo sobre os recursos mediadores envolvidos na emergência e elaboração de zonas de um perfil conceitual de matéria em sala de aula, Mortimer (2001) propôs que investigações sobre a produção de novos significados poderiam ser organizadas tendo em vista a relação entre formas de pensar, caracterizada a partir de um perfil conceitual, e modos de falar, caracterizados em termos das noções de linguagem social e gênero de discurso de Bakhtin (1981). Essa proposta foi adotada por Amaral (2004) em um estudo para avaliar o uso de um perfil para os conceitos de entropia e espontaneidade como instrumento de análise de discurso em sala de aula. A idéia era de que este instrumento permitisse a compreensão da evolução das idéias dos estudantes sobre as transformações químicas e físicas, no decorrer de um processo de ensino e aprendizagem. A intenção de Amaral (2004, p. 270) foi ampliar a

discussão teórica sobre o perfil conceitual, ao considerar que este modelo "pode ser usado para compreender a heterogeneidade de idéias presentes em sala de aula, relacionando diferentes formas de pensar a diferentes formas de falar". A partir desta perspectiva, as zonas do perfil têm sido vistas não só como diferentes formas de pensar, mas também como diferentes modos de falar, gêneros de discurso e linguagens sociais, empregados e produzidos na enunciação destas formas de pensar (Coutinho, 2005; Coutinho; Mortimer; El-Hani, 2007; Sepulveda; Mortimer; El-Hani, 2007; Sepúlveda, 2009; Nicoli, 2009; Nicoli; Mortimer, 2009).

A aproximação entre a abordagem de perfis conceituais e uma abordagem sociocultural da aprendizagem gerou, portanto, uma redefinição da unidade de análise da evolução conceitual no programa de pesquisa. O perfil conceitual, inicialmente desenvolvido como um sistema de avaliação de concepções de um indivíduo através da gênese de um conceito científico (Mortimer, 2000a, p. 151), passou a ser aplicado também à análise das idéias construídas no espaço social da sala de aula e do modo como estas evoluem ao longo das interações entre professor e estudantes e dos estudantes entre si.

Até o momento, procuramos descrever dois movimentos que consideramos importantes para a compreensão do percurso de construção das bases teóricas do programa de pesquisa sobre perfis conceituais, desde sua origem: (1) a descentralização do perfil epistemológico de massa de Bachelard na metodologia de constituição das zonas de perfis conceituais e (2) a adoção das idéias de Vygotsky e Bakhtin como referenciais para interpretar a aquisição de novas zonas no processo de aprendizagem e a tomada de consciência da multilicidade de formas de pensar que um perfil encerra, a partir da análise da significação ao longo do discurso de sala de aula. Este movimento foi seguido – como não deve causar surpresa - de um afastamento de abordagens cognitivistas da aprendizagem. Na nossa interpretação, estes dois movimentos levaram ao programa de pesquisa sobre perfis conceituais a fortalecer suas bases teóricas em torno de perspectivas socioculturais da ação mental.

Segundo Kozulin (1990), o conceito de "representação coletiva" de Durkheim (1972) foi uma das rotas que deu origem às idéias de Vygotsky. Ele destaca que o contexto intelectual que deu origem às teses vygostkianas acerca da dimensão social das funções mentais humanas estaria mais relacionado à escola sociológica francesa de Durkheim do que à teoria marxista, dado que a primeira seria, na época, a única teoria desenvolvida da cognição humana que a tratava como socialmente determinada (Mortimer, 2000a, p. 71-72). As representações coletivas são entendidas por Kozulin como

> um conceito ou uma categoria de pensamento que um grupo de indivíduos possui em uma forma essencialmente similar de modo a permitir uma comunicação efetiva. Além disso, as representações coletivas têm um caráter supra- individual e através dessa característica elas são impostas sobre a cognição individual (Kozulin, 1990, p. 122).

Conforme esclarecem Mortimer, Scott e El-Hani (2009), seguindo as idéias de Vygotsky, a imposição de tais construções coletivas à cognição individual pode ser explicada pelo fato de esta última se desenvolver mediante a internalização de ferramentas culturais, as quais são tornadas disponíveis através de interações sociais. Assim, é possível argumentar que as pessoas lidam com representações coletivas – ou construções coletivas, termo preferido pelos referidos autores – ao construírem seu pensamento conceitual.

Tendo em vista este argumento, a existência de perfis conceituais pode ser entendida a partir da interpretação de Wertsch (1991) acerca da noção de heterogeneidade do pensamento verbal de Tulviste (1986).

Wertsch (1991, p. 97) reconhece que há discordâncias entre filósofos e psicólogos que empregam a noção de heterogeneidade a respeito de como as diferentes formas de pensamento se encontram organizadas em termos de gênese, poder e eficácia. Analisando tais discordâncias, ele identifica três diferentes interpretações da noção de heterogeneidade: heterogeneidade como hierarquia genética, heterogeneidade apesar da hierarquia genética e heterogeneidade não genética. As duas primeiras posições consideram que as formas de pensamento, representação e ação podem ser hierarquizadas em termos genéticos. No entanto, enquanto que a primeira visão considera que as formas de pensamento que apresentam um desenvolvimento posterior são também mais poderosas e eficazes, a segunda assume que o fato de uma forma de pensamento emergir mais tardiamente que outras, não implica que ela seja, em si, mais poderosa ou eficaz que as anteriores. A terceira posição, por sua vez, defende que não há uma hierarquia inerente às variadas formas de representação e ação no funcionamento mental seja em termos de gênese, ou em termos de poder e eficácia.

Segundo a interpretação de Wertsch (1991, p. 101), Tulviste (1986) desenvolve uma concepção de "heterogeneidade apesar da hierarquia genética". Tulviste (1986) argumenta que a coexistência de diferentes formas de pensamento deve ser interpretada em termos de sua conexão com a multiplicidade de atividades distribuídas socialmente e realizadas pelo indivíduo:

> Existe uma conexão óbvia entre várias formas de atividade e a heterogeneidade do pensamento. Isso é verdadeiro tanto entre as culturas quanto dentro delas. A razão para a heterogeneidade do pensamento verbal não deve ser buscada na preservação acidental na sociedade ou no indivíduo de "velhos", "inferiores", ou em "prévios" estágios sócio-genéticos [histórico-sociais] ou ontogenéticos de pensamento. Ao contrário, deve ser buscada na multiplicidade de atividades que são distribuídas na

> sociedade e levadas a cabo pelo indivíduo. A heterogeneidade se desenvolveu através da história social, à medida em que novas formas de atividade apareceram, com o desenvolvimento da produção material e mental. Estas novas formas de atividade demandaram novas formas de pensamento e deram origem às mesmas. Ao mesmo tempo em que formas mais antigas de atividade, que desempenham certos papéis na cultura, são preservadas, de igual modo, os "velhos" tipos de pensamento a elas correspondentes são preservados e continuam a funcionar. (Tulviste, 1986, pp. 24-25 apud Wertsch, 1991, pp. 101-102).

A despeito de novos tipos de pensamento serem gerados à medida que surgem novas atividades na sociedade, os tipos de pensamento mais antigos são preservados, por continuarem a ser funcionais em seus contextos apropriados (Wertsch, 1991). O programa de pesquisa sobre perfis conceituais tem adotado a noção de heterogeneidade apesar da hierarquia genética, tal como defendida por Tulviste (1986), de modo que as zonas de um perfil conceitual são entendidas como formas de pensamento que podem ser hierarquizadas apenas em termos genéticos. Tal hierarquização não implica que as perspectivas de significar um conceito que foram resultantes de desenvolvimentos posteriores sejam epistemologicamente superiores às anteriores, em termos absolutos. Sendo possível atribuir maior ou menor poder explicativo e eficácia apenas em termos de sua adequação na resolução de determinados problemas.

Com base na noção de heterogeneidade do pensamento verbal desenvolvida por Tulviste, Wertsch (1991) propõe uma expansão da analogia de Vygotsky entre instrumentos (ou ferramentas) e a mediação semiótica, de modo a torná-la adequada ao exame da diversidade de recursos mediadores disponíveis aos seres humanos. Werstsh (1991, p. 93) sugere que os recursos mediadores devem ser vistos não como algo singular ou um todo indiferenciado, ao contrário, devem ser entendidos em termos de itens diversos que compõem uma caixa de ferramentas (*a tool kit*). Segundo Wertsh (1991), esta abordagem nos permite pensar respostas para a questão de qual é a diversidade dos recursos mediadores de que nós, seres humanos dispomos, bem como, de porque um determinado recurso mediador, em lugar de outro, é empregado na realização de uma ação em particular. Wertsch argumenta que a noção de Tulviste de heterogeneidade apesar da hierarquia genética e analogia de caixa de ferramenta nos permite propor que diferentes ferramentas são adquiridas em diferentes estágios de desenvolvimento cultural. Algumas destas ferramentas são mais poderosas e eficazes para certas atividades ou esferas da vida, e outras mais poderosas e eficazes em outras (Wertsch, 1991, p. 102).

Como veremos na próxima seção, a adoção deste modo de compreender a heterogeneidade dos recursos mediadores que dispomos, levará ao programa de perfis

conceituais a desenvolver suas bases epistemológicas em uma abordagem pragmática do conhecimento.

Segundo Wertsch (p. 94), um enfoque desta natureza "permite entender as diferenças grupais e contextuais em termos do ordenamento de recursos mediadores aos quais as pessoas têm acesso, e em funções do padrão de escolha que manifestam ao selecionar um instrumento particular para uma ocasião determinada". Ele sugere, ainda, que é possível encontrarmos nas noções de gênero de discurso e linguagem social de Bakhtin (1981) uma resposta para a questão de como tais ferramentas podem ser distinguidas umas das outras.

Tendo em vista esta abordagem da atividade mediada, é possível pensar que as zonas de um perfil são constituídas não só de significados para um mesmo conceito ou palavra, mas, também, de um conjunto de recursos mediadores, a exemplo de linguagens sociais e gêneros de discurso, que são mobilizados pelos sujeitos em contextos apropriados, para compreender a realidade e se comunicar. Deste modo, a abordagem dos perfis conceituais se alinha com a perspectiva sócio-cultural de interpretação da aprendizagem de ciências, segundo a qual aprender ciências é, em grande medida, aprender a linguagem social da ciência e reconhecer o gênero de discurso da sala de aula de ciências (Mortimer, 1998; Mortimer e Scott, 2002; 2003). Em termos de tradição de pesquisa, esta compreensão do perfil conceitual e a proposição de empregá-lo como instrumento de análise do discurso em sala de aula representam uma adesão ao movimento da "virada discursiva" na pesquisa em educação científica, tradição que enfatiza o papel da linguagem na aprendizagem de ciências.

Segundo El-Hani e Mortimer (2007, p. 678), o programa de pesquisa sobre perfis conceituais tem sido construído de modo a restabelecer a centralidade da aprendizagem de conceitos na educação científica, ao mesmo tempo em que reconhece, de igual modo, a importância da cultura, da linguagem e do contexto neste processo. Ao fazê-lo, a abordagem de perfis conceituais busca levar em conta não só o movimento da virada discursiva, mas também outras três tradições de pesquisa no ensino de ciências, o movimento das concepções alternativas, o movimento da alfabetização científica e o multiculturalismo. Como argumentam El-Hani e Mortimer, ainda que os currículos de ciências, atualmente, tendam a ser construídos em torno de questões temáticas e contextuais, o programa de pesquisa em perfis conceituais parte do pressuposto de que a aprendizagem de conceitos científicos deve estar entre as metas de qualquer proposta curricular em educação científica, uma vez que constitui uma das condições para a compreensão da perspectiva da ciência no espaço social da sala de aula.

Tendo em vista a centralidade da aprendizagem de conceitos para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais, foi preciso deixar claro qual a abordagem sobre conceitos e conceitualização que o programa adota. Com este intuito, Mortimer, Scott e El-Hani (2009) recorreram a distinção proposta por Wells (2008) entre o status ontológico dado aos conceitos pela literatura em concepções alternativas, a qual concebe os conceitos como uma entidade mental estável, e a proposta de que os conceitos são ferramentas culturais, e como tais, consistem em objetos do terceiro mundo Popperiano. Com base nesta distinção Mortimer, Scott e El-Hani identificaram duas abordagens distintas sobre conceitos, de um lado, uma visão ainda dominante, de caráter cognitivista, e uma visão alternativa, sócio-interacionista. Estes autores concluíram estar diante de duas visões diametralmente opostas e, possivelmente, incomensuráveis, e se posicionaram a favor da adoção de uma visão sócio-interacionista sobre os conceitos, no âmbito das investigações que empregam a abordagem dos perfis conceituais para compreender o modo como a evolução conceitual e a significação da perspectiva da ciência escolar ocorre em sala de aula.

Segundo Mortimer, Scott e El-Hani (2009), uma visão dominante na literatura em ensino de ciências é a de que conceitos constituem modelos ou esquemas mentais construídos pelos aprendizes, que representam objetos e eventos. Desta perspectiva, os conceitos são vistos como entidades mentais relativamente estáveis que são possuídas pelos indivíduos. A evolução conceitual, por sua vez, é compreendida como o processo por meio do qual estes esquemas individuais sofrem transformações. Esta visão corresponderia à abordagem cognitivista. Os autores identificam, no entanto, outra visão sobre os conceitos na literatura, a de que os conceitos têm existência apenas na linguagem natural ou nos sistemas de conhecimento, a exemplo da ciência, como significados estáveis construídos socialmente. Concepção adotada pela abordagem sócio-interacionista do desenvolvimento mental.

Mortimer, Scott e El-Hani fundamentam a análise desta segunda abordagem dos conceitos na visão de três mundos de Popper (1978), tal como propõe Wells (2008). No modelo de Popper, o Mundo 1 corresponde ao universo físico, o Mundo 2 corresponde a experiência consciente, e o Mundo 3 corresponde ao conhecimento objetivo. Segundo Popper, os conceitos são objetos pertencentes ao Mundo 3, existindo nos textos e na linguagem, como construtos sociais. No mundo 2, encontramos conhecimento subjetivo, manifesto na forma de processos de pensamento, baseados, por sua vez, em processos cerebrais, pertencente ao Mundo 1. A partir desta visão de três mundos de Popper, Mortimer, Scott e El-Hani propõem uma distinção entre conceitos e conceitualizações, que consideram fundamental na visão sócio-interacionista sobre os conceitos. Entende-se que, na mente dos

indivíduos, como parte do segundo mundo popperiano, não encontramos instâncias de conceitos, mas um processo dinâmico que podemos chamar de conceitualização ou, seguindo Vygotsky (1978), de pensamento conceitual, o qual emerge como resultado das interações socialmente dirigidas dos indivíduos com eventos e experiências externas. Conceitos, por sua vez, não existem como entidades estáveis na mente dos indivíduos, mas apenas no mundo 3, ou seja, nas linguagens naturais e sistemas de conhecimento.

Mortimer, Scott e El-Hani argumentam que o fato de termos a impressão de que "possuímos" conceitos em nossa mente pode ser explicado, de uma perspectiva vygotskyana, a partir de dois fatores: (1) a tendência ou potencialidade de o pensamento conceitual, quando plenamente desenvolvido, operar de maneira similar diante de experiências que percebemos como familiares; e (2) o poder dos processos de socialização de restringir o pensamento conceitual a significados estáveis, construídos sócio-culturalmente. O fato de o pensamento conceitual, enquanto um processo que emerge das relações socialmente dirigidas entre o indivíduo e a experiência externa, repetir-se em aspectos que nos parecem centrais nos permite usar conceitos repetidamente, de modo similar. Em conseqüência, podemos pensar através de conceitos e comunicarmos-nos uns com os outros por meio dos signos da linguagem. Desta perspectiva, quando falamos em indivíduos que dominam o significado de certo conceito, temos em vista que, em decorrência dos processos educacionais pelos quais estes indivíduos passaram, o pensamento conceitual é restringido por este significado. Não se trata, no entanto, "de que eles estejam 'lendo em voz alta' estruturas mentais mais ou menos estabilizadas, que corresponderiam aos conceitos" (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009, p.3).

Os autores recorrem ainda à distinção entre sentido e significado feita por Vygotsky (1987) para tornar mais clara a distinção entre conceito e conceitualização. Segundo Vygotsky (1987, p. 275), "o sentido de uma palavra é o agregado de todos os fatos psicológicos que surgem em nossa consciência em conseqüência da palavra". Portanto, o sentido de uma palavra não é tão estável quanto o significado e muda em diferentes contextos. Já o significado da palavra é um construto social relativamente mais estável, o qual permite a intersubjetividade, "na medida em que duas ou mais pessoas podem compartilhar o significado de uma palavra, ainda que variem nos sentidos que atribuem a ela" (Mortimer; Scott: El-Hani, 2009, p. 3-4). Esta é a condição para que a palavra se torne funcionalmente um conceito, quando porta um significado sócio-culturalmente aceito e compartilhado por um grupo de falantes e apresenta, além disso, o caráter de generalização.

Conforme argumentam Mortimer, Scott e El-Hani, há uma interessante relação dialética entre sentido e significado. A aprendizagem do significado de uma palavra por um

indivíduo é precedida pela rica produção de sentidos empreendida por ele, os quais, por sua vez, são gradualmente restringidos pelos ambientes educacionais, formais e não formais, e por uma diversidade de contextos em que a experiência social do indivíduo tem lugar. A partir deste processo gradual de restrição de sentidos, a palavra adquire para o indivíduo um significado generalizável, relativamente estável. Por outro lado, é a produção de sentido pelos indivíduos, ao usar os significados, que torna possível a transformação dos significados ao longo da dinâmica social.

A estabilidade do significado da palavra, própria do conceito, é que confere permanência ao pensamento conceitual, a despeito de sua dinâmica, uma vez que,

> "(...) é graças à restrição da produção de sentido pelos significados socialmente estabilizados que nos tornamos capazes de pensar conceitualmente de modo tão repetível que terminamos por conceber os conceitos como entidades mentais". (Mortimer, Scott e El-Hani, 2009, p.4)

Esclarecida a distinção vygotskiana entre sentido e significado e a relação dialética mantida entre eles, os autores distinguem conceitos e pensamento conceitual, ou conceitualizações, do seguinte modo:

> (...) os primeiros existem de modo mais estável no terceiro mundo popperiano, no mundo do conhecimento objetivo construído socialmente e organizado na forma de linguagens sociais, incluindo as linguagens da ciência e da ciência escolar; as últimas são mais dinâmicas, embora restringidas pelos significados dos conceitos, sendo instanciadas no segundo mundo popperiano, o mundo da experiência consciente, do conhecimento subjetivo (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009, p.4)

Mortimer, Scott e El-Hani argumentam que esta compreensão sócio-cultural dos conceitos e das conceitualizações é consistente com a abordagem dos perfis conceituais, uma vez que implica uma das idéias centrais desta abordagem, a de que é possível conceitualizar nossa experiência de diferentes maneiras, com base na variedade de contextos em que ela tem lugar.

Em nossa interpretação, a distinção entre as abordagens sobre os conceitos feita por Mortimer, Scott e El-Hani (2009), o reconhecimento da incomensurabilidade entre elas e a adoção da visão sócio-interacionista constituem os passos mais recentes no desenvolvimento das bases teóricas do programa de perfil conceitual, na direção de uma consolidação de sua identidade com uma abordagem sócio-cultural do desenvolvimento da cognição humana. O esclarecimento feito pelos autores a respeito desta base teórica contribui para tornar mais clara a distinção entre este programa de pesquisa e outras abordagens da investigação da aprendizagem conceitual de ciências, mais especificamente, aquelas realizadas a partir de uma posição teórico-metodológica cognitivista, a exemplo do movimento das concepções alternativas e do modelo de mudança conceitual (Posner et al. 1982; Hewson ; Thorley, 1989;

Driver, 1989), dominantes nas décadas de 1980 e 1990, e, mais recentemente, dos estudos sobre modelos mentais e campos conceituais (Greca; Moreira, 2000;2002: Greca, 2006).

Estas abordagens cognitivistas, ao entenderem os conceitos como estruturas internas à mente dos indivíduos, elegem como unidade de análise aspectos internos e individuais das representações dos estudantes e buscam elucidar o papel explicativo destas representações nos processos que subjazem à cognição, mais especificamente, nos modos de raciocínio dos estudantes. A abordagem de perfis conceituais, ao adotar a visão sócio-interacionista sobre os conceitos, tem como unidade de análise os significados desenvolvidos sócio-culturalmente na gênese dos conceitos científicos e o papel que estes significados e os processos coletivos de enunciação apresentam na formação do pensamento conceitual dos estudantes.

1.2. Bases epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais

O amadurecimento das bases teóricas do programa de pesquisa sobre perfis conceituais foi acompanhado, naturalmente, do desenvolvimento das bases epistemológicas que o fundamentam. Nesta seção, pretendemos descrever brevemente este desenvolvimento e, a partir da apresentação das posições filosóficas às quais, atualmente, a abordagem dos perfis se identifica, analisaremos como ela se insere na polêmica entre universalistas epistemológicos e multiculturalistas na literatura sobre educação científica.

1.2.1 Debate entre universalismo e multiculturalismo na educação científica:

O debate entre universalismo epistemológico e multiculturalismo teve origem em discussões acerca da organização do currículo de ciências, mais especificamente, em torno da questão de quais conhecimentos têm legitimidade para se constituir em objetos de ensino nas disciplinas escolares de ciências. Em decorrência de posturas mais críticas em relação à ciência ocidental moderna, da defesa do resgate de outras formas de conhecimento e, ainda, de mudanças de perspectiva nos estudos sobre currículos (El-Hani; Sepulveda, 2006), um grupo de educadores e pesquisadores em ciências propôs a inclusão no currículo de ciências de conhecimentos gerados no seio de diversos grupos étnicos e culturais, como, por exemplo, os chamados conhecimentos ecológicos tradicionais (‘traditional ecological knowledge’, TEK; ver Bandeira 1999 e Snively; Corsiglia, 2000).

Esta proposta tem provocado reações de outros pesquisadores na área, os quais defendem que o conhecimento escolar deve ter como referência o conhecimento produzido

pela ciência ocidental moderna e legitimado pela comunidade científica. Argumenta-se que, ao considerarmos outros sistemas de conhecimentos sob a rubrica de ciência, estaríamos violentando o conhecimento científico. Este debate envolve não só posicionamentos políticos e morais, mas também posições filosóficas a respeito do estatuto epistemológico da ciência ocidental moderna, em relação a outras formas de conhecimento, e do problema da demarcação entre elas (El-Hani; Sepúlveda, 2006, p. 164).

Podemos sumarizar as duas posições mais extremadas neste debate do seguinte modo: De um lado, universalistas (Williams, 1994; Matthews, 1994; Siegel, 1997) argumentam que a ciência ocidental moderna, como corpo de práticas e de conhecimento, tem um caráter universal e, portanto, não pode ser ensinada em termos multiculturais. Segundo Mattwes (1994, p. 182), o argumento central do universalismo reside na afirmação de que os enunciados da ciência ocidental moderna são avaliados a partir de um critério universal, qual seja, a sua adequação ao mundo material. É com base nesta suposta particularidade da ciência, a de ter a natureza como árbitro final da adequação de seus enunciados, que Matthews e Siegel (1997), por exemplo, justificam a existência de um poder epistemológico superior pela ciência ocidental moderna, em relação a outras formas de conhecimento (Southerland, 2000).

De outro lado, multiculturalistas (Ogawa, 1995; Pomeroy, 1992; Stanley; Brickhouse, 1994; 2001; Snively; Corsiglia, 2001) defendem a inclusão de outras formas de conhecimento, como, por exemplo, TEK, no currículo de ciências, com o argumento de que a posição universalista serve a uma política de exclusão e é incorreta não só do ponto de vista moral e político, como do ponto de vista filosófico. Uma estratégia usualmente empregada pelos multiculturalistas para justificar a inclusão curricular no currículo de ciências de outras formas de conhecimento, em particular, dos conhecimentos ecológicos tradicionais, consiste na ampliação do conceito de ciência, de modo a abarcar aqueles sistemas de conhecimento. Assim, os multiculturalistas freqüentemente (mas nem sempre) se comprometem com uma postura epistemológica relativista, no que diz respeito ao problema da demarcação[5] (El-Hani; Sepúlveda, 2006, p. 164).

---

[5] O problema da demarcação é um importante problema no campo da filosofia da ciência e diz respeito à questão de como a ciência pode ser distinguida de outros domínios intelectuais, como a historiografia, a teleologia ou a filosofia, ou ainda, de como podemos distinguir ciência de pseudociência (Cobern e Loving, 2001) . Este problema tem sido bastante difícil de tratar, e como argumenta Laudan (1983, pp. 8–9), seja qual for a deficiência ou robustez de esforços bem conhecidos em resolvê-lo, não há uma linha de demarcação entre ciência e não-ciência, ou entre ciência e pseudo-ciência que tenha se tornado consensual entre os filósofos. Autores que defendem a importância desta demarcação no âmbito do currículo da ciência,têm argumentado que é possível realiza-la, a partir de uma perspectiva pragmática, deixando um pouco de lado a complexidade filosófica do problema da demarcação e considerando-se as visões pragmáticas amplamente aceitas pela

El-Hani e Sepulveda (2006, p. 166) discutem uma terceira posição, considerada intermediária neste debate, o *pluralismo epistemológico*, tal como defendido, por exemplo, por Cobern e Loving (2001). Estes autores não defendem qualquer tipo de superioridade epistemológica da ciência ocidental moderna, como propõem os universalistas, mas também não assumem, e mesmo se opõem, à postura relativista, na qual os multiculturalistas muitas vezes incorrem ao considerarem todas as formas de conhecimento sobre o mundo natural, incluindo os conhecimentos tradicionais, como modalidades de ciência. O argumento de Cobern e Loving é que a inclusão do conhecimento tradicional sob o rótulo de ciência, em lugar de legitimá-lo, pode acabar contribuindo com sua desvalorização, uma vez que este conhecimento, muito provavelmente, passaria a ser avaliado sob os critérios da ciência ocidental moderna, em lugar de ser avaliado por critérios de valorização que são próprios do contexto epistemológico no qual foi gerado. Estes autores argumentam também que a falta de demarcação entre a ciência ocidental moderna e outros sistemas de conhecimento pode trazer prejuízos à formação dos estudantes. Ao perder de vista as diferenças entre os diversos modos de conhecer e o conhecimento que produzem, o estudante dificilmente desenvolveria uma atitude crítica frente ao conhecimento. A partir deste argumento, os pluralistas epistemológicos defendem o reconhecimento da heterogeneidade de modos de conhecer a natureza e das diferenças e desacordos que apresentam no que diz respeito ao que consideram verdade. Em termos curriculares, defende-se o ensino de ciências como tipicamente definidas, porém, de modo sensível à diversidade de visões de mundo representadas na sala de aula, uma proposta caracterizada por Southerland (2000) como "educação científica multicultural instrucional".

Como sugerem El-Hani e Mortimer (2007), estes posicionamentos epistemológicos acerca da demarcação e do estatuto da ciência em relação a outras formas de conhecimento, subjazem não só a propostas curriculares como também a abordagens da aprendizagem conceitual. Conforme argumentam estes autores, as teorias do desenvolvimento conceitual dominantes na literatura sobre educação científica "tendem a assumir este processo como um esforço em direção a um modo científico, racional, não-contraditório, singularmente poderoso de conceituar, o qual pode supostamente subsumir todas as outras formas de conhecimento, tratadas como 'inferiores'" (El-Hani e Mortimer, 2007, p. 678). As referidas teorias têm como

---

comunidade científica (Cobern; Loving 2001; El-Hani; Bandeira, 2008). É possível encontrar propostas desta natureza em Cobern e Loving (2001) e em Gil-Pérez e colaboradores (2001).

base epistemológica, portanto, uma posição universalista que atribui superioridade epistemológica à racionalidade científica.

Na próxima seção, pretendemos descrever o percurso pelo qual a abordagem dos perfis conceituais desenvolveu suas bases epistemológicas, afastando-se de uma perspectiva universalista e cientificista de conceber a relação entre as diversas formas de conhecer a realidade e aproximando-se, como propõem Mortimer, Scott e El-Hani (2009), de uma abordagem pragmatista objetiva do conhecimento. Pretendemos ainda apontar de que modo a abordagem dos perfis conceituais, ao definir suas bases teóricas em uma perspectiva sociocultural da ação mental e suas bases epistemológicas no pragmatismo, traz contribuições para o tratamento de questões pendentes no debate em torno de uma educação científica multicultural.

1.2.2. Desenvolvimento das bases epistemológicas do perfil conceitual no pragmatismo objetivo

Como mencionamos acima, a noção de perfil conceitual foi inspirada no perfil epistemológico de Bachelard (1984). Bachelard apresentou uma caracterização das zonas que compõem o perfil epistemológico para o conceito de massa como base para seu argumento de que os conceitos, ao longo de seu desenvolvimento, se apresentam vinculados a determinados pontos de vista filosóficos, a depender de seu estágio de maturidade.

Segundo a proposta de Bachelard (1984), o conceito de massa pode ser interpretado a partir de diferentes pontos de vista filosóficos, de modo a compor as seguintes zonas de um perfil epistemológico: *realismo ingênuo, empirismo claro e positivista, racionalismo clássico e racionalismo completo.*

O realismo ingênuo está relacionado à noção realista que atribui massa apenas àquilo que é pesado, correspondendo "a uma apreciação quantitativa grosseira e como que ávida de realidade. Aprecia-se massa pela vista" (Bachelard, 1984, p. 13).

Segundo a análise de Bachelard, o conceito de massa adquire um caráter empírico a partir da utilização da balança, por meio da qual é obtida uma determinação objetiva precisa da massa. Bachelard (1984, p. 15) caracteriza esta noção de massa como um "conceito simples e positivo" ao qual corresponde "um pensamento empírico, sólido, claro, positivo e imóvel."

A origem da zona seguinte, correspondente ao pensamento racionalista clássico, é atribuída ao nascimento da mecânica de Newton, a partir da qual a massa é definida como o quociente da força pela aceleração. Conforme a interpretação de Bachelard (1984, p. 16), a noção de massa passa, então, a ser definida em um corpo de noções que se estabelecem

"correlativamente numa relação claramente racional dado que esta relação é perfeitamente analisada pelas leis racionais da aritmética". Para Bachelard (1984, p. 17), uma visão desta natureza "satisfaz o espírito independentemente das verificações da experiência".

Por fim, no contexto da teoria da relatividade, a massa deixa de ser definida como independente da velocidade e absoluta no tempo e no espaço, passando ser uma função complicada da velocidade. Além disso, na física relativista, a noção de massa não é heterogênea à energia. Segundo a análise de Bachelard (1984), houve, desse modo, uma abertura para o que ele chamou de racionalismo moderno, o qual possibilitou que as noções se tornassem mais complexas. A noção de massa, que na física newtoniana era uma função simples, se tornou complexa, dependente de uma série de noções (Mortimer, 2000a, p. 74).

Conforme reconhece Mortimer (2000a, p. 75), esta caracterização do perfil de massa nos leva a concluir que "à medida que se percorre o perfil epistemológico, qualquer conceito se torna mais complexo, ao longo do perfil, e também mais racional". Considerando-se que as zonas anteriores do perfil epistemológico de massa podem ser "relacionada às concepções alternativas que as pessoas possuem, muitas vezes independentes da formação escolar" (Mortimer, 2000a, p. 76), enquanto que as zonas posteriores representam à gênese do conceito ao longo do progresso do conhecimento científico, pode-se concluir que a noção de perfil epistemológico implica a afirmação da superioridade epistemológica da racionalidade científica em relação a outras formas de pensamento.

No início de seu desenvolvimento, a noção de perfil conceitual manteve, em alguma medida, o compromisso com este princípio de hierarquização subjacente ao perfil epistemológico de Bachelard, como podemos concluir da seguinte afirmação feita por Mortimer a respeito das relações mantidas entre as noções de perfil epistemológico e perfil conceitual, quando de seu estudo sobre a evolução do atomismo em sala de aula:

> A noção de perfil conceitual tem, obviamente, características em comum com a de perfil epistemológico, como, por exemplo, a hierarquia entre as diferentes zonas, pela qual cada zona sucessiva é caracterizada por conter categorias de análise com **poder explanatório maior** que as anteriores (Mortimer, 2000a, p. 78, grifo nosso).

Contudo, em trabalho publicado em 1997, resultante de uma conferência em que apresenta um perfil para o conceito de molécula, Mortimer (1997, p. 205) já questionava a universalidade e independência de contexto imposta a esta e a outras idéias científicas. Ele apresentou como argumento o fato de encontramos, no âmbito da própria história da química, uma diversidade de visões para a estrutura molecular, muitas das quais, a exemplo da noção

clássica[6], continuam informando programas de pesquisa bem sucedidos. Mortimer (1997, p. 201) propôs ainda que a noção clássica de molécula, "seus contrapontos modernos"[7] e a visão da química contemporânea sobre este conceito constituem visões complementares, no sentido de que não podem ser todas aplicadas ao mesmo problema, nem podem, isoladamente, explicar todos os fenômenos químicos.

Neste trabalho, ao apresentar as bases teóricas e epistemológicas da noção de perfil conceitual, Mortimer coloca explicitamente que a pesquisa sobre perfil conceitual pretende romper com o compromisso de hierarquização epistemológica das zonas de um perfil, tal como sugerido pela noção de perfil epistemológico de Bachelard, e adotar a noção de heterogeneidade verbal discutida por Tulviste (1986), para fundamentar a organização do perfil segundo o princípio de complementariedade:

> A noção de perfil conceitual, como descrita em meu artigo de 1995 em Science & Education, compartilha com o perfil epistemológico de Bachelard a idéia de que uma única forma de pensamento é insuficiente para lidar com um único conceito. Mas (...) não estamos procurando uma maneira de entender conceitos primitivos para ultrapassá-los, como no racionalismo do perfil bachalerdiano. Nós estamos mais interessados em descrever o processo de conceptualização numa maneira que seja coerente com a idéia de que diferentes visões de mundo possam ser complementares. Nesse sentido, a noção de heterogeneidade, apresentada por Tulviste (1986) na sua descrição do pensamento verbal e discutida por Wertsch (1991) em *Voices of the mind*, pode nos ajudar a organizar um perfil conceitual que tenha por base a idéia de complementariedade. (Mortimer, 1997, p. 202).

A partir daí, em conseqüência das bases teóricas do perfil conceitual estarem cada vez mais fortemente apoiadas em perspectivas socioculturais das funções mentais, foram sendo adotados princípios mais coerentes com a noção de heterogeneidade do pensamento verbal apesar da hierarquia genética (Wertsch, 1991). Um dos primeiros esforços mais sistemáticos empreendidos nesta direção consistiu na proposição de Amaral (2004) de que fossem incorporadas as noções de pluralidade, complementaridade e heterogeneidade como princípios teóricos que orientam o modo de acessar e compreender as zonas de um perfil conceitual.

A idéia de pluralismo filosófico já estava presente na noção de perfil epistemológico de Bachelard (1984), mas, como vimos, tal pluralismo implicava uma hierarquização das

---

[6] A noção clássica de molécula diz respeito ao conceito de molécula desenvolvido no âmbito da química do século XIX, segundo o qual molécula é "o menor grupo de átomos, iguais ou diferentes, unidos por forças químicas". De acordo com esta noção, as propriedades de qualquer material dependem da quantidade e tipos de átomos presentes na molécula, e a maneira que estão organizados (Mortimer, 1997, p. 201).

[7] Mortimer (1997, p. 201) usa este termo para se referir a conceitos e molécula desenvolvidos em decorrência da aplicação da mecânica quântica à química, que atribuem a molécula estruturas dinâmicas, polinucleares ou supranucleares. Um exemplo é a proposição advinda da teoria de orbital molecular de que a molécula pode ser considerada como um tipo de nuvem eletrônica polinuclear. De acordo com estas noções de molécula, não é possível substancializar as propriedades químicas.

formas de pensar, atribuindo-se superioridade epistemológica ao racionalismo científico. Amaral (2004) propôs, então, que a noção de pluralismo que fundamenta o perfil conceitual deveria ser pensada a partir de outras bases epistemológicas. Ela sugeriu que a interpretássemos em termos das idéias de pluralismo e complementaridade apresentadas por Putnam em suas discussões sobre o pragmatismo.

Como discute Amaral (2004, p.15), Putnam (1995), tomando como base as idéias de William James, propôs que a construção do conhecimento envolve uma interpenetração entre fatos, teorias, valores e interpretações. Com base nesta proposição, Putnam defendeu que diferentes formas de ver e de representar a realidade podem coexistir dentro de um sistema que transpõe o conhecimento científico, sugerindo, ainda, a possibilidade de complementaridade entre elas.

Para ilustrar esta proposição, Putnam (1995) se vale da descrição feita por Hacking (1983) de um experimento no qual fluxos de elétrons ou pósitrons são usados para modificar a carga de uma esfera de nióbio. Hacking tinha como foco a discussão acerca do realismo científico, mais especificamente, acerca do estatuto das entidades teóricas. Com base nos resultados deste experimento, Hacking propôs que o pósítron e o elétron, entidades teóricas, podem ser consideradas reais, na medida em que podem ser manipuladas e, além disso, conseguimos prever o resultado da manipulação. O argumento de Hacking é que, ao manipular uma entidade teórica, é possível compreender causas, efeitos, e assim, usá-las para descobrir coisas novas. Logo, se estas entidades são manipuláveis de modo preditivo, elas devem existir.

De acordo com Putnam (1995), tomando estas considerações feitas por Hacking como verdadeiras, há um problema com a teoria do campo quântico, já que esta, em geral, não atribui um número definido aos pósitrons, assim como com a mecânica quântica elementar, que não apresenta trajetórias para os mesmos e os considera não identificáveis. Assim, estabelece-se, a princípio, uma contraposição entre a postura realista com relação aos pósitrons e a teoria do campo, assim como, a mecânica quântica. Putnam, no entanto, argumenta que a proposição de que os pósitrons são reais traz em si um esquema conceitual que nos faz saber quando podemos ou não descrevê-los como objetos em fluxo. Desta perspectiva, ele propõe que a imagem realista dos pósitrons se torna apropriada para alguns experimentos e pode ser, portanto, complementar a outras abordagens (Amaral, 2004, p. 16).

Amaral considera que as idéias de pluralismo e complementaridade apresentadas por Putnam podem ser aproximadas da proposta do perfil conceitual. O exemplo analisado por este filósofo nos mostra que diferentes formas de pensar os conceitos coexistem no próprio

domínio das ciências e encontram-se associadas a diferentes contextos de aplicação. Segundo Amaral (2004, p. 16), em termos do perfil conceitual, este fato se traduz na diversidade de zonas científicas que podem constituir um perfil, as quais estão relacionadas ao desenvolvimento histórico do conceito em questão e aos contextos nos quais seus vários significados são aplicados. Assim, as diferentes formas de pensar o conceito, que constituem o perfil, sejam elas visões científicas ou concepções cotidianas, devem ser compreendidas a partir dos diferentes contextos em que o conceito é pensado e usado. Neste sentido, as idéias presentes em cada zona podem apresentar adequação e poder explanatório em seus contextos de aplicação particulares. Não faz sentido, então, falar em poder explanatório maior de uma zona em relação a outra, em termos absolutos.

No que diz respeito à idéia de complementaridade, Amaral e Mortimer (2006, p. 241) propõem que a utilizemos no perfil conceitual no mesmo sentido atribuído por Neils Bohr (1935), na sua interpretação da mecânica quântica. Segundo estes autores, Bohr propõe que as diferentes interpretações sobre fenômenos naturais, a despeito de não ocorrerem simultaneamente ou no mesmo contexto, como no caso das interpretações da física clássica e da física relativista, fornecem informações da realidade que não são excludentes, mas, ao contrário, se complementam.

O terceiro princípio proposto por Amaral (2004), o princípio de heterogeneidade, está baseado na noção de heterogeneidade do pensamento verbal de Tulviste (1986), discutida acima. A conseqüência desta noção para o perfil conceitual "é que uma mesma palavra ou conceito pode ter significados diversos que coexistem em um indivíduo, e que são acessados em contextos apropriados" (Amaral e Mortimer, 2006, p. 241).

A compreensão dos princípios de pluralidade, complementaridade e heterogeneidade, torna mais evidente a importância, para a aprendizagem de um conceito científico, da tomada de consciência pelos estudantes em relação ao seu próprio perfil conceitual e à demarcação entre as zonas. Esta decorre de uma idéia central na abordagem dos perfis conceituais, a de que em um indivíduo coexistem diferentes significados e modo de pensar um conceito, os quais se mostram pragmaticamente poderosos para resolver diferentes tipos de problemas (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009). Diante de tal coexistência, o ensino de ciências deve ter como um de seus objetivos tornar clara esta heterogeneidade de formas de pensar, a demarcação entre elas, os significados a elas associados, e seus contextos de aplicação. Para promover esta tomada de consciência, é importante que o professor mostre que há contextos em que cada uma destas diferentes formas de pensar pode ser mobilizada de modo poderoso para resolver certos problemas em nossas vidas, assim como há outros contextos em que cada

uma delas pode não se mostrar assim tão poderosa. Mortimer, Scott e El-Hani (2009, p. 8) chamam a atenção para o fato de que, entre estes exemplos usados pelo professor, são particularmente importantes aqueles que mostram o valor pragmático do modo de pensar científico no cotidiano.

Estes autores analisam como o valor pragmático de diferentes significados do conceito de calor pode ser apresentado para os estudantes, de modo a promover uma aprendizagem bem sucedida da visão científica sobre este conceito, preservando, contudo, as demais formas de pensar e modos de falar sobre o calor que têm aplicação na linguagem comum. O estudante aprende que o calor é, de acordo com o significado científico, um processo de transferência de energia entre sistemas a diferentes temperaturas. Considere, contudo, que, ao chegar em uma loja, o estudante certamente não pedirá "um casaco feito de um bom isolante térmico, que evite a transferência de energia térmica para o ambiente", consciente de que, neste contexto, para se fazer entender, é mais adequado solicitar um "casaco quente de lã". Este segundo modo de falar sobre o calor apresenta valor pragmático na linguagem cotidiana e preserva a visão de que o calor é uma substância e é proporcional à temperatura, podendo haver "calor quente" e "calor frio". Este é um significado para o conceito de calor que está em desacordo com a visão científica (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009). Embora tenha valor pragmático para a situação cotidiana mencionada acima, ela não será adequada, no entanto, para tomar uma decisão em outra situação, também da vida cotidiana: a de escolher entre um copo de vidro e um copo de alumínio para beber uma bebida gelada em um dia quente. O modo de pensar da linguagem comum, caracterizada acima, levaria à escolha do copo de alumínio, porque ele é "frio". Esta sensação térmica, no entanto, decorre do fato de o alumínio ser um melhor condutor térmico que o vidro, o que significa que a bebida esquentará mais rápido no copo escolhido. Neste segundo contexto da vida cotidiana, portanto, a visão científica se mostra "pragmaticamente mais poderosa" (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009, p. 8) do que a visão cotidiana.

A concepção de aprendizagem da abordagem de perfis conceituais se apóia, portanto, no pressuposto de coexistência de formas de pensar um conceito e na idéia de que estas formas apresentam valor pragmático para lidar com diferentes problemas, em diferentes contextos. Este modo de entender a heterogeneidade do pensamento é consistente com uma abordagem pragmática do conhecimento, tal como a abordagem instrumentalista e orientada pela atividade proposta por Tulviste (1986) para interpretar a heterogeneidade de instrumentos mediadores.

Conforme advertem Mortimer, Scott e El-Hani (2009, p. 9), à primeira vista, esta abordagem poderia ser acusada de incorrer em uma posição relativista, no que diz respeito ao estatuto epistemológico do conhecimento científico em relação a outras formas de conhecimento. Estes autores argumentam que não é este o caso e que a posição epistemológica sustentada pela abordagem de perfis conceituais pode ser identificada com o pragmatismo objetivo, tal como proposto por Charles Peirce.

Mortimer, Scott e El-Hani (2009) estruturam sua argumentação com base na análise dos compromissos que distinguem relativismo e pragmatismo, no que diz respeito aos temas do significado e da verdade, da relação entre conhecimento e realidade e do problema da demarcação.

O relativismo se caracteriza pela negação da existência de um critério racionalista universal e a-histórico que possa orientar os juízos e as decisões sobre as teorias científicas. Os relativistas propõem que os critérios que orientam o julgamento das teorias variam de indivíduo para indivíduo ou de comunidade para comunidade e que o objetivo da produção de conhecimento depende do que é considerado importante por um indivíduo ou por uma comunidade (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009, p. 9). Baseando-se neste pressuposto, por vezes argumentam que não há um conjunto de características próprias da ciência que justifique a demarcação entre o conhecimento científico e outros sistemas de conhecimento.

Segundo Mortimer, Scott e El-Hani (2009, p. 9), uma vez que um dos temas básicos compartilhado por toda a tradição do pragmatismo é "uma forte ênfase sobre a inserção de toda e qualquer construção cognitiva humana nas práticas e no discurso", é correto ver no pragmatismo certa proximidade ao relativismo. Contudo, conforme argumentam estes autores, se enfocarmos, em particular, a preocupação epistêmica com o significado e a verdade, também identificaremos um distanciamento entre pragmatismo e relativismo, que não pode ser negligenciado. O pragmatismo filosófico apresenta como uma das características distintivas a idéia de que "a eficácia na aplicação prática oferece um critério ou padrão para a determinação da verdade dos enunciados" (Rescher, 1995 apud Mortimer, Scott e El-Hani, 2009, p. 9). Portanto, os pragmatistas não rejeitam a noção de verdade como algum tipo de relação entre conhecimento e realidade, mas antes apelam às ações para esclarecer o significado de tal relação.

De acordo com a análise feita por Mortimer, Scott e El-Hani, a impossibilidade de o pragmatismo aceitar algum tipo de relação simples entre conhecimento e realidade, em que a mente poderia ser vista como uma espécie de espelho do mundo, decorre do papel que esta posição filosófica atribui aos conceitos em nossas atividades cognitivas. Os pragmatistas

buscam explorar as conseqüências do nosso conhecimento ser moldado, pelo menos em parte, pelos conceitos que nós mobilizamos para descrever e explicar o mundo. Uma destas conseqüências é a conclusão de que nosso conhecimento não pode capturar perfeitamente todos os aspectos do mundo e, como tal, é simultaneamente iluminador e limitante. Este reconhecimento da natureza dual do conhecimento, ou seja, de que ele cria possibilidades ao mesmo tempo em que impõe limites à nossa compreensão, é tomado como base pelo pragmatismo para propor que o conhecimento deve ser julgado, pelo menos em parte, em termos de sua utilidade. Como estes autores advertem, é importante, contudo, ter em vista que o significado do termo "utilidade", neste caso, não se restringe apenas às aplicações práticas, mas se tem em vista a utilidade do conhecimento para outras coisas além destas aplicações, por exemplo, como "instrumento de pensamento" (Lotman, 1998, pp. 36-37 apud Wertsch, 1991, p.74).

Ao propor que tomemos a utilidade como critério central para os juízos sobre o conhecimento, os pragmatistas se distanciam da perspectiva relativista radical de que "vale tudo em nossos esforços de usar o conhecimento para decidir como agir em circunstâncias específicas", uma vez que "há um número limitado de idéias e formas de pensar que podem ser bem sucedidas para lidar com qualquer problema" (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009, p. 10).

Como procuramos esclarecer anteriormente, a abordagens dos perfis conceituais busca modelar a heterogeneidade de formas de pensar um conceito que coexistem em um indivíduo, comunidade e cultura, tendo em vista os significados a elas associados e os seus contextos de aplicação. Mortimer, Scott e El-Hani (2009) argumentam que, ao fazê-lo, esta abordagens se apóia na idéia de que cada uma das distintas formas de pensar apresenta maior ou menor valor pragmático para lidar com determinados problemas, em contextos particulares. Para estes autores, é neste sentido que está abordagem não está comprometida com o relativismo, ao menos, com relativismos do tipo "vale tudo" (cf. Feyrabend, 1993), mas sim com um pragmatismo objetivo.

Mortimer, Scott e El-Hani introduzem, ainda, a distinção entre pragmatismo objetivo e pragmatismo subjetivo para precisar melhor qual perspectiva pragmatista estão assumindo como base epistemológica da abordagem dos perfis conceituais. Segundo estes autores, o pragmatismo subjetivo é formulado em termos do que se mostra efetivo para a realização dos propósitos de uma pessoa ou de um grupo, em particular, (Rescher, 1995 apud Mortimer, Scott e El-Hani, 2009, p. 10), enquanto o pragmatismo objetivo busca preservar um papel para a objetividade no tratamento da relação entre conhecimento e realidade. Eles propõem que um caminho para alcançar esta meta é seguir a sugestão de Shrader-Frechette e McCoy

(1994) de que a objetividade seja vista como um atributo das práticas humanas de construção de conhecimento, e não das proposições. Nesses termos, uma prática epistêmica é objetiva quando se caracteriza pela busca de imparcialidade nas ações e decisões. Embora a imparcialidade completa seja uma meta impossível de ser alcançada por "agentes incorporados e situados", é através de sua busca que exercitamos a crítica mútua, nos informamos dos possíveis vieses que afetam a construção do conhecimento, adotamos procedimentos para evitá-los, na medida do possível, e, assim, nos tornamos capazes de regular nossas práticas epistêmicas. Desta perspectiva, a distinção entre objetivo e subjetivo se funda na distinção entre o que podemos confiar como sendo um conhecimento compartilhado e o que se limita a uma opinião pessoal.

Feita esta distinção, Mortimer, Scott e El-Hani argumentam que a abordagem dos perfis conceituais se afasta do pragmatismo subjetivo e se aproxima do pragmatismo objetivo, ao propor como uma das finalidades de aprendizagem a tomada de consciência da demarcação entre as diferentes formas de pensar e seus domínios de aplicação. Deste modo, uma proposta de ensino fundamentada nesta abordagem permite a construção de uma perspectiva crítica frente ao conhecimento, a partir da qual se pode ir além de juízos subjetivos a respeito do que é útil para os propósitos de uma pessoa ou grupo, rumo à apreciação racional e escolha pelas formas de pensar e pelos modos de agir, pautadas em critérios intersubjetivos.

Até o momento, nos concentramos em fazer um breve histórico do desenvolvimento das bases epistemológicas que sustentam a abordagem dos perfis conceituais. Apresentadas estas bases, é preciso dar conta de dois outros objetivos aos quais nos propomos nesta seção: (1) situar a abordagem dos perfis conceituais no debate entre universalistas epistemológicos e multiculturalistas e (2) apontar as contribuições que esta abordagem pode oferecer aos desafios colocados a uma educação científica culturalmente sensível.

1.2.3. Contribuições da abordagem em perfis conceituais a uma educação científica culturalmente sensível

A perspectiva pragmatista objetiva que fundamenta a abordagem dos perfis conceituais tanto a aproxima da posição epistemológica defendida pelo pluralismo epistemológico proposto por Cobern e Loving (2001), como a torna uma teoria da aprendizagem conceitual adequada à proposta de uma educação científica culturalmente sensível, como defendida por El-Hani e Mortimer (2007).

No contexto dos debates sobre a educação multicultural, El-Hani e Mortimer desenvolvem a tese de que a *compreensão* das teorias, dos modelos e dos conceitos científicos

deve ser o objetivo de uma educação científica culturalmente sensível. Esta tese é desenvolvida com base nos seguintes argumentos: (1) em resposta à tensão gerada no debate entre universalismo epistemológico e multiculturalismo, há uma crescente tendência de buscar posições intermediárias entre estas duas posições; (2) o pluralismo epistemológico, uma posição intermediária neste debate, pode ser caracterizado em termos de um compromisso com uma educação científica multicultural instrucional, a qual, de acordo com Southerland (2000), busca ensinar as idéias científicas como tipicamente compreendidas, sem perder de vista, contudo, a necessidade de ter na devida conta as idéias culturalmente fundadas dos estudantes; (3) para sustentar uma proposta pedagógica desta natureza, é preciso implementar-se uma ética da coexistência[8] nos processos argumentativos que têm lugar na educação científica, visando lidar com as diferenças culturais; (4) uma das condições para a coexistência de diferentes argumentos e discursos é a compreensão dos discursos coexistentes, entre eles, o discurso da ciência.

Com esta argumentação, El-Hani e Mortimer (2007) se posicionam em relação a outra polêmica na literatura em educação científica, desenvolvida ao longo da década de 1990, a qual encontrou um lugar natural no debate acerca da educação multicultural. Trata-se da questão de qual deve ser o objetivo no ensino de ciências. De um lado, há autores que defendem que professores de ciências devem ter como objetivo promover mudanças nas crenças dos estudantes (*e.g.*, Lawson; Weser 1990, Alters 1997; Hoffman, 2007) e, de outro, autores que propõem que o ensino de ciências deve se limitar ao objetivo de promover a compreensão de idéias científicas pelos estudantes (e.g., Cobern, 1996, 2000, 2004; El-Hani; Bizzo, 2002; Smith; Siegel, 2004). El-Hani e Mortimer (2007) assumem a segunda posição. Contudo, eles vão além e argumentam que a possibilidade de um estudante compreender idéias nas quais não acredita é fundamental para um ensino de ciências culturalmente sensível e que conduza a uma ética da coexistência na relação com a diversidade cultural, a despeito de reconhecerem a pertinência do argumento de Smith e Siegel (2004) de que a compreensão tipicamente leva à crença.

Para dar consistência à sua defesa, estes autores utilizam as distinções entre 'apreensão' e 'compreensão' proposta por Cobern (1996), e entre 'domínio' (*mastery*) e 'apropriação' de Wertsch (1998), como bases para argumentar que, embora um estudante de

[8] A ética da coexistência se opõe as éticas do conflito e do consenso, ao propor que as diferenças culturais sejam devidamente reconhecidas e respeitadas, através de processos argumentativos sociais, marcados pelo diálogo e confrontação de argumentos, na busca de possíveis (mas não inevitáveis) soluções, ou caso estas não possam ser alcançadas, um esforço dos diversos grupos sociais, para conviverem com suas diferenças (El-Hani; Mortimer a, 2007).

ciências bem sucedido não precise necessariamente apropriar-se e, assim, crer em idéias científicas, ele deve necessariamente compreendê-las ou dominá-las. Além disso, procuram explicar claramente o que significa 'compreender' uma idéia científica a partir de quatro condições para a compreensão propostas por Smith e Siegel (2004): conectividade, atribuição de sentido, aplicação e justificação.

De acordo com estes critérios, a compreensão de uma teoria científica implica que o aluno possa: (1) identificar e relacionar os conceitos envolvidos, de modo a poder (2) atribuir significado a estes conceitos, com base nas interconexões entre eles; (3) ser capaz de aplicar a teoria numa variedade de situações, tanto acadêmicas quanto não-acadêmicas; (4) apreciar algumas das razões que a justificam, que a tornam a explicação científica mais aceita para um dado fenômeno, com base em sua consistência empírica e teórica.

El-Hani e Mortimer (2007) reconhecem que o requisito posto por estas condições, mais especificamente pela condição da aplicação, coloca alguns problemas para a defesa de que o ensino de ciências não demanda a crença nas idéias científicas, mas deve ter como objetivo apenas a compreensão dos modelos, conceitos e das teorias científicas: Será que um estudante, ao considerar uma idéia científica falsa, tenderá a aplicá-la, mesmo que esta idéia tenha se mostrado inteligível e feito sentido para ele? É provável que não. Se este for o caso, devemos dizer, então, que ele não compreende a idéia, mesmo que os outros três critérios tenham sido satisfeitos? Como é possível promover nos estudantes a aplicação de idéias científicas em circunstâncias tais, em que o conflito entre o discurso da ciência e a visão de mundo dos estudantes não permite que a compreensão seja seguida de crença, e em que existam justificativas convincentes a favor da necessidade de tal aplicação? Este poderia ser o caso, por exemplo, de determinadas idéias de natureza científica sobre higiene, as quais, se não forem aplicadas pelos estudantes, poderão sujeitá-los a certas enfermidades.

Estes problemas se traduzem em um dilema central para a educação científica culturalmente sensível e focada na compreensão como objetivo: Como podemos **evitar** o requisito de que os estudantes mudem suas crenças ao aprender ciências e, ainda assim, pretender que eles apliquem em suas vidas o que aprendem na sala de aula? O problema reside no fato de que não podemos abrir mão desta última meta, a de que os estudantes apliquem os conhecimentos científicos em suas vidas cotidianas, especialmente em circunstâncias em que esta aplicação têm implicações na qualidade de vida destes estudantes, como já comentamos acima. Este constitui um dos objetivos básico para quase todos os professores de ciências.

Para El-Hani e Mortimer, a concepção da aprendizagem em ciências implicada na abordagem dos perfis conceituais se apresenta como um possível caminho para a resolução deste dilema, oferecendo, deste modo, uma importante contribuição para os debates em torno da educação científica multicultural.

Em relação à resolução do dilema posto pelo requisito da aplicação como condição para compreensão, estes autores argumentam que a abordagem dos perfis conceituais nos ajuda a entender como os estudantes podem aplicar uma idéia científica que eles compreendem em alguns, mas não em todos, contextos de sua vida cotidiana. Retomemos o exemplo do conceito de calor explorado acima. No contexto em que precisamos nos comunicar em uma loja para comprar um casaco, é mais conveniente falarmos em "um casaco quente", empregando a interpretação do conceito de calor encontrada na linguagem cotidiana. No entanto, no segundo caso, em que é preciso decidir qual tipo de copo é o mais adequado para se beber uma bebida gelada em um dia quente, a interpretação científica de calor se mostra mais adequada. El-Hani e Mortimer (2007, p. 679) argumentam que, se auxiliarmos os estudantes a tomarem consciência de seu perfil conceitual de calor e temperatura, após eles terem aprendido a visão científica, eles poderão entender em que contextos da vida cotidiana eles podem aplicar a visão científica que compreenderam.

Portanto, uma das contribuições dos perfis conceituais para a educação científica culturalmente sensível é nos mostrar que a aplicação das idéias científicas em contextos apropriados é mais provável de ocorrer quando o ensino de ciências não só enriquece o espectro de perspectivas disponíveis para os estudantes, ao dar-lhes acesso às idéias científicas, mas também delimita claramente seus domínios de aplicação, tornando o aluno consciente da diversidade de modos de pensar e falar sobre determinados conceitos, assim como da demarcação entre eles (El-Hani; Mortimer, 2007 a).

A ênfase neste segundo objetivo da aprendizagem da abordagem dos perfis conceituais, qual seja, a tomada de consciência, assim como a base pragmática em que esta abordagem se apóia, nos permite enfrentar outros desafios postos à educação científica culturalmente sensível. Enfocaremos, especificamente, aquele sugerido pela crítica de Hoffmann (2007) à tese de El-Hani e Mortimer (2007a) de que a educação científica deve evitar ter como objetivo a mudança de crenças pelos estudantes e se restringir à promoção da compreensão das idéias científicas. Hoffman (2007, p. 689), apoiando-se na definição de Platão de que o conhecimento é uma crença verdadeira justificada, coloca a questão de se é possível aprendizagem sem que haja mudança de crenças, uma vez que a crença constituiria uma condição necessária para o conhecimento, de acordo com tal definição.

El-Hani e Mortimer (2007b), em sua resposta a Hoffmann, concordam com este autor no que diz respeito à premissa de que a crença constitui uma condição para o conhecimento e admitem que ela coloca problemas para o modo como entendem os objetivos de uma educação científica culturalmente sensível. No entanto, não concordam com o argumento de Hoffmann de que, se um aspecto central da aprendizagem é o desenvolvimento de conhecimento, e se a crença é uma condição para o conhecimento, abrir mão da mudança de crenças como objetivo do ensino de ciências, é "dizer 'Adeus' para a idéia de aprendizagem" (Hoffmann, 2007, p. 690).

El-Hani e Mortimer (2007b) argumentam que há uma falha na visão de aprendizagem de Hoffmann: os estudantes não encaram o desafio de decidirem se crêem ou não em alguma coisa sem antes entenderem o que é esta coisa. Portanto, a crença em algo sempre decorre da compreensão. No entanto, há situações em que, mesmo tendo compreendido alguma proposição, não acreditamos que ela seja o caso, apenas porque temos uma visão alternativa acerca do mesmo assunto, a qual nos leva a crer que outra proposição é verdadeira. El-Hani e Mortimer argumentam que é justamente nestas situações em que insistir na mudança de crenças pode não ser produtivo.

Do ponto de vista da abordagem dos perfis conceituais, mesmo nestas circunstâncias, em que a compreensão não leva diretamente à mudança de crenças, é possível haver aprendizagem, ao contrário do que pressupõe Hoffmann. Mesmos nestes casos, é possível que os estudantes se apropriem das idéias científicas que tenham compreendido, sem que abram mão de idéias, crenças, alternativas, desde que tenham clareza dos domínios de aplicação dos diferentes sistemas de crenças e conhecimentos que cada uma das zonas de um perfil conceitual representa. Promover esta tomada de consciência é um dos objetivos de ensino, segundo a abordagem dos perfis conceituais.

Em um estudo que realizamos com estudantes protestantes de um curso de licenciatura em Ciências Biológicas (Sepúlveda, 2003; Sepúlveda; El-Hani, 2004; El-Hani; Sepulveda, 2010), foram identificadas estratégias utilizadas para administrar a convivência entre os conhecimentos científico e religioso que indicam a possibilidade de apropriação de idéias científicas via demarcação de contextos de aplicação de diferentes sistemas de conhecimento.

Entre cinco estudantes investigados, três reconheciam, com maior ou menor clareza, que o conhecimento bíblico é epistemologicamente distinto do conhecimento científico e conseguiam distinguir os domínios de aplicabilidade dos discursos da ciência e da religião.

Ao encontrarem na ciência contribuições que consideravam valiosas para sua compreensão do mundo, estes mesmos alunos não mais se contentavam em apenas

compreender os conceitos científicos e mantê-los disponíveis, para acessá-los quando necessário, e acabavam engajando-se em um processo de efetivamente apreendê-los. Embora o pensamento evolucionista apresente em seu bojo idéias que, na perspectiva destes alunos, se encontravam em desacordo com a orientação geral de sua visão de mundo teísta, eles não só buscavam compreendê-la, como passavam a acreditar em algumas de suas noções centrais, como a própria idéia de que há evolução, a noção de que ela ocorre de maneira gradual, a idéia de descendência comum e a adaptação por seleção natural. Estes estudantes empregavam cotidianamente estas noções com habilidade em seus projetos de iniciação científica em sistemática vegetal, por exemplo, ou nas aulas que ministravam na educação básica, quando procuravam explicar para os seus alunos a evolução de plantas e animais. No entanto, eles não abriam mão da idéia de agência divina sobre o mundo, especialmente, quando se tratava de explicar os acontecimentos de em suas vidas pessoais.

Neste caso, é importante destacar que a compreensão do modelo explicativo darwinista foi suficiente para que estes estudantes se dispusessem a integrar alguns dos princípios e conceitos darwinistas como parte autêntica de seu pensamento. Uma evidência disso é que estes alunos desenvolveram versões pessoais de criacionismo, distintas da concepção de criação divina especial defendida por parte dos ativistas do movimento criacionista, segundo a qual Deus teria criado todos os animais e todas as plantas, e também a espécie humana, separadamente e de maneira especial, em seis dias de 24 horas. Em linhas gerais, estas versões pessoais constituíam modelos de criação divina que propunham que a vida se originou e diversificou por meio de processos que seriam, ao mesmo tempo, guiados por Deus e consistentes com ao menos parte dos princípios estabelecidos pelo darwinismo e pelo pensamento biológico contemporâneo. Estas sínteses entre conhecimento científico e religioso eram vistas por estes alunos como resultados de uma necessidade de foro íntimo e eles declaravam que, normalmente, só as expunham quando solicitados a darem sua opinião pessoal (Sepúlveda; El-Hani, 2004, El-Hani; Sepúlveda, 2010).

Portanto, é possível dizermos que, neste caso, a compreensão das idéias científicas, ao longo da formação acadêmica destes estudantes, levou a uma mudança de crenças. No entanto, esta mudança de crenças é distinta da noção de mudança de crenças implicada no modelo de mudança conceitual, tal como proposta por Posner e colaboradores (1982), e se aproxima mais da noção que pode ser admitida na visão de aprendizagem do modelo de perfis conceituais. Isso porque o que houve, neste caso, não foi a substituição de um conjunto de crenças por outro conjunto diverso, como supõe o modelo de Posner e colaboradores, mas um enriquecimento do espectro de idéias de que os estudantes dispõem para interpretar os

fenômenos naturais, a partir da integração de novas idéias à sua visão de mundo e da promoção de um diálogo entre elas e idéias pré-existentes.

Esperamos que este exame do trabalho de El-Hani e Mortimer (2007) e das críticas a ele proferida tenha esclarecido de que modo a abordagem dos perfis conceituais oferece respostas acerca de qual tipo de aprendizagem deve ser esperada numa educação científica culturalmente sensível. A idéia central de propostas pedagógicas desta natureza é preservada por esta abordagem: a necessidade de se estabelecer um diálogo entre diferentes formas de conhecimento, de modo a tornar claro não só a distinção entre elas, mas também entre os contextos em que elas podem ser aplicadas de maneira mais adequada ou poderosa. Segundo a abordagem dos perfis, os significados que uma palavra apresenta, mas que são diferentes daqueles que possui no âmbito da linguagem social da ciência, não devem ser vistos como "inferiores", mas, sim, considerados "culturalmente adequados para as diferentes esferas da vida nas quais atuamos e falamos" (El-Hani e Mortimer, 2007, p. 678). Desta perspectiva, uma professora de ciências não deve necessariamente se furtar de fazer críticas às idéias do senso comum ou de outras visões culturalmente fundadas, a exemplo da noção de que o calor é proporcional à temperatura, mas deve, no entanto, sempre deixar claro que a validade desta crítica é restrita ao domínio da ciência, ou a contextos em que a perspectiva científica é válida e poderosa. Neste caso, como argumentam El-Hani e Mortimer, a professora deve insistir que a visão que está sendo apreciada criticamente é diferente da científica e bem mais conveniente para falar sobre coisas quentes e frias em determinadas situações da vida cotidiana (mas não em todas). O domínio de validade desta visão não científica decorre de ela ser fortemente enraizada na cultura, ser parte de nossa linguagem cotidiana e possibilitar que nos comuniquemos com eficiência em boa parte das atividades e situações cotidianas.

A evolução é, em especial, um tema cujo ensino demanda uma proposta de educação científica culturalmente sensível, tendo em vista os inúmeros estudos que apontam, como um dos fatores para seu fracasso, a rejeição dos estudantes aos aspectos metafísicos implicados na teoria darwinista da evolução, que muitas vezes conflitam com suas próprias visões de natureza, informadas por outras concepções e discursos sobre o mundo natural, a exemplo do discurso das religiões cristãs (Cobern, 1994, 1996; Smith, 1994; Brem; Ranney; Schindel, 2003; Sepúlveda; El-Hani, 2004, 2006: El-Hani: Sepúlveda, 2010). Portanto, o fato de o perfil conceitual consistir em uma abordagem à aprendizagem conceitual adequada a propostas pedagógicas desta natureza, conforme argumentamos acima, é uma das razões pelas quais apostamos nesta abordagem como referencial teórico-metodológico para compreender o modo como se dá a significação das idéias darwinistas em sala de aula.

1.3. Bases metodológicas para as investigações em perfis conceituais

Como vimos, a noção de perfil conceitual foi proposta por Mortimer (1994; 1995; 2000a) como um modelo para descrever a evolução conceitual das idéias dos estudantes acerca da matéria e suas transformações, ao longo e em decorrência de uma seqüência didática. Nestes trabalhos anteriores, foi proposto, como agenda para a investigação futura, que a noção fosse aplicada ao ensino e à aprendizagem de conceitos de natureza diferente, como, por exemplo, conceitos relacionados a processos em lugar de estruturas, para que pudessem ser reveladas "interessantes facetas da noção de perfil não detectadas através do átomo" (Mortimer, 2000a, p. 358). Desde então, o modelo tem sido aplicado a diferentes conceitos, em sua maioria, nos campos da física e da química, como os conceitos de molécula (Mortimer, 1997), de periodicidade (Gobara e Grea, 1997), de calor (Amaral; Mortimer, 2001), e de espontaneidade e entropia (Amaral, 2004). Mais recentemente, foram construídos perfis para conceitos centrais em outros campos das ciências naturais, que mantêm relações com outras áreas, como a medicina, a sociologia e antropologia, a exemplo do conceito de vida (Coutinho, 2005; Coutinho; Mortimer; El-Hani, 2006; Silva, 2003) e do conceito de morte (Nicoli, 2009; Nicoli; Mortimer, 2009).

À medida que estes estudos foram sendo realizados, a aplicação da noção em investigações relativas ao ensino e à aprendizagem de ciências foi sendo expandida e, conseqüentemente, os princípios metodológicos para a constituição das zonas de perfis conceituais foram sendo consolidados. Nesta seção, pretendemos apresentar um panorama das situações variadas em que a abordagem dos perfis conceituais pode ser empregada como referencial teórico e metodológico em estudos acerca da aprendizagem conceitual em ciências, assim como apontar bases metodológicas que caracterizam investigações que podem ser de fato consideradas como integrantes do programa de pesquisa a respeito de tais modelos. Para tanto, nos valeremos de uma abordagem genética, que, de modo semelhante às seções anteriores, procura descrever a expansão da noção de perfil conceitual desde seu desenvolvimento inicial, sem a pretensão, no entanto, de fazer um apanhado minucioso de todos os estudos realizados até o momento.

Os estudos que se seguiram à proposição da noção de perfil conceitual tiveram, à primeira vista, o objetivo de determinar as zonas que constituem o perfil de alguns conceitos considerados centrais para um determinado campo do conhecimento científico. Nestes estudos, o perfil conceitual foi empregado em primeira instância como um instrumento que

fornece uma descrição organizada e estruturada de idéias a respeito destes conceitos. Como desenvolvimento posterior destas investigações, foram propostas aplicações variadas, para dar conta de diferentes objetivos relativos à pesquisa em ensino de ciências, como mostram os seguintes exemplos: (1) investigar a evolução conceitual dos estudantes em decorrência de uma seqüência didática ou proposta curricular (Mortimer, 1994; 2000; Chauvet, 1994; Sepúlveda; El-Hani; Reis, 2009); (2) servir de parâmetro para a organização de estratégias de ensino (Gobora; Grea, 1997); (3) analisar o processo de aprendizagem em sala de aula (Mortimer, 1994, 2000 a; 2001; Amaral, 2004); (4) estudar como evoluem as zonas de um perfil em uma população específica, o que permite compreender, por exemplo, como uma concepção evolui entre estudantes de um curso de graduação em relação ao outro, em decorrência de suas experiências formativas (Silva, 2006), ou, ainda, como se dá a evolução da intensidade de expressão de zonas de um perfil entre estudantes de comunidades educacionais distintas no que diz respeito à formação cultural (Matos et. al., 2007).

Há ainda sugestões de aplicações do perfil que extrapolam a pesquisa em ensino de ciências em sentido estrito, dizendo mais propriamente respeito ao domínio da epistemologia. Proposições desta natureza foram feitas por Mortimer (1997) em trabalho acerca de um perfil conceitual de molécula. Este é também o caso da proposta feita por Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2007) e Sepúlveda e El-Hani (2009) de que o perfil conceitual de adaptação pode ser uma ferramenta adequada para a compreensão e organização da polissemia semântica em torno deste conceito central no pensamento darwinista, contribuindo, deste modo, para diminuir as ambigüidades e confusões conceituais que esta polissemia pode acarretar na pesquisa em biologia evolutiva.

Mortimer (1997) sugeriu que o modelo dos perfis conceituais poderia trazer contribuições para a química ao oferecer "novas formas de conectar suas fronteiras, reduzindo a distância entre a vida cotidiana e a ciência contemporânea, entre a química e a cultura", uma vez que o perfil dispõe lado a lado concepções cotidianas, conceitos químicos clássicos e modernos, e, assim, fornece um quadro de referência que permite traçar a linha evolutiva dos conceitos. Com base neste argumento, Mortimer sugere duas contribuições do perfil conceitual: (1) auxiliar ao químico no entendimento das formas de pensar usadas pela ciência quando enfrenta problemas diferentes; (2) possibilitar ao estudante conceber a multiplicidade de significados como algo natural na ciência, o que, por sua vez, abria a mente dos estudantes para "outras direções frutíferas" além do realismo.

Seguindo a mesma perspectiva teórico-metodológica de determinação de zonas de um perfil para o conceito de molécula, Amaral e Mortimer (2001) construíram um perfil

conceitual de calor e sugeriram que este modelo poderia ser usado para a análise do processo de aprendizagem deste conceito em sala de aula de ciências.

Em trabalho publicado naquele mesmo ano, Mortimer (2001) empregou as zonas do perfil conceitual de matéria (conforme apresentado em Mortimer, 1994; 2000 a) para analisar a produção de novos significados em sala de aula, a partir da investigação das relações entre formas de pensar e modos de falar, estes últimos caracterizados em termos das noções de gêneros de discurso e linguagem social de Bakhtin (1981; 1986). A partir deste trabalho, foi sugerido, portanto, que o perfil conceitual poderia ser aplicado como ferramenta complementar à análise do discurso produzido em sala de aula de ciências, ao ser integrado a uma teoria analítica do discurso.

Adotando esta proposição, Amaral (2004) construiu um perfil conceitual para espontaneidade e entropia, utilizando-o, em seguida, como ferramenta para compreender como as idéias dos estudantes evoluem em conseqüência de um processo de ensino e aprendizagem, a partir da análise dos discursos que circulam em sala de aula. Para tanto, ela empregou também a estrutura analítica do discurso produzido em sala de aula que foi desenvolvida por Mortimer e Scott (2002; 2003), com o objetivo de caracterizar a forma como os professores interagem com os estudantes pelo uso da linguagem e outros modos de comunicação. Amaral propôs que o uso complementar das zonas de um perfil conceitual e desta estrutura analítica nos permite investigar as relações entre aspectos epistemológicos e aspectos discursivos na produção de significados em sala de aula.

Outra contribuição do trabalho de Amaral (2004) consistiu em dar ênfase à importância de se considerar uma diversidade de idéias e contextos em que elas são produzidas ao construir um modelo de perfil conceitual. Amaral desenvolveu uma fundamentação teórica para esta proposta metodológica, pautando-se na proposição de Vygotsky de um método genético para a análise dos processos mentais humanos, assim como no desenvolvimento ulterior desta proposta vygotskyana por Wertsch (1993).

Amaral (2004) levantou os compromissos epistemológicos que estiveram presentes no desenvolvimento das concepções de matéria e transformação relacionadas com o modo de pensar a espontaneidade dos processos químicos e físicos na história das ciências. Com base neste referencial, discutiu as idéias que os alunos apresentavam sobre reações químicas e espontaneidade no contexto do ensino e da aprendizagem. Orientada pelas categorias epistemológicas propostas por Bachelard nas obras *A formação do espírito científico* (1938/1996) e *O racionalismo aplicado* (1949/1977), Amaral classificou as diferentes

concepções de entropia e espontaneidade e identificou três níveis de compreensão destes conceitos, propondo para cada nível uma ou mais zonas de um perfil.

Uma expansão desta contribuição de Amaral (2004) à metodologia de constituição das zonas de um perfil foi realizada por Coutinho (2005), ao propor que esta metodologia deve apoiar-se numa relação dialógica entre os dados advindos de diferentes fontes – da história das ciências, dos estudos epistemológicos do conceito, da literatura sobre concepções alternativas e de dados empíricos primários, obtidos, por exemplo, através de entrevistas e questionários. Coutinho levantou algumas categorias referentes a possíveis estratégias para definir vida a partir de estudos epistemológicos e históricos, da literatura sobre concepções alternativas e da análise de livros didáticos. O diálogo constante entre estes referenciais e um conjunto de dados obtidos em questionários e entrevistas com alunos de graduação e pós-graduação em biologia possibilitou a elaboração inicial de sete categorias expandidas sobre a compreensão do vivente. Esta análise foi operacionalizada pela criação de um referencial baseado em formas de expressão recorrentes no discurso dos alunos. Uma segunda análise dessas categorias expandidas mostrou que as mesmas poderiam ser reduzidas a três categorias: (1) Externalismo – a vida é entendida como algo exterior, ou que tende ao exterior, do vivente; (2) Internalismo – a vida é entendida como processo ou propriedades inerentes ao vivente; (3) Relacional – a vida é entendida como uma relação de entidades ou sistemas e/ou a definição é dada em termos de relações de conceitos. Estas constituíram, então, as zonas consideradas no modelo de perfil conceitual de vida proposto por Coutinho.

O trabalho de Coutinho trouxe, portanto, outras duas contribuições: (1) apontar a importância da síntese de categorias obtidas a partir de uma análise de diversas fontes de dados de modo a constituir zonas de perfis; (2) e incluir a busca de modos de expressão recorrentes nas respostas a questionários como um dos procedimentos metodológicos para determinar as zonas de um perfil.

Este segundo princípio metodológico foi empregado também por Nicoli (2009) na caracterização das zonas do perfil conceitual de morte. Nicoli identificou modos de falar típicos das três zonas de seu modelo de perfil conceitual, que emergiram em respostas a questionários por estudantes de quatro cursos de graduação e de uma turma de sétima série do ensino fundamental. Este trabalho nos alertou também para o fato de que, para compor a gênese sociocultural do conceito, além de recorrer a dados relativos à história de seu desenvolvimento e a estudos epistemológicos a seu respeito, em alguns casos, é preciso também recorrer a informações relativas ao tratamento que é dado ao conceito em diferentes

campos do conhecimento, incluindo aqueles externos à área de conhecimento para qual estamos considerando o conceito como central e organizador.

Baseado no trabalho de Coutinho (2005), Silva (2006) propôs uma metodologia de estudo de perfis conceituais a partir de questionários, com o intuito de investigar como evolui a concepção de vida entre estudantes de dois cursos, Ciências Biológicas e Farmácia. Para tanto, desenvolveu um questionário com 18 questões abertas que, em conjunto, continham temas e assuntos diversos, de modo a possibilitar a emergência das diferentes zonas que constitui o perfil de vida proposto por Coutinho. Uma das contribuições deste trabalho foi o desenvolvimento de um procedimento metodológico que permite a realização de estudos sobre o potencial que questões apresentam para acessar determinadas zonas do perfil.

Os trabalhos de Coutinho e Silva apresentam uma peculiaridade em relação à maioria dos trabalhos que aplicaram o perfil conceitual para analisar a evolução das idéias de estudantes. Os demais trabalhos desta natureza, citados até o momento nesta breve revisão (Mortimer, 1995; 2000; Amaral, 2004), acompanharam a evolução longitudinal ou processos microgenéticos das idéias dos mesmos sujeitos, ao longo de um determinado período de formação. Coutinho e Silva, por sua vez, realizaram estudos da evolução de perfis conceituais de estudantes individuais, a partir de cortes transversais em cursos de graduação.

Coutinho, El-Hani e Mortimer (2005), com base na análise das respostas a um questionário, construíram perfis individuais para uma amostragem de estudantes cursando o primeiro, terceiro, quarto e quinto semestre de um curso de graduação em Ciências Biológicas. A partir da comparação dos diferentes "perfis" encontrados em cada período do curso, os autores identificaram uma tendência de aumento da manifestação de uma das zonas do perfil de vida, a zona internalista, ao longo do curso. Com base neste resultado, propuseram que "a noção de perfil conceitual também pode ser utilizada na análise da evolução de um conceito em um grupo por meio de um corte transversal" (Coutinho, El-Hani; Mortimer, 2005, p. 9). Silva (2006) usou um procedimento metodológico semelhante, ao coletar, em um mesmo momento, respostas a questionários por estudantes cursando diferentes períodos do curso, para investigar a evolução de perfis individuais nos cursos de Biologia e Farmácia por meio de uma série de cortes transversais.

A despeito desta variedade de situações de pesquisa em que o perfil conceitual pode ser aplicado, bem como dos desenhos metodológicos a partir dos quais tais investigações produzem seus resultados, há princípios metodológicos que foram sendo consolidados e que nos permitem identificar as pesquisas que podem ser enquadradas no programa de pesquisa sobre perfis conceituais.

O princípio que tem sido mais freqüentemente enfatizado na literatura (Amaral; Mortimer, 2006; Sepúlveda; Mortimer; El-Hani, 2007; Mortimer; Scott; El-Hani, 2009) diz respeito à necessidade de considerar uma diversidade tanto de significados atribuídos a um conceito quanto de contextos de produção de significados, de modo a abarcar pelo menos três dos quatro domínios genéticos que foram considerados por Vygotsky em suas investigações acerca da relação entre pensamento, linguagem e formação de conceitos: sociocultural, ontogenético e microgenético.

Segundo Wertsch (1985), Vygotsky argumentava que o funcionamento das funções mentais humanas só poderia ser propriamente compreendido a partir do exame de seu desenvolvimento em três domínios genéticos: a filogênese, a história sociocultural e a ontogênese. Wertsch (1985, p.54-55), por sua vez, identificou um quarto plano de desenvolvimento examinado por Vygotsky em seus estudos experimentais acerca do desenvolvimento cognitivo, a saber, a microgênese.

A filogênese diz respeito à história evolutiva da espécie, às mudanças da estrutura orgânica, em especial do cérebro, que provêem limites e possibilidades para o desenvolvimento humano. Este é um processo que, para Vygostky, segue os princípios da evolução darwiniana. Na perspectiva vygostkyana, para compreender o desenvolvimento cognitivo humano, deve-se também examinar a influência exercida pela história da cultura em que o sujeito está inserido, mais especificamente, pelas atividades de comunicação simbólica através das quais os humanos produzem coletivamente novos significados para o seu comportamento (Scribner, 1985, p.123 apud Wertsch 1985, p. 32). Esta influência constituiria o domínio sociocultural. O domínio ontogenético, por sua vez, se refere à história do desenvolvimento cognitivo de um membro individual da espécie humana, envolvendo a operação simultânea e inter-relacionada de forças naturais e sociais de desenvolvimento das funções mentais. A microgênese, por fim, diz respeito à história de um determinado fenômeno psicológico, em geral de curto termo, podendo referir-se a eventos de transição genética ou de desdobramento de um ato perceptual e conceitual individual.

Na metodologia de construção de perfis conceituais, a gênese do conceito no domínio sociocultural tem sido estudada a partir das idéias relacionadas ao conceito em foco encontradas na história das ciências (Mortimer, 2000a; Amaral, 2004; Coutinho, 2005), em revisões epistemológicas do conceito e no contexto da produção do conhecimento escolar, especificamente na forma como é abordado em livros didáticos (Coutinho, 2005). Encontramos na ampla literatura produzida pelo movimento das concepções alternativas, principalmente ao longo das décadas de 1970 e 1980, informações a respeito de como

conceitos centrais dos diferentes campos das ciências naturais são aprendidos por estudantes de diferentes idades e, também, de como essas idéias evoluem ao longo da história de sujeitos individuais. Esta literatura tem sido considerada, portanto, uma fonte de dados para o estudo da gênese do conceito no domínio ontogenético. Os dados empíricos colhidos em nossos próprios estudos, através de entrevistas, questionários e filmagens de interações discursivas em sala de aula, têm permitido estudar a gênese de conceitos em curtos períodos de tempo, dando acesso, deste modo, ao domínio microgenético.

Estes dados devem ser examinados de modo a serem identificados compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam formas de pensar e modos de falar sobre os conceitos e, desta forma, possibilitam individualizar zonas de um perfil (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009). O modo como os dados referentes a cada um dos três domínios genéticos são considerados neste processo constitui um segundo princípio metodológico a ser acatado na construção de um modelo de perfil. Tem sido enfatizado na literatura (Amaral; Mortimer, 2006; Coutinho; El-Hani: Mortimer, 2006; Mortimer; Scott; El-Hani, 2009) que o exame deste conjunto de dados deve ser realizado de maneira dialógica, e não seqüencial, no sentido de que os conteúdos encontrados em cada domínio são a todo tempo articulados com os demais.

Esta perspectiva dialógica acerca da relação entre os dados referentes aos diferentes domínios genéticos da formação do conceito se encontra fundamentada na abordagem de Vygotsky à investigação do desenvolvimento das funções mentais humanas.

Um aspecto analisado por Wertsch (1985), que também vem sendo enfatizado nas investigações sobre perfis conceituais (Amaral; Mortimer, 2006), é o fato de Vygotsky advertir que os vários domínios genéticos envolvem diferentes formas de desenvolvimento, cada uma governada por um conjunto particular e único de princípios explanatórios, de modo que não faz sentido traçar paralelos entre eles, nem reduzi-los uns aos outros. Por exemplo, o reconhecimento de que forças naturais e sociais operam simultaneamente no domínio ontogenético, ao passo que, no domínio da história sócio-cultural, as forças sociais funcionam de modo relativamente isolado, levaram Vygotsky a rejeitar a noção de que a ontogênese recapitula a história social. Portanto, ao examinar dados relativos ao desenvolvimento do conceito nos diferentes domínios genéticos, a intenção não é traçar paralelos entre os conteúdos característicos de cada um deles, por exemplo, entre as idéias dos estudantes e aquelas encontradas na história da ciência, mas, sim, articular os conteúdos encontrados em cada domínio, de modo a ter uma visão mais ampla da gênese dos conceitos (Amaral, 2004, p.7; Amaral; Mortimer, 2006, p. 243-244).

Decerto que as fontes referentes à história do desenvolvimento do conceito e as revisões epistemológicas a seu respeito, assim como os dados da literatura sobre concepções alternativas, fornecem um grande suporte para a formulação de hipóteses pelo pesquisador a respeito dos compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam e estruturam as diferentes formas de pensar o conceito. No entanto, estas hipóteses precisam ser constantemente reformuladas, à medida que são considerados os dados empíricos referentes a entrevistas, questionários e registros de interações discursivas em sala de aula. O diálogo com estes dados permite testar o quanto as categorias formuladas a partir da literatura mencionada acima, seja ela referente à história e filosofia das ciências ou às concepções alternativas de estudantes, são de fato encontradas nos enunciados produzidos por pessoas de diferentes universos culturais, em situações reais de comunicação e interação social.

Esta metodologia dialógica de constituição das zonas de um perfil pode abrigar também um caminho inverso ao anterior, no que diz respeito à relação entre dados empíricos e literatura. A partir de um processo parcialmente indutivo, é possível realizar uma categorização inicial dos dados de entrevistas, questionários e filmagens de sala de aula. Os estudos da história e filosofia das ciências, por sua vez, permitem identificar categorias que indicam compromissos epistemológicos e ontológicos que estruturam diferentes formas de pensar. De posse deste referencial, é possível re-interpretar os dados de entrevistas, questionários e interações discursivas em termos de um repertório de compromissos epistemológicos e ontológicos, de modo a obter-se uma caracterização não só de formas de pensar, como também de modos de falar que constituem as zonas do perfil.

Em suma, para investigar as zonas que constituem um perfil conceitual, é preciso ir além de uma categorização dos discursos escrito ou oral (Mortimer: Scott; El-Hani, 2009, p.6), buscando uma compreensão mais ampla da gênese do conceito em diferentes domínios genéticos, bem como de compromissos ontológicos e epistemológicos que estruturam modos de pensar a seu respeito, através de um exame dialógico de dados representativos dos planos de desenvolvimento sociocultural, ontogenético e microgenético.

1.4. Construção do perfil conceitual de adaptação: desenho metodológico da pesquisa

Como vimos na seção anterior, há uma variedade de situações em que o perfil conceitual pode ser aplicado em investigações a respeito da aprendizagem conceitual. Neste estudo, pretendemos avaliar o uso do perfil conceitual de adaptação na investigação da significação dos modelos darwinistas de explicação da diversidade das formas orgânicas em sala de aula, no contexto de uma análise de discurso estruturada a partir da ferramenta

proposta por Mortimer e Scott (2002; 2003). Nossa intenção é dar continuidade às investigações iniciadas por Mortimer e Amaral (Mortimer, 2001; Amaral, 2004; Amaral; Mortimer, 2006) acerca do potencial heurístico do perfil conceitual para uma análise do discurso em sala de aula, de modo a permitir a compreensão da produção de significados, em termos das relações entre formas de pensar e modos de falar.

Para cumprir este objetivo, estruturamos o desenho metodológico deste estudo em três etapas: (1) a constituição das zonas de um modelo inicial de perfil conceitual para adaptação; (2) a aplicação deste modelo inicial à análise discursiva de episódios de ensino; (3) aperfeiçoamento do modelo inicialmente proposto através da caracterização enunciativa das zonas do perfil. Na figura 1, é apresentado de modo esquemático o modo como cada uma destas etapas foi realizada.

Na primeira etapa, é realizado um exame dialógico de diferentes fontes e dados primários que nos permitem compreender a gênese do conceito nos domínios sociocultural, ontogenético e microgenético. Em seguida, é construída uma matriz epistemológica na qual são mapeados todos os aspectos epistemológicos e ontológicos envolvidos na significação do conceito de adaptação que identificamos através deste exame. Nesta matriz, são dispostos temas epistemológicos a partir dos quais o conceito de adaptação pode ser significado e, para cada um deles, é identificado um conjunto de compromissos ontológicos e epistemológicos que estruturam a interpretação desse conceito (Capítulo II, p. 157-159). As categorias produzidas nesta matriz são usadas, então, para que sejam derivadas as zonas do modelo de perfil, a partir de uma combinação de diferentes compromissos ontológicos e epistemológicos, referentes a cada um dos temas epistemológicos identificados.

Na segunda etapa, este modelo inicial de perfil para adaptação é aplicada na análise discursiva de episódios de ensino de evolução, produzidos no contexto do ensino médio. A caracterização das zonas do perfil é empregada para orientar epistemologicamente a análise semântica do discurso, lado a lado com a estrutura analítica desenvolvida por Mortimer e Scott (2002; 2003), para caracterizar o modo como professora e estudantes interagem na produção de novos significados. Como indicamos na introdução, deste modo, pretendemos dar conta das três dimensões do discurso identificadas por van Dijk (1997). Temos a expectativa de que o perfil conceitual auxilie de modo poderoso na investigação da dimensão semântica, enquanto que a estrutura analítica de Mortimer e Scott nos permita integrar esta dimensão às dimensões social e lingüística do discurso produzido em sala de aula.

Os resultados desta análise nos permitem verificar em que medida o modelo de perfil inicialmente construído nos permite caracterizar a interanimação de formas de pensar e modos

de falar sobre a origem e diversidade orgânica ao longo de interações discursivas em sala de aula. De posse desta avaliação, é possível propor, então, um aperfeiçoamento do modelo, realizado na terceira etapa da pesquisa, a partir da caracterização das zonas em termos de modos típicos de falar sobre o conceito de adaptação.

Com este desenho metodológico, além de investigar o potencial heurístico do perfil conceitual como ferramenta para a análise da dimensão cognitiva do discurso produzido em salas em aula de Ciências, pretendemos propor um percurso metodológico para a construção de modelos de perfis conceituais. Nossa proposta metodológica é a de que, de um modo dialético, o perfil conceitual informem a análise do discurso produzido em sala de aula e os dados produzidos por esta análise informe, por sua vez, o aperfeiçoamento do modelo inicial de perfil, ao permitir uma caracterização enunciativa mais robusta das zonas do perfil. Desse modo, perfis conceituais podem ser aprimorados, como qualquer modelo, por meio de ciclos de construção, aplicação e revisão.

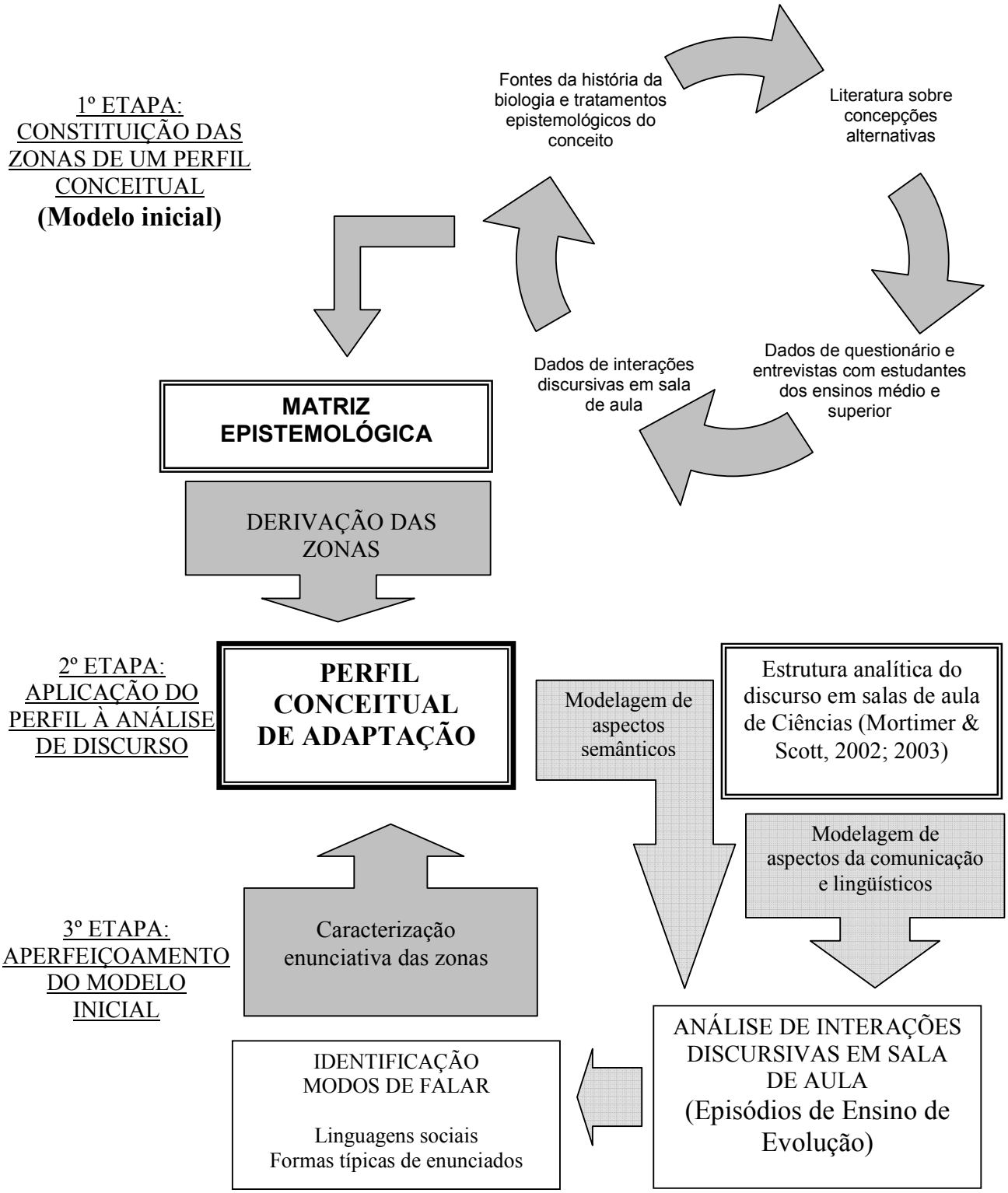
Nos estudos de Coutinho (2005) e Nicoli (2009), a caracterização dos modos de falar típicos de cada zona foi feita com base na análise de modos de expressão recorrentes em respostas a questionários. Em nossa pesquisa, estamos propondo que esta caracterização possa ser realizada não só com base em respostas a questionários, mas também, e *principalmente*, a partir de dados advindos da análise de interações discursivas em sala de aula. Além disso, pretendemos não só identificar os modos de falar típicos de cada zona, como fizeram os referidos autores, mas também buscar uma forma de descrevê-los em termos das noções de linguagem social e gênero de discurso de Bakhtin.

Deste modo, pretendemos contribuir com duas das três tarefas a serem enfrentadas pelo programa de pesquisa sobre perfis conceituais, conforme análise de El-Hani; Mortimer (2007, p. 677): (1) determinar as zonas que constituem o perfil de conceitos centrais na compreensão de um campo do conhecimento científico – neste caso, um conceito central para a biologia evolutiva; e (2) investigar a relação entre formas de pensar e modos de falar na produção de significados em sala de aula.

No capítulo seguinte, será descrito em maior detalhe o percurso que realizamos ao longo da primeira etapa da pesquisa. Serão descritas as fontes de dados que foram consultadas para que pudéssemos compreender a gênese do conceito de adaptação nos domínios sociocultural, ontogenético e microgenético, assim como os instrumentos e procedimentos metodológicos para produzir os dados empíricos através de entrevistas e questionários. Em seguida, apresentaremos os dados obtidos a partir destas fontes e o modo como foram sendo identificados os compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam diferentes

formas de pensar a origem e diversificação da forma orgânica que constituem as zonas do modelo proposto de perfil de adaptação.

Figura 1: Etapas do desenho metodológico da investigação sobre modelo de perfil conceitual de adaptação e seu uso na análise de interações discursivas em sala de aula



CAPÍTULO II:
Constituição das zonas do perfil: capturando a polissemia do conceito de adaptação nos diferentes domínios genéticos e contextos de ensino

Neste capítulo pretendemos descrever o percurso que nos levou a proposição de categorias a partir das quais foi construída nossa proposta inicial de perfil conceitual de adaptação. Será apresentado o exame de dados referentes aos três domínios genéticos, sociocultural, ontogenético e microgenético, o processo de identificação de um conjunto de compromissos ontológicos e epistemológicos que estabilizam formas de pensar o conceito de adaptação, e a organização destes dados em uma matriz epistemológica. A partir desta matriz são definidas as categorias expandidas, com base nas quais foram constituídas as zonas de um perfil para adaptação, caracterizadas no próximo capítulo. Este percurso refere-se à realização da primeira etapa da pesquisa, conforme proposto na Figura 1 (p. 64).

Ao longo de quatro seções, apresentaremos as fontes de dados que foram consultadas para que pudéssemos compreender a gênese do conceito de adaptação em diferentes contextos de produção e domínios genéticos. Na primeira seção examinamos a gênese sociocultural do conceito de adaptação, a partir da análise do desenvolvimento histórico deste conceito, desde a teologia natural do século XVII às controvérsias contemporâneas a respeito do programa adaptacionista, e ainda a partir da análise de estudos epistemológicos a seu respeito. Em seguida, apresentamos uma análise da literatura sobre concepções de estudantes acerca de conceitos da biologia evolutiva, e investigações sobre processos de aprendizagem em evolução. Na terceira seção, apresentamos os resultados obtidos em entrevistas realizadas com alunos do ensino médio de uma escola pública da periferia de Salvador, e os dados obtidos a partir do registro de interações discursivas em sala de aula de Biologia nesta instituição de ensino. Na quarta seção, analisamos as respostas de estudantes do ensino superior a um questionário sobre conceito de adaptação e dados obtidos em registros de interações discursivas em uma aula sobre os conceitos que estruturam o pensamento darwinista com uma turma do segundo semestre de um curso de licenciatura em Ciências Biológicas.

Por fim, na quinta seção deste capítulo, como resultado do exame dialógico dos dados apresentados em cada uma das quatro seções anteriores, identificamos os temas epistemológicos a partir dos quais a polissemia em torno do conceito de adaptação pode ser organizada. Para cada um destes temas, apresentamos um conjunto de compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam formas de pensar este conceito. Estes compromissos são sistematizados e nomeados em categorias expandidas, e organizados em uma matriz epistemológica.

2.1. A gênese sócio-histórica do conceito de adaptação[9]:

Para investigarmos a gênese do conceito de adaptação no domínio sociocultural, nos baseamos em dados extraídos de fontes secundárias sobre a história da biologia e, especialmente, em análises epistemológicas deste conceito. Com base nestes estudos epistemológicos, selecionamos alguns períodos da história do pensamento evolutivo que consideramos fundamentais para o entendimento de como as diversas formas de pensar o conceito de adaptação se desenvolveram. Foram abordados os seguintes períodos: emergência da teologia natural britânica do século XVII, naturalismo pré-darwinista do século XIX – Lamarck, Cuvier, Saint-Hilaire –, Darwinismo original (1859-1890), Eclipse do Darwinismo (1890-1920), desenvolvimento da teoria sintética da evolução (1930 até os dias atuais), a crise do conceito de adaptação (1960 e 1970) e os debates contemporâneos entre adaptacionistas e pluralistas (década de 1960 em diante). Procuramos considerar os pontos de vista de mais de um historiador da biologia, bem como de filósofos da ciência e biólogos evolutivos.

A seguir, apresentaremos uma narrativa em que descrevemos nossa interpretação destes períodos da história da biologia, ao longo e ao final da qual, destacamos alguns compromissos epistemológicos e ontológicos que estruturaram formas de pensar adaptação, assim como temas epistemológicos em torno dos quais tem sido gerada polissemia em relação a este conceito.

O conceito de adaptação precede o darwinismo (Amundson, 1996). O fenômeno da adaptação, o ajuste estrutural aparentemente perfeito da forma orgânica, constituiu o foco central da teologia natural do século XVII. Neste contexto, a adaptação era interpretada de maneira a sustentar o argumento do desígnio ou planejamento, de acordo com o qual cada organismo teria sido meticulosamente projetado para um papel definido na economia da natureza, pela ação criadora inteligente de Deus, de modo que cada uma de suas estruturas se encontraria perfeitamente ajustada à sua função. Esse argumento se encontra, por exemplo, na obra *Natural Theology* de Paley (1802).

Além da origem na teologia natural, para entendermos o desenvolvimento do conceito darwinista de adaptação é importante analisarmos a sua relação com a busca por explicações para a diversidade, complexidade e funcionalidade da forma orgânica e às disputas em torno de explicações alternativas para estes fenômenos, ao longo do século XVIII.

---

[9] O texto desta seção foi construído com base em artigos desenvolvidos e publicados (ou enviados para publicação) durante a realização do curso de Doutorado, e em co-autoria com os professores Charbel Niño El-Hani (UFBA) e Diogo Meyer (USP). Ver Sepúlveda e El-Hani (2007), Sepúlveda e El-Hani (2008), Sepúlveda, Meyer e El-Hani (no prelo).

Na interpretação de historiadores da biologia como Ospovat (1981) e Amundson (1996), o contexto teórico da biologia que antecedeu, na Inglaterra, a publicação de *Origem das Espécies* por Darwin pode ser caracterizado pelo debate acerca do modo como deveriam ser explicadas as estruturas orgânicas particulares dos animais – se prioritariamente aludindo-se à função que desempenham e sua adaptação às condições internas e externas à vida, ou se a partir da comparação com estruturas correspondentes e similares em outros animais que apresentam o mesmo plano corporal. Estas duas perspectivas foram designados por Ospovat (1981) 'teleológica' e 'anti-teleológica' e por Amundson (1996) 'adaptacionismo' e 'estruturalismo'.

Para estes historiadores, a versão inglesa de tal debate foi estimulada e antecedida pela disputa na França entre George Cuvier e Étienne Geoffroy St. Hilaire. Seguindo a tradição dos morfologistas germânicos, St. Hilaire concebia como fato central na biologia a existência de padrões estruturais que perpassavam todas as formas vivas. Partindo do princípio da unidade do tipo, ou seja, da noção de que todos os animais são compostos essencialmente pelos mesmos elementos estruturais, St. Hilaire propunha que a origem das estruturas orgânicas particulares em um animal deveria ser explicada a partir da correlação com estruturas similares e correspondentes em outros animais do mesmo grupo taxonômico. Cuvier, por sua vez, concebia o organismo como um todo funcional cuja estrutura satisfaz suas próprias condições de existência e defendia, assim, que as similaridades estruturais entre as espécies, mesmo aquelas que faziam com que os naturalistas as agrupassem num mesmo grupo taxonômico, existiam apenas porque as espécies apresentavam necessidades adaptativas similares. Cuvier propunha, então, que a existência de tais correlações estruturais deveria ser interpretada em termos funcionais: as características morfológicas e comportamentais deveriam ser explicadas em termos das funções que assumem, de modo "a tornar possível a existência do ser como um todo, não apenas em si, mas em sua relação com seu entorno" (Cuvier, 1817, *apud* Ospovat, 1981, p. 8)

Caponi (2006) apresenta uma interpretação alternativa àquelas propostas por Amundson e Ospovat para o cenário que antecedeu a publicação da Origem das Espécies. Este autor discorda da interpretação de Amundson (1996) e Gould (2002) de que teria existido um adaptacionismo pré-darwinista. Analisando os problemas que interessavam aos naturalistas pré-darwinistas, Caponi (2006) concluiu que as análises da história natural imediatamente anterior à revolução darwiniana eram muito mais ricas em descrições anatômicas e fisiológicas do que em narrações adaptacionistas.

Caponi (2006) argumenta que o funcionalismo de Cuvier, não implica em uma abordagem adaptacionista ou utilitarista da forma, uma vez que as características morfológicas e comportamentais, incluindo aquelas que hoje consideraríamos estruturas adaptativas e estratégias de sobrevivência, não eram explicadas por Cuvier em termos dos desafios ambientais que os organismos têm de responder, mas como o resultado necessário das leis de coexistência (entre as partes num todo funcional) que regem a fisiologia dos organismos. Em *Régne Animal*, Cuvier explicava o princípio das condições de existência do seguinte modo:

> Como nada pode existir se não reúne as condições que tornam sua existência possível, as diferentes partes de cada ser devem estar coordenadas de maneira que tornem possível o ser total não só em si mesmo, mas também em relação ao que lhe rodeia (Cuvier ,1817, p. 6 apud Caponi, 2002, p. 81).

Como é possível concluir desta citação, para Cuvier é preciso considerar também a inserção do organismo em seu entorno para se compreender a coerência interna do sistema orgânico. Caponi (2006, p.19) argumenta que, no entanto, ao contrário de uma perspectiva adaptacionista, em Cuvier, tal inserção é a conseqüência e não a causa da organização:

> Não é em resposta a um desafio ambiental que um predador se torna um animal rápido e astuto, se não pelo fato de sua própria fisiologia de carnívoro lhe impor essas características. (Caponi, 2006, p. 18).

Esta abordagem é designada por Caponi (2006, p. 20) de funcionalismo organicista. Neste caso, temos a fusão de dois compromissos epistemológicos. O primeiro deles consiste em uma teleologia intra-orgânica, a partir da qual a existência das estruturas é explicada em virtude de seu papel causal na preservação da harmonia intra-orgânica (Caponi, 2002, p. 59). O segundo compromisso consiste em uma perspectiva organísmica ou fisiológica, a partir da qual o organismo individual é considerado o lócus privilegiado e até exclusivo do fenômeno biológico. De acordo com a análise feita por Caponi (2002; 2005), esta perspectiva estrutura o modo como toda a filosofia natural pré-darwinista investigava a diversidade da forma orgânica.

Caponi (2006) argumenta que, tanto entre os teólogos naturais, como entre os naturalistas do século XVIII, fossem aqueles considerados adaptacionistas ou aqueles considerados estruturalistas por Amundson (1996), não havia o problema da adaptação tal como construído nos termos darwinistas. Ao investigar-se a estrutura orgânica não se tinha em vista, ou como foco, o ajuste dos organismos aos problemas impostos pelo ambiente, incluindo àqueles derivados das relações dos organismos entre si. Além da perspectiva organísmica e da teleologia intra-orgânica, as quais nos referimos acima, outro compromisso ontológico dificultava a formulação deste problema. Assim como a Teologia Natural de Paley, o pensamento de Cuvier, de Isidore

Geoffroy de Saint-Hilaire e, sobretudo, o de Lamarck, encontravam-se compromissados com a idéia de que cada estrutura biológica estava disposta de tal forma a permitir que cada organismo ocupasse seu lugar e cumprisse seu papel na economia natural. Á luz deste compromisso, não é possível pensar as variações morfológicas, tal como no pensamento darwinista, "como vantagens ou desvantagens em um mundo de muitos inimigos e poucos aliados" (Caponi, 2006, p. 31), uma vez que o princípio da economia natural pressupõe que "a natureza está sempre em um equilíbrio capaz de garantir a perpetuação de todas as espécies por um jogo de complexas relações de mútua solidariedade". Como argumenta Caponi (2006), o tema da economia natural limitava a agenda da história natural do séc. XVIII e mesmo da primeira parte do século XIX, ao tornar "desnecessária a questão de como os diferentes seres vivos conseguiam conservar ou conquistar seu lugar na natureza", uma vez que se suponha que este lugar já se encontrava garantido, sendo de se esperar, portanto, que os organismos estivessem devidamente dotados para ocupá-lo e exercê-lo.

O fato é que noção de luta pela existência, central no pensamento darwinista, esteve ausente entre os naturalistas da primeira metade do século XIX, de modo que não era possível pensar os fatores ambientais como exercendo o papel de agente seletivo, tal como pressuposto na teoria da seleção natural, como analisaremos melhor adiante. Segundo a análise de Caponi (2006), os naturalistas pré-darwinistas tendiam a explicar a relação entre ambiente e as peculiaridades morfológicas dos seres vivos a partir de efeitos diretos dos fatores climáticos ou, mas em geral, atmosféricos, nos perfis orgânicos dos seres vivos. Desta perspectiva, muitos dos traços adaptativos, que para Darwin estavam relacionadas à luta pela existência, eram vistos por Buffon, Lamarck, Cuvier e outros historiadores naturais do século XVIII, como resultados do efeito direto do clima e da dieta alimentar nas estruturas orgânicas, ao atuarem sob os processos fisiológicos que ocorrem nos organismo individuais.

Caponi (2006) argumenta que as referências a peculiaridades morfológicas nos escritos de Lamarck têm sido, erroneamente, interpretadas como exemplos de adaptações, em decorrência de lermos Lamarck "como se fosse um autor que trata do problema da adaptação para lhe dar uma solução insatisfatória" (Limoges, 1976, p. 48 apud Caponi, 2006, p. 15). Caponi (2006) defende que ao abordar exemplos do que hoje consideraríamos adaptações, Lamarck o fazia como um recurso para explicar porque as formas vivas não podiam ser sucessivamente alinhadas em uma série de complexidade e perfeição crescente. Este era o verdadeiro problema de Lamarck: defender a cadeia dos seres vivos.

A luz da tese de Foucault de que o materialismo iluminista não conseguiu romper com a crença na ordenação racional do mundo natural da tradição judaico-cristã, Bowler (1989, p.55) propõe que o compromisso com a idéia de grande cadeia de seres vivos consistiu em um dos obstáculos para o desenvolvimento de uma concepção evolucionista mais próxima do

Darwinismo no século XVIII. A grande cadeia de seres vivos estava fundada na idéia de que a diversidade de espécies se encontra agrupada em uma cadeia linear de seres, na qual cada espécie se encaixa naturalmente dentre uma hierarquia que se estende do homem até a forma mais simples. Tal arranjo consiste num sistema fechado de relações, que implica a idéia de progresso em direção a um fim predeterminado.

Lamarck se manteve, em certa medida, compromissado com esta idéia (Bowler, 1989), no entanto, injetou o elemento tempo na versão originalmente estática do plano da criação, que a noção da cadeia de seres vivos, proposta no seio da teologia natural, por exemplo, pretendia representar. De acordo com a versão temporalizada da cadeia proposta por Lamarck, a disposição linear dos organismos segundo níveis crescentes de organização refletia a transformação gradual, ao longo do tempo, de organismos simples, originados por geração espontânea, rumo a maior grau de complexidade.

Esta tendência inerente da vida em aumentar de complexidade e organização era o principal mecanismo explicativo para a origem da diversidade orgânica no pensamento de Lamarck. No entanto, havia um problema a ser resolvido: como explicar a existência de formas orgânicas que apresentavam peculiaridades divergentes dos planos básicos de organização, de modo a gerar imperfeições na seqüência linear de níveis de organização e graus de complexidade. Estas peculiaridades morfológicas foram, então, interpretadas como modificações sofridas pelos organismos em virtude de circunstâncias ambientais. O ambiente forçaria os seres vivos a mudar de hábitos, movidos pelas necessidades fisiológicas, a exemplo da alimentação. Esta mudança de hábitos resultaria em mudanças no padrão de uso e desuso de órgãos. Estes novos padrões de uso e desuso, a partir de causas mecânicas, como novos movimentos de fluidos corporais, poderiam levar ao desenvolvimento ou atrofia de estruturas orgânicas. Tais modificações morfológicas, ocorridas no nível do organismo individual, passam à espécie através da herança de caracteres adquiridos.

Portanto, as peculiaridades morfológicas referidas por Lamarck não eram vistas, propriamente, como recursos ou estratégias para enfrentar problemas impostos pelo ambiente, mas sim, como deformações produzidas pelas condições em que as formas de vida se desenvolviam (Caponi, 2006, p. 15). Caponi nos apresenta a explicação dada por Lamarck para o tamanho e forma dos quadrúpedes herbívoros, como um exemplo a partir do qual podemos constatar com maior clareza essa interpretação acerca do pensamento lamarckista:

> Estes animais, nos diz, além de possuir o "hábito de consumir, todos os dias, grandes volumes de matéria alimentar que distendem os órgãos que os recebem"; possuem também o hábito de "não fazer mais que movimentos medíocres" e disso "resultou que os corpos destes animais engrossaram consideravelmente, tornaram-se pesados e maciços, e adquiriram um volume muito grande como se vê em elefantes,

> rinocerontes, vacas, búfalos e cavalos (Lamarck, 1809/1994, p. 229 apud Caponi, 2006, p. 15-16).

Outra citação, retirada da *Philosophie zoologique* e reproduzida por Martins (1997, p. 37 e 38), apresenta mais explicitamente o pensamento de Lamarck a este respeito:

> Não são os órgãos, quer dizer, a natureza e as partes de um animal que originam seus hábitos e suas faculdades particulares, mas são ao contrário, sua maneira de viver e as circunstâncias nas quais se encontram esses indivíduos que, com o tempo, constituem a forma de seu corpo, o número e o estado de seus órgãos, enfim as faculdades que gozam.

Na interpretação de Caponi (2006), esta visão de Lamarck acerca da origem e diversificação da forma orgânica, está mais próxima à temática de "degeneração" de Buffon do que da temática darwiniana da adaptação, podendo ser considerada uma generalização e uma radicalização do "transformismo" insinuado por Buffon ao sugerir a plausibilidade de considerar um asno como um simples cavalo degenerado pelos efeitos do clima e da alimentação acumulados ao longo de gerações.

Com base nestes argumentos, Caponi (2005; 2006) propõe que o caminho esclarecedor para entender-se a história da biologia evolutiva, não reside na dicotomia estruturalismo-funcionalismo, destacada por Amundson (1996), Ospovat (1981) e Gould (2000), mas sim, na oposição entre a perspectiva fisiológica, a qual dirigiu todo o campo das ciências da vida, desde Aristóteles até Cuvier, passando por Lamarck e Geffroy Saint-Hilaire, e a perspectiva populacional, que emergiu com a explicação darwiniana dos processos evolutivos.

Esta perspectiva fisiológica esteve associada à perspectiva mais geral de se considerar o organismo como o *locus* privilegiado do fenômeno biológico, a qual atribuiu a teorias evolutivas não-darwinistas, a exemplo da teoria de Lamarck, um caráter transformacional (Caponi, 2005, p. 234).

Conforme explicam Levins e Lewontin (1985), Sober, (1993) e Caponi (2005), as teorias transformacionais explicam a evolução de um sistema em virtude de mudanças simultâneas e conjugadas de todos os componentes dos sistemas, ou seja, a mudança evolutiva é entendida como o resultado de transformações que ocorrem simultaneamente em todos e em cada um dos membros individuais da espécie. Em Lamarck, são as modificações sofridas no curso de vida dos organismos individuais que produzem evolução da espécie. A teoria darwiniana de evolução, por sua vez, propõe uma explicação variacional ou selecional para a mudança evolutiva. Neste caso, as mudanças de um sistema são explicadas em virtude da mudança nas proporções de seus componentes, e não em virtude, de seus componentes individuais sofrerem transformação. Parte-se do pressuposto que os componentes variam entre si em certas características; e o sistema como um todo muda devido a uma alteração na

representação proporcional das diferentes variantes, cujas propriedades específicas permanecem inalteradas. Lewontin exemplifica a forma distinta com que a mudança evolutiva é explicada pelo modelo variacional em relação à explicação de caráter transformacional, aplicando-o ao surgimento da resistência de insetos aos inseticidas:

> Se os insetos estão se tornando mais resistentes aos inseticidas não é porque cada indivíduo adquire níveis cada vez mais altos de resistência durante sua vida, mas sim porque as variantes resistentes sobrevivem e se reproduzem, enquanto os organismos suscetíveis morrem (Lewontin, 2002, p. 15).

Após esta análise do caráter transformacional das teorias evolutivas não-darwinistas, produzidas no seio de uma filosofia natural compromissada com a perspectiva fisiológica de investigar a vida, Caponi (2005) argumenta que a grande ruptura entre o darwinisno e a biologia precedente não deve ser entendida em termos da oposição entre pensamento tipológico e pensamento populacional, como propõe Mayr (p. ex., 1982), mas sim mais propriamente na oposição entre visões transformacionais e variacionais.

Consideramos a interpretação de Caponi (2006) acerca das explicações para a forma orgânica propostas por Buffon, Lamarck, Cuvier e Geffroy Saint-Hilaire, não só plausível, como frutífera, e concordamos com a sua tese de que não houve um adaptacionismo pré-darwinista, tal como defendido por Amundson (1996) e Gould, (2002). Entretanto, nossa visão é de que cada uma das dicotomias, acima citadas – visões estruturalistas vs. funcionalistas, correlação funcional intra-orgânica vs. princípio da utilidade, perspectiva fisiológica vs. pensamento populacional, pensamento tipológico vs. pensamento populacional, explicações transformacionais vs. explicações variacionais - iluminam aspectos importantes do desenvolvimento do conceito darwinista de adaptação. No caso particular da oposição entre estruturalismo e funcionalismo, por exemplo, concordamos com Caponi (2006) de que ela não é adequada para descrever o cenário intelectual que antecedeu *A origem das Espécies*. Entretanto, entendemos que a busca pela superação de tal dicotomia, e pela síntese entre forma e função, tem sido um requisito fundamental na construção atual de uma compreensão da evolução pautada por um pluralismo de processos (Sepulveda; El-Hani, 2008; Sepúlveda, Meyer; El-Hani, no prelo). No caso do nosso estudo, considerar e investigar cada uma destas oposições foi bastante heurístico para a identificação de compromissos epistemológocos e ontológicos que estruturam formas alternativas de explicar a diversidade orgânica e, portanto, de pensar o conceito de adaptação, não só no domínio sócio-cultural, como nos domínios ontogenético e microgenético.

Para entendermos melhor o significado e o papel destas dicotomias na gênese do conceito darwinista de adaptação é preciso analisar mais detidamente como Darwin se posicionou em

relação às explicações para a forma orgânica que existiam a sua época, e que rupturas epistemológicas sua teoria da evolução realizou em relação às explicações para origem e diversidade da forma orgânica pré-existentes, algumas das quais, já foram antecipadas através da análise de Caponi (2005; 2006) acerca das investigações realizadas por naturalistas do séc. XVIII que antecederam a Darwin.

De acordo com Mayr (2005), o que freqüentemente chamamos de Teoria Darwinista da Evolução, é na verdade um conjunto de cinco teorias, a saber, a noção de evolução propriamente dita, descendência comum, caráter gradual, especiação populacional e seleção natural.

Através deste conjunto de teorias, Darwin assumiu o desafio de explicar de modo naturalista não só a origem da diversidade das espécies como também a complexidade estrutural da forma orgânica. Como podemos concluir do trecho da *Origem das Espécies* reproduzido abaixo, Darwin considerava que a credibilidade de qualquer teoria evolutiva dependia do poder de explicar de modo unificado e naturalista estes dois fenômenos:

> Analisando-se o problema da origem das espécies, é perfeitamente concebível que o naturalista, refletindo sobre as afinidades mútuas dos seres vivos, suas relações embriológicas sua distribuição geográfica, a sucessão geológica e outros fatos que tais, chegue à conclusão de que as espécies não devam ter sido criadas independentemente, mas que, assim como as variedades, descendam de outras espécies. Não obstante tal conclusão, mesmo bem fundamentada, seria insatisfatória, a não ser que se pudesse mostrar como teriam sido modificadas as incontáveis espécies existentes neste mundo, até chegarem a alcançar a perfeição estrutural e de co-adaptação que tão efetivamente excita nossa admiração. (Darwin [1859], 1985,p. 44).

Para fins da nossa análise da gênese do conceito de adaptação nos deteremos nas teorias da descendência comum e da seleção natural. Segundo a teoria da descendência comum, diferentes grupos de organismo, o que designamos de populações ou espécies, descendem de uma única espécie ancestral. A evolução consiste num processo de descendência com modificação, em que duas populações são formadas pela divisão de uma população ancestral, divergindo e acumulando diferenças ao longo do tempo. Darwin propôs a metáfora da árvore evolutiva para representar a descrição da história evolutiva das espécies, segundo a idéia de descendência comum. Na árvore da vida, sucessivos eventos de ramificação representam o surgimento de novas espécies a partir de preexistente (Meyer; El-Han, 2005, p. 25). A seleção natural, por sua vez, constitui no pensamento darwinista um dos mecanismos através do qual as espécies sofrem mudanças evolutivas.

Mayr (2009, p.146) disseca a lógica da teoria da seleção natural em cinco fatos, a partir dos quais são feitas três inferências:

Fato 1: Todas as populações têm o potencial de crescimento a uma taxa exponencial;

Fato 2: A maioria das populações atinge um certo tamanho, e então permanece relativamente estável;

Fato 3: Os recursos naturais disponíveis para uma população são limitados.

Inferência 1*: Nem toda a prole sobrevive até a idade reprodutiva, em parte, devido à competição (luta pela sobrevivência) entre os membros de uma população por recursos naturais.*

Fato 04: Os indivíduos, numa população, não são idênticos, mas variam em muitas características (pensamento populacional).

Inferência 2: *Sobrevivência não é aleatória. Aqueles indivíduos cujas características provêm algumas vantagens em relação a outros numa situação ambiental particular tenderão a sobreviver e reproduzir-se, enquanto outros tenderão a morrer (seleção natural).*

Fato 05: Muitas destas características são herdáveis.

Inferência 3: *Populações mudam ao longo do tempo, à medida que a freqüência dos alelos vantajosos aumenta. Quando uma população é submetida durante muitas gerações à seleção natural, o resultado é evolução.*

Em síntese, a teoria da seleção natural postula que nas populações existem organismos que variam em muitas de suas características. Algumas destas características variáveis estão relacionadas com sua capacidade de sobreviver e/ou se reproduzir desses organismos, como capacidade de explorar recursos limitados ou de escapar de predadores, etc. Organismos cujas características que aumentam sua capacidade de sobrevivência e/ou reprodução terão maior taxa de sobrevivência e reprodução. Haverá, então, sobrevivência e reprodução diferencial. Caso estas características sejam hereditárias, ao longo de algumas gerações a composição genética da população haverá mudado. O acúmulo destas mudanças na população resulta em evolução.

Segundo interpretação de Gould (2002), a teoria da descendência comum possibilitou a Darwin introduzir uma nova dimensão no debate pré-darwinista entre teólogos naturais e morfologistas, ou em termos mais gerais entre funcionalistas e estruturalistas. Tratava-se do eixo da história. A adição da história permitiu que a unidade do tipo não implicasse necessariamente um princípio de ordem contrário à adaptação. As similaridades estruturais entre as espécies podiam ser então explicadas pela retenção passiva de um padrão estrutural na genealogia da diversidade de descendentes. Desse modo, tornou-se possível argumentar que tais estruturas ancestrais teriam inicialmente surgido por seleção natural, como adaptações às condições orgânicas e inorgânicas da vida em ambientes ancestrais. A partir deste argumento, a seleção natural podia ser apresentada como uma explicação unificada para ambos os pólos do debate pré-darwiniano. A adequação funcional dos traços às condições de existência – fenômeno priorizado pela biologia funcionalista – passava a ser interpretada como uma adaptação às condições ambientais do presente, enquanto os padrões estruturais da unidade do tipo – fenômenos enfatizados pela biologia estruturalista – eram explicados como

produto de adaptações ao ambiente ancestral, as quais subseqüentemente foram herdadas pelos descendentes diversificados.

Gould (2002), de modo similar a Amundson (1996), conclui que Darwin, a despeito de reconhecer os efeitos da restrição da unidade do tipo à ação da seleção natural, os relegou a um segundo plano e optou por construir uma teoria funcionalista baseada na primazia da adaptação, como resultado direto da seleção natural.

A respeito deste aspecto, Caponi (2000) parece concordar com Gould (2002) e Amundson (1996). Caponi (2000) propõe que o darwinismo, antes se ser uma teoria da evolução, constitui uma teoria da adaptação, entendida como a adequação das propriedades dos organismos as exigências de seu meio. Assim, de modo semelhante a Maynad Smith (1969), Ayala (1970), Ruse (1983) e Godfrey-Smith (1999), Caponi (2000) reconhece que o principal objetivo de Darwin era apresentar uma resposta naturalista, não-teleológica, ao problema do design, tal como formulado pela teologia natural de Paley. Caponi (2000, p. 28) apresenta a formulação deste problema em termos da pergunta que Newton formula na vigésima oitava questão da *Optica*: "Como os corpos dos animais são desenhados com tanta arte, e para que foram feitas suas diversas partes?".

A teoria da seleção natural teve um papel importantíssimo no desafio à visão de mundo vigente na época de Darwin, não só porque oferecia uma alternativa explícita ao argumento do projeto (*argument from design*), e tornava possível explicar as características e a diversidade dos seres vivos sem invocar o sobrenatural, mas por promover uma mudança radical na forma de pensar e investigar a estrutura orgânica da filosofia natural do século XVIII, inclusive em relação a teorias evolucionistas materialistas, como as de Buffon e Lamarck.

Na interpretação de Caponi (2005, p. 233), "o violento re-ordenamento epistemológico" que a explicação darwinista representou em relação às explicações evolutivas transformacionais, dominantes na filosofia natural do século XVIII, esteve centrado em dois aspectos: a emergência das populações, como "novo objeto de experiência" e o reconhecimento das causas remotas, como "nova categoria causal". Os organismos enquanto objetos privilegiados da ciência da vida foram substituídos pelas populações e às causas imediatas, enquanto chaves últimas do fenômeno biológico, foram deslocadas pelas causas remotas. Assim, "os fenômenos biológicos passaram a ser pensados como processos históricos contingentes protagonizados por *sujeitos centrais* (Hull, 1984) que são as populações" (Caponi, 2005, p. 233).

Para Mayr (2009, p. 99-100), o pensamento darwinista rompeu com duas filosofias que se mantiveram dominantes nas ciências biológicas até o início do século XX – o pensamento tipológico (ou essencialismo) e o finalismo –, além de introduzir novos conceitos, os quais eram "parcial ou totalmente ausentes da filosofia das ciências da metade do século XIX" – população, seleção natural, acaso e história.

Os biólogos dos séculos XVII e XVIII, partidários da, ou contrários à, explicação evolucionista da diversidade da vida, compartilhavam tanto um conceito tipológico de espécie quanto um método para explicar a variabilidade em termos essencialista. A espécie era chamada de *tipo natural* e considerada uma classe de organismos que podia ser definida pela sua essência (Mayr, 2009, p.100), um conjunto de propriedades únicas compartilhadas por todos – e apenas pelos – os membros de uma espécie, as quais explicam por que os membros de uma dada espécie são o que são (Sober, 1994). Segundo essa visão tipológica da espécie, a variação é irrelevante, correspondendo a nada do que 'meros acidentes' ou 'degenerações' do tipo. Esta visão da variação entre os membros de uma espécie é um dos compromissos epistemológicos que estruturava o transformismo de Buffon e a teoria evolutiva transformacional de Lamarck, como analisamos acima.

Darwin rompeu com esta tradição ao introduzir o que Mayr (1959; 1988; 2009) designa pensamento populacional. A base deste modo de pensar está no reconhecimento de que o que encontramos nos organismos vivos, não são classes constantes (tipos), e sim populações variáveis (Mayr, 2009, p. 101). Dentro de uma população que se reproduz sexualmente, cada indivíduo é diferente de todos os outros. Mayr (2009, p. 111) argumenta que este conceito de biopopulação permite a emergência de um modo de "encarar a natureza" totalmente oposta ao pensamento tipológico:

> Os indivíduos ou quaisquer tipos de entidades orgânicas formam populações para as quais pode se calcular a média aritmética e a dispersão dos valores individuais. As médias são meras abstrações estatísticas; apenas os indivíduos que compõem as populações têm existência real. As conclusões finais do populacionista e do tipologista são totalmente diversas. Para o essencialista, o tipo (eidos) é real e as variações são uma ilusão, enquanto que para o populacionista o tipo (média) é uma abstração e apenas as variações são reais.

Outra ruptura darwinista identificada por Mayr (2009) diz respeito à rejeição de Darwin à crença no finalismo, definida por este autor como a crença de que o mundo dos seres vivos tende a se mover em direção a uma perfeição cada vez maior. Esta crença – aceita por grande parte dos evolucionistas mesmo após 1859 – postulava a existência de uma força interna inerente que impele a evolução em direção à complexidade e perfeição. Este postulado foi rejeitado por Darwin, na interpretação de Mayr (2009, p. 102), pelo compromisso com "a

doutrina newtoniana de que tudo que existe no mundo é controlado de maneira exclusiva por forças mecânicas (físico-química)". No entanto, Darwin introduziu algo novo e ausente no modelo explicativo newtoniana, a história. De modo que para explicar os fenômenos evolutivos, além de um mecanismo que não viole o pressuposto fisicalista, é preciso invocar antecedentes históricos.

Há outro aspecto da seleção natural para o qual Mayr (p. ex. 2009) chama atenção, o qual, em certa medida, também constitui uma novidade em relação ao modo precedente de interpretar a causalidade dos fenômenos naturais. Um antigo problema filosófico diz respeito à questão de se os fenômenos naturais ocorrem por acaso ou por necessidade. No caso da seleção natural estamos diante de um processo de natureza mista, do qual não se pode dizer nem que é um processo aleatório e nem que é determinista.

Esta natureza mista decorre do fato de a seleção natural ocorrer em duas etapas. A primeira etapa diz respeito à produção de variações, seja através de mutações ocorridas nas células reprodutivas, ou pela recombinação gênica ocorrida durante a meiose, divisão que dará origem a estas células. Esse processo é aleatório. A segunda etapa consiste na triagem das variantes preexistentes pelas vantagens que apresentam sobre as demais por conferir sobrevivência e reprodução diferencial dos indivíduos que a possuem. Não se pode dizer, portanto, que esta etapa envolve um processo completamente aleatório. Os organismos que sobrevivem, chegam à idade adulta e procriam com sucesso e repetidas vezes, não o fazem completamente por acaso (Meyr; El-Hani, 2000, p. 180). Por outro lado, existem muitos fatores casuais que podem levar a organismos serem eliminados, antes mesmo de se reproduzirem, independente de estarem mais bem equipados que outros para sobreviver em determinado ambiente e/ou se reproduzir com sucesso. É o caso da ocorrência de catástrofes naturais que podem eliminar um grupo de organismo que de outro modo estariam perfeitamente aptos a se reproduzir. Portanto, não há também um determinismo puro. Pode-se dizer que a seleção natural é um processo probabilístico (Meyr; El-Hani, 2000, p.181).

O fato de romper com tradições filosóficas bem estabelecidas foi um dos fatores que contribui para que a seleção natural só fosse amplamente aceita a partir das décadas de 1930 e 1940. É certo que, hoje em dia, a seleção natural ocupa um papel importante na biologia evolutiva, uma vez que é um mecanismo que tem o potencial de explicar todas as adaptações conhecidas. Entretanto, este papel não foi dado imediatamente à teoria da seleção natural, não antes de enfrentar uma série de controvérsias.

A partir da década de 1870, a idéia de evolução por descendência comum se tornou largamente aceita entre os cientistas. O mesmo não se pode dizer em relação à teoria da

seleção natural, a qual enfrentou fortes oposições durante os anos que se seguiram à publicação de *Origem das Espécies*, tendo sido adotada de forma mais ampla pela comunidade acadêmica apenas após a síntese evolutiva, ocorrida nos anos de 1920 a 1940. A ausência de dados experimentais que apoiassem o papel da seleção natural nas mudanças evolutivas, a inexistência de uma explicação para a origem e natureza da variação contínua entre os indivíduos de uma população e a falta de um mecanismo de herança convincente, entre outros aspectos, contribuíram para a rejeição da seleção natural ao final do século XIX. Assim, por volta de 1900, mecanismos alternativos para explicar as mudanças evolutivas gozavam de prestígio cada vez maior, comprometendo a tal ponto a aceitação da teoria darwinista que o período foi chamado pelo historiador Peter Bowler de 'eclipse do darwinismo' (Bowler, 1983; 2003).

Segundo Bowler (1983; 2003), no período entre 1875 a 1920, houve uma "explosão" de teorias evolutivas antidarwinistas, as quais podem ser agrupadas, em termos de sua estrutura conceitual mais geral, em quatro categorias: evolucionismo teísta, lamarckismo, ortogênese e mutacionismo.

O evolucionismo teísta foi articulado por cientistas que mantinham fortes convicções religiosas, e propunham que as variações não eram aleatórias, mas sim guiadas em direção a propósitos pela vontade divina. De acordo com a análise de Bowler (1983, p.7), ao final do século, esta abordagem foi abandonada, uma vez que o elemento do design sobrenatural, quando tomado em sentido literal, situava o tema da evolução fora do escopo da investigação científica .

Segundo Bowler (1983, p. 7), o lamarckismo que teve origem no século XIX em oposição ao mecanismo da seleção natural guardava do lamarckismo original, basicamente, um único elemento, a noção de herança de caracteres adquiridos. De acordo com esta noção, as características que eram adquiridas durante a vida dos organismos poderiam ser passadas a seus descendentes. Em sua versão mais popular, a qual se baseava no mecanismo de uso e desuso, o lamarckismo dava lugar à adição acumulativa de modificações corporais, geradas por um novo padrão de comportamento.

Conforme nos chama atenção Mayr (1998, p. 766; 2009, p.107), estas teorias estão ancoradas na idéia de herança tênue, ao supor que o material genético é, em si, plasmável", "flexível", e podem ser moldado em decorrência do mecanismo do uso e desuso. A genética medeliana irá contradizer esta noção, ao provar a constância dos genes.

O terceiro grupo de teorias alternativas à seleção natural que surgiu no século XIX foi designado de ortogênese, termo comumente usado para descrever o processo de evolução que

ocorria em conseqüência de um único evento guiado por forças internas ao próprio organismo. Pressupunha-se que estas tendências involuntárias dos organismos se manifestavam de modo independente das demandas do ambiente e que poderiam até mesmo levar a extinção.

Por fim, uma quarta alternativa à seleção natural, proposta neste período, consistia no mutacionismo, ou teorias mutacionistas, as quais se estruturavam em torno da crença de que a evolução se processa através do súbito aparecimento de formas significativamente novas. As mutações eram vistas como eventos aleatórios, não-adaptativos, a despeito de muitos naturalistas acreditarem que as mutações seriam capazes de se desenvolver em novas espécies. Como nos esclarece Bowler (1983, p. 8), o termo mutação foi subseqüentemente apropriado por geneticistas mendelianos para denotar modificações espontâneas de um gene. Na teoria moderna da evolução, as mutações exercem o papel de alimentar a variabilidade na população preexistente, mas no contexto do mutacionismo do século XIX, as mutações eram vistas como eventos responsáveis pela geração de novas populações, imediatamente, separadas da original.

Bowler (1983, p. 8) nos adverte que, quando realizamos uma análise mais detalhada das diversas teorias antidarwinistas do século XIX, as distinções entre elas, tornadas claras por esta categorização,começam a perder a nitidez, em função da existência de interpretações conflitantes dentro de uma mesma categoria. Esta constatação aponta a necessidade de buscar outro modo de mensurar as diferenças conceituais envolvidas. Baseando-se em uma análise de Gould acerca das eternas metáforas que são utilizadas na descrição da história da vida, Bowler (1983 pp. 8-9) identifica três temas acerca dos quais há discordâncias, tanto entre teorias que se situam em categorias distintas, quanto entre teorias que estão agrupadas na mesma categoria. Estes temas foram organizados em pares de discordâncias conceituais cruciais e apresentados na forma das seguintes perguntas: (1) a evolução é um processo ordenado, no qual grupos de formas relacionadas progridem segundo um padrão regular de desenvolvimento, ou é irregular, consistindo em uma árvore da vida que se ramifica constantemente? (2) O processo evolutivo é controlado por demandas do ambiente externo ou pelas forças internas inerentes ao organismo? (3) A evolução é um processo contínuo, um acúmulo estável de pequenas mudanças a cada geração, ou este processo ocorre pela produção descontinua de formas completamente novas?

De acordo com a análise de Bowler, a descrição do processo evolutivo pelo mutacionismo é consistente com o princípio darwinista da evolução ramificada, por enfatizar a natureza randômica da variação. A ortogênese, de modo oposto, é por definição equivalente

a evolução linear e ordenada, uma vez que pressupõe uma tendência interna. Bowler (1983, p. 8) argumenta que, a princípio, o Lamarckismo do século XIX não implicaria necessariamente na noção de evolução dirigida e ordenada, uma vez que a ênfase destas teorias recairia na defesa de um mecanismo evolutivo alternativa à seleção natural, a herança de caracteres adquiridos. No entanto, muitos lamarckistas, para manter o compromisso com a visão linear do processo evolutivo, procuram ver os efeitos derivados do hábito como uma força unificadora que produz uma evolução regular.

A incidência de divergências no interior de uma mesma categoria é maior no que diz respeito à dicotomia apresentada pela segunda questão, relativa à natureza do fator causal que dirige o processo evolutivo. Bowler (1983, p. 8) argumenta que o darwinismo é uma teoria do controle externo. O processo interno de variação é visto como um processo meramente aleatório, o qual, como tal, é incapaz de dar direção à evolução. Deste modo, a seleção natural é um mecanismo estritamente adaptativo – só produz características que são úteis na luta pela sobrevivência. O lamarckismo também tendia a enfatizar a resposta do organismo aos desafios do ambiente externo, no entanto, havia lugar para diferentes interpretações. Um grupo de organismos poderia adquirir novos hábitos em resposta a um novo ambiente, mas o hábito deveria, então, tomar a frente do processo e se tornar uma força interna propulsora. Além disso, algumas teorias neolamarckistas previam que características poderiam ser adquiridas em decorrência de uma interação entre ambiente e constituição interna do organismo. Neste caso, se tornava uma questão de escolha qual fator causal enfatizar. No caso do mutacionismo, pressupunha-se que as mutações teriam origem no interior do organismo, ainda que sem direção particular. Mas haviam opiniões divididas sobre se as formas seriam eventualmente selecionadas pelo ambiente. Em termos gerais, a ortogênese requeria um forte elemento de direção interna, mas mesmo neste caso, havia discordâncias. Alguns naturalistas insistiam que deveria existir um estímulo ambiental para eliciar o efeito da tendência interna.

No que diz respeito à terceira dicotomia, evolução contínua vs. descontínua, o darwinismo e o mutacionismo se posicionam claramente nas duas posições extremas, respectivamente. As teorias lamarckismas e a ortogênese, mais uma vez, abrigam interpretações que as posicionam em ambos os lados. De modo geral, ambas são, supostamente, teorias da evolução contínua, no entanto, alguns naturalistas se esforçam para introduzir descontinuidades em suas descrições do processo evolutivo. Este esforço esteve relacionado com o compromisso destes naturalistas com a visão tipológica de espécie, é o que concluímos da explicação dada por Bowler para este fato:

> A grande vantagem de uma teoria baseada na descontinuidade era a de permitir que a "realidade" das espécies como unidades distintas de classificação fosse preservada, evitando-se os problemas práticos e conceituais que iriam surgir caso uma espécie fosse capaz de gradualmente subdividir-se em várias futuras espécies via uma fase de especiação indeterminada (Bowler, 1983, p. 9)

Os naturalistas darwinistas e anti-darwinistas não justificavam suas teorias apenas com base na coerência com os compromissos filosóficos que estruturavam a comunidade científica de sua época, mas também buscavam credibilidade científica em evidências empíricas.

Como nos chama atenção Bowler (1983), o século XIX constitui o período em que a biologia começa a se institucionalizar como disciplina acadêmica em substituição à história natural. Neste momento, havia um interesse dos biólogos em se estabelecer como cientistas modernos, seguindo o exemplo dos fisiologistas experimentais. Para Caponi (2005) é esta primazia da perspectiva fisiológica que explica a proliferação e o sucesso das teorias transformacionais, alternativas ao darwinismo, no século XIX. Estas teorias procuraram minimizar a capacidade da seleção natural em produzir e guiar as grandes mudanças evolutivas, propondo outras forças, que de um modo diferente do mecanismo proposto por Darwin, fossem "visíveis para o fisiologista" (Caponi, 2005, p. 237). As teorias antidarwinistas do século XIX buscaram sua credibilidade, portanto, em evidências experimentais produzidas por experimentos fisiológicos. De certo que o neolamarckismo e a ortogênese não conseguiram manter sua credibilidade científica por muito tempo, exatamente por não terem suas previsões confirmadas por novas evidências empíricas. O mutacionismo, por seu turno, nasceu do grande sucesso da genética experimental, e gozou de grande prestígio pelo fato de trabalhos de laboratórios terem demonstrado a ocorrência de mutações (Meyer; El-Hani, 2005). Comparadas as evidências produzidas experimentalmente, as evidências apresentadas por Darwin para apoiar a evolução por seleção natural, por sua vez, pareciam fracas e indiretas, à luz da visão de ciência deste período. Elas se fundavam "nos registros dos criadores de variedades domésticas de vegetais e animais", e em "certas observações biogeográficas que pareciam reforçar a idéia de luta pela existência" (Caponi, 2005, p. 237-238).

Caponi nos apresenta uma análise elucidativa da importância das evidências experimentais no desfecho deste período de embate entre darwinistas e antidarwinistas do século XIX, e no ressurgimento do darwinismo:

> Teremos que esperar a década de 1940 para que o uso das *caixas de populações*, orientado pelos modelos matemáticos da genética de populações (cf. Gayton, 1992, p. 370 ss.), permitisse desenhar experimentos biológicos não-fisiológicos capazes de mostrar a eficácia e o possível alcance da seleção natural como agente de mudança evolutiva (Caponi, 2003). Só então, quando as populações se transformaram em

> objetos de experimentação, é que os direitos e os poderes da seleção natural foram definitivamente reconhecidos (Caponi, 2005, p. 238).

As contribuições da genética de populações, referidas por Caponi (2003; 2005), tanto os elementos teóricos e metodológicos, como os dados empíricos que foram produzidos acerca da variação genética, tiveram um papel fundamental na construção da síntese evolutiva, um movimento de fusão do mendelismo com o darwinismo realizado a partir da década de 1920 e concretizado nos anos 1940. Os trabalhos dos geneticistas de populações, principalmente aqueles realizados por Fischer, Haldane e Wright, demonstraram que "a variação estudada pelos evolucionistas poderia ser explicada pela herança mendeliana e pela seleção natural" (Meyer e El-Hani, 2005, p. 49).

Após a síntese evolutiva, a seleção natural passou a ser aceita universalmente como a influência causal primária na mudança evolutiva e, acima de tudo, como a única explicação para as adaptações. Essa tendência foi tão vigorosa que muitos biólogos evolutivos do século XX dirigiram seu trabalho para a busca de significado funcional e valor adaptativo para uma variedade de traços biológicos conspícuos, que até então não haviam sido explicados convincentemente (Amundson, 1996; Mayr, 1988).

Era comum que diante de qualquer traço aparentemente útil, os biólogos evolutivos assumissem sua funcionalidade e criassem uma hipótese acerca de seu significado adaptativo, explicando então sua existência a partir de um modelo seletivo, sem preocupar, contudo, em testar tal hipótese, bastando sua consistência teórica com o mecanismo da seleção natural. Gould e Lewontin (1979) chamaram esta abordagem da biologia evolutiva de 'programa adaptacionista'.

O programa adaptacionista tem sido duramente criticado desde os anos 1970, em conseqüência de evidências empíricas e avanços teóricos que expuseram os limites da seleção natural para a explicação da organização estrutural das formas vivas. Mais especificamente, as descobertas acerca do papel do acaso nas mudanças evolutivas (deriva gênica) e a ênfase no papel das restrições históricas (filogenéticas), estruturais e do desenvolvimento sobre a evolução da forma orgânica[10], entre outros fatores, mostraram que, não obstante a grande importância do mecanismo da seleção natural na explicação dos processos evolutivos, é

[10] Estas restrições são decorrentes do fato de que os processos de desenvolvimento, a natureza das interações físicas entre as células e a influência de estruturas preexistentes sobre as mudanças que podem vir a ocorrer nos organismos limitam o repertório de formas que podem ser produzidas no mundo vivo, e, juntamente com a variação herdada dos ancestrais, estabelecem a diversidade de organismos variantes sobre os quais a seleção natural pode atuar. Estas restrições constituem processos que enviesam a distribuição das variações nas populações, e, assim, podem influenciar a direção e velocidade do processo evolutivo.

preciso combiná-lo com outros mecanismos para a construção de modelos explicativos mais consistentes. Esta visão pode ser chamada de 'pluralismo de processos' (Pigliucci; Kaplan, 2000; Meyer; El-Hani, 2000, 2005).

Nas críticas ao programa adaptacionista, questiona-se não somente o poder causal e explicativo atribuído à seleção natural, como também a prioridade dada à adaptação em relação a outros fenômenos biológicos igualmente relacionados à origem e evolução das formas vivas.

Os debates entre anti-adaptacionistas e adaptacionistas terminaram por gerar também uma controvérsia acerca do papel epistemológico e metodológico do conceito de adaptação. De um lado, propõe-se que o conceito de adaptação, ao menos **como postulado pelo programa adaptacionista,** não tem nenhuma relevância prática para o trabalho dos biólogos (Godfrey-Smith, 1999), ou, ainda mais, constitui um mau "conceito organizador" das pesquisas biológicas, ao tornar as teorias darwinistas da evolução não-testáveis, e os biólogos, cegos aos demais fatores evolutivos (Lewontin, 1983; Levins; Lewontin, 1985, p. 66). De outro lado, reafirma-se o papel heurístico desempenhado por questões adaptacionistas, bem como os avanços empíricos e conceituais que elas proporcionaram na história das ciências biológicas (Mayr, 1988; Futuyma, 1992; Meyer; El-Hani, 2005). Desta última perspectiva, propõe-se que sejam enfrentadas as dificuldades que cercam atualmente o conceito de adaptação, de modo a reafirmá-lo como um conceito útil na organização da pesquisa biológica, sem ignorar a existência e o poder de outras forças causais não-seletivas (Rose;Lauder, 1996; Sterelny, 1997).

Os argumentos apresentados pelos autores que assumem diferentes posicionamentos neste debate nos levaram a identificar dois desafios enfrentados pelo conceito de adaptação, cuja análise é de extrema relevância para nosso estudo: (1) a proliferação de significados e a variação conceitual relativa ao termo 'adaptação'; e (2) as dificuldades que o conceito de adaptação formulado na perspectiva da teoria sintética da evolução apresenta para acomodar-se a avanços conceituais e empíricos da biologia evolutiva. A seguir apresentaremos uma breve análise destes dois problemas e algumas das soluções que têm sido propostas por biólogos evolutivos e filósofos da biologia.

Analisando a história das palavras numa determinada língua, Vygotsky (2001, p.212) argumenta que "um nome nunca é um conceito no início do seu surgimento". O autor chama atenção de que na história das palavras, é comum observarmos que uma série de referentes, os mais diversos, são designados pela mesma palavra, não por uma necessidade lógica, mas pela combinação segundo um atributo metafórico. Desse modo, o uso da palavra estaria baseado

em complexos metafóricos concretos, em lugar de vínculos que se estabelecem no conceito (Vygotsky, 2001, p. 213). Assim, no desenvolvimento da linguagem, observa-se, para este autor, "uma luta entre o conceito e a imagem que serve de base à palavra" (Vygotsky, 2001, p.214).

Esta noção pode ter um papel heurístico na interpretação das raízes históricas da polissemia do termo "adaptação" nas ciências biológicas. A força da imagem metafórica do termo 'adaptação' como ajuste de um objeto a uma tarefa particular, de modo a torná-lo apto a satisfazer uma exigência preexistente, (Gould e Vrba, 1982; Lewontin, 2002), herança do uso do termo no âmbito semântico da teologia natural do séc. XVII, possivelmente, fez com que o termo fosse empregado indiscriminadamente para designar uma variedade de fenômenos biológicos, que têm em comum apenas o traço de representar o ajuste dos organismos ao ambiente, mas que diferem no que diz respeito aos níveis hierárquicos em que ocorrem e em sua etiologia.

Como analisam Gould e Lewontin (1979), o uso indiscriminado do termo 'adaptação' na biologia tem obscurecido, assim, as diferenças entre três processos: (1) a plasticidade fenotípica, que permite aos organismos moldarem sua forma, sua fisiologia e/ou seu comportamento às circunstâncias prevalentes ao longo da ontogenia (adaptação fisiológica ou ontogenética); (2) a adaptação cultural, a herança cultural possibilitada pela aprendizagem em humanos (e, de modo distinto, em algumas outras espécies); e (3) o mecanismo darwinista de seleção de variedades genéticas, que contribui para a adaptação evolutiva. Para Gould e Lewontin (1979), a ambigüidade no uso do termo 'adaptação' pode conduzir ao equívoco de se estender a um fenômeno as explicações etiológicas de outro.

Embora no âmbito da biologia evolutiva, o uso do termo adaptação seja restringido às adaptações evolutivas, observa-se também neste campo a proliferação de significados para o termo. Encontramos hoje o uso da palavra 'adaptação' por biólogos evolutivos em dois sentidos diferentes, ora referindo-se a características que foram construídas pela ação direta da seleção natural (Williams 1966; Lewontin, 1978), ora referindo-se a qualquer característica que aumente a aptidão biológica, independentemente de qual tenha sido sua origem histórica (Bock, 1979;1980).

Segundo Gould e Vrba (1982), os biólogos, em conseqüência da visão adaptacionista e da ambigüidade do termo 'adaptação', ora vista como produto, ora como processo, não têm reconhecido a confusão potencial entre estes dois sentidos, apoiados em dois critérios distintos: a gênese histórica (construção por seleção natural) e a utilidade corrente (aumento de aptidão, não importando a origem). Eles destacam que este dilema foi reconhecido por

Williams (1966, p.6), que optou por restringir o uso do termo ao primeiro sentido, argumentando que só se deveria falar de adaptação quando fosse possível "atribuir a origem e a perfeição desse design a um longo período de seleção para efetividade nesse papel particular". Williams alertou para a importância de distinguirmos adaptações, e suas funções, de efeitos fortuitos: as primeiras constituiriam a operação de um caráter resultante de um processo seletivo, e os segundos, a conseqüência acidental da utilidade ou do potencial de um caráter que não foi construído por seleção natural para o seu papel corrente.

A importância desta distinção havia sido destacada pelo próprio Darwin em *Origem das Espécies* ao analisar a origem evolutiva das suturas dos crânios em vertebrados:

> "As suturas dos crânios dos mamíferos em idade infantil têm sido interpretadas como uma bela adaptação destinada a facilitar o parto, o que sem dúvida acontece. Todavia, como tais suturas também aparecem nos crânios dos filhotes de répteis e de aves, cujo nascimento depende apenas do rompimento das cascas dos ovos, podemos deduzir que essa estrutura surgiu em decorrência de certas leis de crescimento, sendo utilizadas pelos animais superiores no momento do parto (Darwin, [1859]1985, p. 178)".

Como podemos concluir desta citação, desde *A Origem das Espécies*, propõe-se que seja considerada necessária à condição de a característica ter sido moldada pela seleção natural para que seja designada adaptação.

A opção pelo critério do uso corrente, utilizando os termos de Gould e Vrba (1982), no entanto, continuou sendo usada na biologia evolutiva. Uma definição de adaptação desta natureza foi proposta, por exemplo, por Bock: "uma adaptação é, assim, uma característica do organismo que interage operacionalmente com algum fator do seu ambiente de tal modo que o indivíduo sobrevive e se reproduz" (Bock, 1979, p. 39). O uso deste sentido mais amplo para adaptação tem sido aclamado por alguns biólogos, sob o argumento de que ele seria mais facilmente operacionalizável, uma vez que tornaria possível a descoberta e definição da função de um traço sem que se precisasse enfrentar as dificuldades da reconstrução do caminho histórico de sua origem, o que, além de ser sempre mais difícil, pode trazer uma série de incertezas (Gould; Vrba, 1982; Sterelny; Griffiths, 1999, p. 223). A este respeito, Gould e Vrba argumentam que o problema da gênese histórica não pode ser ignorado, uma vez que, a biologia evolutiva deve conceber as vias históricas como o aspecto fundamental de suas análises.

Amundson (1996, p. 45) analisa o debate em torno destes dois conceitos de adaptação usados na literatura, o histórico e o não-histórico, como sendo resultante de interesses práticos distintos de duas abordagens teóricas presentes na pesquisa em ciências biológicas, os "estudos biológicos de equilíbrio" e "os estudos biológicos transformacionais" (*equilibrium*

and transformational biological studies). Ecólogos comportamentais e evolutivos estão interessados na dinâmica populacional atual e, portanto, na utilidade corrente que as características apresentam e em suas conseqüências para a aptidão darwiniana (*fitness*)[11]. Nesta perspectiva, adaptação é interpretada como um estado momentâneo de equilíbrio entre características e forças seletivas. Os passos históricos que levaram uma característica a ser predominante na população não são considerados relevantes, sendo as causas evolutivas inferidas com base na utilidade corrente: características com aptidão darwiniana mais alta que as alternativas devem ter sido mantidas na população por seleção. Estudos transformacionais, como a paleontologia, a anatomia comparada e a biologia do desenvolvimento, por sua vez, se voltam primeiramente para os processos históricos, tendo como foco de interesse a história causal dos traços herdáveis, ao longo da história que produziu os organismos atuais.

A despeito do papel heurístico que a variação conceitual em tornos dos conceitos de adaptação possa ter apresentado no desenvolvimento da pesquisa em alguns campos do conhecimento biológico, e em determinados momentos históricos, a falta de clareza acerca dos sentidos múltiplos e concorrentes que eles adquiriram, bem como de suas raízes históricas e de seus domínios de aplicação, tem trazido dificuldades na pesquisa teórica e empírica para a biologia evolutiva.

Gould e Vrba (1982) argumentam, por exemplo, que diante da falta de clareza sobre os critérios e evidências que devem ser levados em conta para se afirmar que um dado caráter é uma adaptação, tem sido assumido que qualquer característica distintiva de um organismo associada a uma vantagem reprodutiva potencial para o seu portador é uma adaptação. No entanto, é preciso levar em conta as evidências de que nem toda característica funcional é uma adaptação, podendo muitas delas ser consideradas sub-produtos da seleção natural ou resultados de 'reaproveitamento' de características no processo evolutivo. Como analisaremos mais adiante, a hipótese mais aceita atualmente para a origem das penas das aves é que elas teriam proliferado por exercer a função de isolante térmico e, depois, foram "aproveitadas" para a função de auxiliar o vôo (Meyer e El-Hani, 2005, p. 72-73).

---

[11] O conceito de *fitness*, traduzido como aptidão darwiniana ou adaptatividade, também apresenta certo grau de polissemia. Segundo Mayr (1988, p.128),tradicionalmente *fitness* era usado para designar a capacidade de um organismo de sobreviver num dado ambiente, ou em outras palavras, enfrentar as condições do ambiente. No entanto, procurando um termo para expressar a contribuição genética de um organismo (ou de um genótipo, ou de um gene) para a próxima geração, Fischer escolheu *fitness*, definido como "a taxa per capta de crescimento". Segundo Burian (2005), dois conceitos de *fitness* que vêm sendo usados de forma abrangente na biologia de populações e na teoria sintética da evolução, *fitness realizado* e *fitness esperado*. O primeiro deles diz respeito a medida da taxa **real** de sucesso reprodutivo dos organismos individuais. O segundo deles refere-se à propensão objetiva de um tipo de organismo se reproduzir numa taxa maior do que aquela de tipos alternativos.

As ambigüidades geradas pela proliferação de significados para o conceito de adaptação têm afetado não só a produção na área da biologia evolutiva como também o ensino de evolução. Um dos fatores levantados para explicar a persistência das concepções alternativas dos estudantes em relação ao pensamento darwinista consiste na confusão semântica gerada pela abundância de significados diferentes associados ao termo "adaptação" (Lucas, 1971; Alters e Nelson, 2002; Sepúlveda e El-Hani, 2007), tanto na cultura geral, como no domínio das ciências biológicas. Como analisaremos melhor na próxima seção, o uso indiscriminado do mesmo termo para designar dois fenômenos biológicos distintos, mudanças fisiológicas e mudanças evolutivas, reforça um erro categórico comum entre os estudantes, o de atribuir propriedades de um processo, adaptação ontogenética, a outro, adaptação evolutiva. Mudanças adaptativas, em que a distribuição de características numa população de entidades muda ao longo do tempo, através de processo evolutivo variacional, têm sido interpretadas como processos de ajuste dos organismos ao ambiente em que vivem, ao longo de sua vida, através deum processo transformacional, isto é, no qual uma entidade apenas passa por uma série de estágios de transformação.

A proliferação de significados atribuídos ao termo "adaptação" é um dos sinais da crise que o conceito de adaptação tem sofrido desde a crítica ao programa adaptacinonista, iniciada na década de 1960. O segundo aspecto desta crise diz respeito às dificuldades que o conceito de adaptação vem enfrentando para acomodar-se a avanços empíricos e conceituais da biologia evolutiva, que apontam para os limites da seleção natural em moldar fenótipos ótimos, bem como para a importância, no processo evolutivo, de outros mecanismos além da seleção.

No contexto intelectual que sucedeu à síntese evolutiva das décadas de 1930 e 1940, o conceito de adaptação foi ressignificado, como parte da visão do processo evolutivo desenvolvida nos trabalhos clássicos de Mayr, Dobzhansky, Simpson, Stebbins, entre outros – caracterizada por Sterelny e Griffths (1999, p.31) como a 'visão aceita' (*received view*) da biologia evolutiva. As duas formas de conceituar adaptação, como característica e como processo, encontradas no glossário de Futuyma (1992)[12], um dos textos didáticos mais

[12] Vale a pena observar que, após apresentar esta definição para adaptação, Futuyma (1992, p. 578) comenta que este é "... um conceito complexo e mal definido", o que ilustra bem a importância de sua elucidação, dado o papel central desempenhado pelo mesmo no pensamento evolutivo. Embora tenha mantido esta mesma definição no glossário, Futuyma apresenta, na terceira edição de *Evolutionary Biology* (publicada em 1998), uma abordagem do conceito de adaptação, e de sua relação com a seleção natural, mais informada pelas controvérsias a respeito da definição e dos critérios para identificação de uma adaptação, em comparação com a edição de 1986 (publicada em tradução brasileira em 1992). Após analisar tais controvérsias no capítulo referente à seleção natural e adaptação, ele propõe a seguinte definição: "*uma característica é uma adaptação para alguma função caso tenha tornado-se prevalente ou se mantido na população (ou espécie, clado) devido à seleção natural para*

adotados em disciplinas de evolução do ensino superior, serve para exemplificar esta perspectiva:

> "ADAPTAÇÃO Um processo de mudança genética de uma população, devido à seleção natural, pelo qual o estado médio de um caráter é aperfeiçoado com relação a uma função específica ou pelo qual se acredita que uma população se torna mais ajustada para alguma característica de seu ambiente. Também, *uma* adaptação: uma característica que se tornou predominante em uma população devido a uma vantagem seletiva proporcionada pelo seu aumento do desempenho de alguma função" (Futuyma, 1992, p. 578. Ênfase no original).

O modo como o conceito de adaptação é formulado, na perspectiva da teoria sintética, implica as idéias de que: (1) qualquer característica funcional é necessariamente resultante da ação direta da seleção natural; (2) este processo leva a um estado ótimo da estrutura orgânica em sua relação com o ambiente; e (3) ele conduz a um aumento da aptidão darwiniana (*fitness*) média da população. No entanto, autores como Sober (1993) e Sterelny e Griffiths (1999) têm argumentado, vigorosamente, acerca da independência lógica entre adaptação (característica moldada pela seleção natural) e adaptatividade, ou incremento na aptidão darwiniana.

Para que a seleção natural possa levar à otimização, é preciso que algumas condições sejam satisfeitas: por exemplo, o regime seletivo deve manter-se estável por um longo período de tempo. No entanto, o ambiente sofre mudanças freqüentes, seja por processos autônomos, como as mudanças geológicas, ou, em grande parte, pela própria atividade dos organismos, que agem continuamente sobre o meio em que vivem, bem como sobre os demais organismos. Retornaremos a este ponto a seguir, ao tratarmos da crítica de Lewontin (1983; 2002) à formulação típica do conceito de adaptação. Desse modo, a evolução por seleção natural pode ser descrita, metaforicamente, como uma espécie de corrida em direção a um 'alvo móvel': à medida que a população é modificada em resposta a uma pressão seletiva criada por determinadas condições ambientais, estas condições podem estar mudando, em parte devido à própria evolução desta população (Lewontin, 1978, p. 159; Sober, 1993, p. 174). Esta é uma das razões pelas quais não podemos entender a seleção natural como um processo *necessariamente* otimizador, ou seja, que terá sempre como resultado final o estado ótimo de um caráter adaptativo, ou uma adaptação perfeita de uma população às suas condições de vida. Não se trata de que a seleção natural nunca possa ter esse resultado, mas apenas de que este não é um resultado *necessário* do processo de seleção.

---

a função" (Futuyma, 1998, p.354). Como veremos mais abaixo, esta definição é bastante próxima daquela proposta por Sober (1993).

Como pode levar algum tempo até que se façam sentir como novas pressões seletivas, mudanças ambientais podem não ser seguidas rapidamente por mudanças na distribuição de características de uma população. Uma das razões para este lapso temporal entre mudança ambiental e manifestação como pressão seletiva reside no fato de que o efeito de uma dada mudança pode ser minimizado por outros fatores ambientais, ou pela ação de outras forças evolutivas. Desse modo, uma característica que se tenha fixado por apresentar valor adaptativo num determinado ambiente ancestral, sendo, portanto, uma adaptação, pode continuar prevalente por algum período de tempo sem conferir qualquer benefício, ou até mesmo causando problemas para o organismo que a possui. É o caso, por exemplo, do nosso paladar preferencial por alimentos ricos em carboidratos e lipídeos, particularmente acentuado na infância: trata-se de uma adaptação às condições de um ambiente ancestral com disponibilidade limitada de calorias, mas que, nos dias de hoje, tem resultado em sérios problemas de saúde nas populações humanas, a exemplo da atual epidemia de obesidade, inclusive entre crianças.

Se em vez de empregarmos o conceito de 'ambiente' – que é amplo e vago demais, por dizer respeito a uma quantidade muito grande de referentes no mundo natural –, fizermos uso do conceito de 'nicho ecológico', que tem significado mais restrito, nossa compreensão do processo evolutivo poderá ser consideravelmente refinada. Lewontin (2002, p. 57), por exemplo, entende nicho ecológico como "uma justaposição espacial e temporal de diferentes elementos do mundo que produzem um entorno relevante para o organismo". À luz de tal compreensão, podemos conceber que alguns destes elementos podem estar mudando constantemente e sem direção definida, enquanto outros elementos podem ser estáveis, ou mudar sempre na mesma direção. Desse modo, numa mesma espécie, poderá haver otimização para características relacionadas a estes últimos fatores ambientais – que não apresentaram mudança ou mudaram de forma direcional numa escala temporal dada –, enquanto que características conectadas a fatores que mudam continuamente, e sem direção definida, poderão não ser otimizadas.

Outro caso comum em que a seleção natural não implica necessariamente aumento do valor da aptidão darwiniana média da população até seu máximo teórico, ou seja, não atua como um fator de otimização, é a seleção dependente de freqüência (Sober, 1993). Neste caso, o valor adaptativo de um traço é dependente da proporção de indivíduos da população que o apresentam. Um exemplo familiar aparece em sistemas de mimetismo batesiano. Uma espécie de borboleta não-venenosa (*Limenitis archippus*) mimetiza o padrão de coloração de advertência de uma espécie venenosa, não-palatável (*Danaus plexippus*, a borboleta

monarca). Quando o traço mimético, a semelhança visual com a borboleta monarca, surge na população de *Limenitis*, ele é selecionado positivamente, uma vez que os pássaros predadores evitarão comer estas formas miméticas, já que terão experimentado espécimes de monarca e aprendido com a experiência a evitar tal padrão de coloração. Contudo, à medida que a freqüência dos organismos miméticos aumenta na população, também aumenta a probabilidade de os pássaros experimentarem estas formas não-venenosas, o que diminui, por sua vez, a probabilidade de que as evitem. Desse modo, o valor adaptativo da semelhança visual com a borboleta monarca em *Limenitis* diminui à medida que sua freqüência aumenta na população. Neste modelo de seleção dependente de freqüência, um traço se torna prevalente numa população pela ação da seleção natural (sendo, assim, uma adaptação), mas tal processo não resulta, ao final, no aumento relativo do valor da aptidão darwiniana média da população.

Assim como são comuns casos em que a adaptação não leva a incremento da aptidão darwiniana média da população, o inverso também ocorre: há traços que aumentam o nível de adaptatividade de seu portador sem que sejam adaptações, ou seja, sem que tenham sido fixados na população pela ação direta da seleção natural. Este é o caso, por exemplo, de traços que se tornam freqüentes numa população por deriva genética e, posteriormente, são cooptados para uma função. Ou ainda, de traços que inicialmente evoluíram não porque apresentavam, por si mesmos, alguma vantagem adaptativa, mas por estarem evolutivamente correlacionados a algum outro traço, este último vantajoso para a sobrevivência e reprodução dos organismos, e que posteriormente passaram a apresentar usos benéficos. A evolução correlacionada de dois traços pode ocorrer, por exemplo, devido a uma correlação genética, quando estes traços sofrem influência dos mesmos genes (pleiotropia), ou quando são influenciados por genes cujos locos estão fortemente ligados num cromossomo. Isso também pode ocorrer quando dois traços se mostram correlacionados devido ao modo como ocorre o desenvolvimento de um organismo.

Por trás dos argumentos acima, está uma compreensão de adaptações como características que resultaram do processo de seleção natural, não importando se aumentam ou não a adaptatividade ou a aptidão darwiniana média de uma população. Este modo de compreender o conceito de adaptação foi formulado de modo preciso por Sober, exatamente como resultado de sua argumentação acerca da independência lógica entre adaptação e incremento de adaptatividade:

> "A é uma adaptação para a tarefa T na população P se e somente se A se tornou prevalente em P porque houve seleção para A, sendo que a vantagem seletiva de A

> foi devida ao fato de A ter auxiliado no desempenho da tarefa T" (Sober, 1993, p.208).

Além de não implicar a afirmação da necessidade do incremento da adaptividade ou do *fitness* médio das populações, como no caso das definições formuladas no contexto da teoria sintética, o conceito proposto por Sober (1993) não implica também a afirmação da suficiência da seleção natural para explicar a origem de quaisquer características funcionais observadas nos organismos, como advoga o adaptacionismo empírico[13]. Ele propõe apenas que a condição necessária e suficiente para que uma característica seja designada uma adaptação é ser resultante de seleção natural. Desse modo, é reconhecida a possibilidade de que características com valor adaptativo tenham origem não-adaptativa, sendo delimitados a eficácia da seleção natural e o domínio de aplicação do próprio conceito de adaptação. Desse modo, na formulação de Sober, o conceito de adaptação se mostra compatível com uma postura pluralista em relação aos processos evolutivos, podendo-se ter na devida conta outros fatores evolutivos na explicação da forma orgânica, como defendido por Gould e Lewontin (1979).

Contudo, há mais duas questões discutidas por Lewontin (1983; 2002) a ser enfrentadas para a construção de uma abordagem consistente do conceito de adaptação: (1) a dificuldade de acomodar a complexidade das relações entre organismo e ambiente na formulação típica deste conceito e (2) o deslocamento do organismo do foco de estudo da biologia evolutiva que a compreensão usual da adaptação provoca. Como sumaria Lewontin, a adaptação tem sido usualmente concebida no pensamento darwinista como

> (...) o processo de mudança evolutiva pelo qual o organismo provê uma 'solução' cada vez melhor ao 'problema' [criado pelo ambiente externo], cujo resultado final é o estado de estar adaptado" (Lewontin, 1978, p. 157).

Lewontin (1983; 2002) argumenta que este modo de compreender a adaptação, comprometido com a idéia de um ajuste gradual do organismo ao ambiente, implica a visão simplista de que o ambiente se modifica a partir de uma dinâmica própria, que é então seguida pelos organismos. Desse modo, não são levados em conta os efeitos das atividades das formas vivas, que modificam o próprio ambiente em que vivem de maneira tanto a promover como a

---

[13] Analisando as críticas de Gould e Lewontin (1978) ao programa adaptacionista, Godfrey-Smith (2001) argumenta que não há homogeneidade no pensamento adaptacionista, podendo-se identificar, pelo menos, três variedades distintas: *adaptacionismo empírico, adaptacionismo explanatório e adaptacionismo metodológico*. O adaptacionismo empírico é caracterizado pela defesa a tese de que possível, em grande medida, prever e explicar o resultado dos processos evolutivos levando-se em conta apenas o papel exercido pela seleção natural, dado o grau de sua importância causal em relação a outros fatores evolutivos. Para uma análise destas três formas de adaptacionismos, assim como dos desafios empíricos, teóricos e metodológicos que cada uma precisa enfrentar, além do referido trabalho de Godfrey-Smith, consultar Sepúlveda e El-Hani (2008).

inibir sua própria vida e a de outros organismos. Atividades como a construção de ninhos, a marcação de fronteiras e trilhas, e mesmo a criação de habitats inteiros, como no caso da construção de represas por castores, aumentam as possibilidades de vida dos próprios organismos. Por sua vez, uma característica universal dos organismos é o fato do aumento de seus números ser autolimitado, na medida em que conduzem à exaustão recursos tais como, por exemplo, alimentos e espaço. Além disso, tal consumo leva também à produção: os organismos absorvem matéria e energia em uma forma e as repassam convertidas em outras formas, que, de um lado, não podem ser mais usadas por indivíduos da mesma espécie, mas, de outro, podem servir como recursos para indivíduos de outras espécies (Lewontin, 2002, p. 60). Por todas estas razões, parece equivocada a idéia de que o estado do ambiente de um organismo poderia ser tratado como se fosse independente das ações do próprio organismo, como supõe o conceito de adaptação, conforme interpretado por Lewontin (1978; 2002).

O conceito de adaptação, na formulação típica citada acima, somente poderia ter poder heurístico na explicação da evolução biológica caso fosse possível a construção *a priori* de nichos ecológicos, antes mesmos que fossem conhecidos os organismos que os ocupam, passando-se, então, a descrever a evolução dos organismos na direção destes nichos. Nesses termos, o nicho seria concebido como uma espécie de espaço ecológico com buracos ocupados por organismos cujas propriedades lhes dariam a 'forma' correta para se adaptarem a tais lugares (Lewontin, 2002). Este seria um conceito de nicho ecológico preexistente e vazio, o qual, segundo a análise de Lewontin (2002, p.54, ver tb Levins; Lewontin, 1985, p. 70-71), só poderia ter valor no estudo da natureza caso fosse possível especificarmos "quais justaposições de fenômenos físicos constituiriam um nicho potencial e quais não o fariam". No entanto, não há uma maneira preferível de dividir o espaço multidimensional do nicho ecológico, e qualquer tentativa de fazê-lo na ausência de organismos que o constroem e definem seria arbitrária. Os organismos, através das suas atividades, tanto criam ativamente o ambiente em que vivem como determinam quais variáveis do ambiente externo farão parte de seu nicho. Por exemplo, em um mesmo jardim, convivem espécies que são polinizadas por diferentes insetos e pássaros, em conseqüência da época em que florescem e da morfologia da corola. Como argumenta Lewontin (2002, p. 58), beija-flores que polinizam flores com corola longa e fina não fazem parte do nicho de flores com corolas planas e abertas, polinizadas por outros organismos, ainda que flores dos dois tipos estejam abertas lado a lado e ao mesmo tempo. Uma mudança na população de beija-flores terá impacto sobre o sucesso da polinização de flores de corola longa e fina, na medida em que eles fazem parte do nicho de tais flores, mas não terá impacto sobre as flores com corolas planas e abertas.

Para Lewontin (1983; 2002. ver tb. Levins; Lewontin, 1985), as interações entre organismos e ambiente são muito mais complexas, por seu caráter dialético, do que pressupõe o conceito de adaptação como ajuste gradual dos organismos ao ambiente. Ele questiona, pois, a adequação da metáfora da 'adaptação' na descrição do processo evolutivo, uma vez que ela parece implicar a idéia de que há problemas fixos, criados de forma autônoma pelo ambiente externo, aos quais os organismos devem responder para se ajustar às condições externas de vida. Para este autor, a evolução pode ser mais adequadamente descrita como um processo contínuo, no qual os organismos evoluem para resolver problemas imediatos, em certa medida postos por eles mesmos ao modificarem o ambiente em que vivem, o que faz com que os problemas que eles resolvem mudem gradualmente, à medida que os organismos evoluem. Tratar-se-ia de um processo de coevolução dos organismos e de seus ambientes (Lewontin, 1997, p. 108). Lewontin propõe, então, a metáfora da 'construção' para representar esta situação. Esta proposta de Lewontin, que pode ser denominada 'construcionismo', deu vez a um programa de pesquisa atualmente bastante ativo, enfocando a construção de nichos pelos organismos (*e.g.*, Odling-Smee et al., 2003).

A proposta de Lewontin (2002), portanto, é a de que abandonemos a de que abandonemos o conceito de adaptação e o substitua pelo conceito de construção. Esta foi uma das reações à crise do conceito de adaptação instaurada pela crítica ao adaptacionismo. No entanto, entre os biólogos evolutivos e filósofos da biologia, houve aqueles que apresentaram propostas que buscavam 'salvar' o conceito de adaptação, por meio de sua reformulação. Este segundo tipo de reação pode ser ilustrado pela definição de adaptação proposta por Sober (1993), discutida anteriormente, ou pela proposição do conceito de *exaptação* por Gould e Vrba (1982), que leva a uma restrição do significado do termo 'adaptação'.

Gould e Vrba (1982) consideram que muitos dos problemas enfrentados pelo conceito de adaptação, tal como formulado pela teoria sintética da evolução, poderiam ser resolvidos mediante a criação de dois novos termos em uma "taxonomia da morfologia evolutiva" (1982, p. 520): *exaptação* e *aptação*.

O termo 'exaptação' se refere a caracteres previamente moldados pela seleção natural para uma função particular, mas que foram cooptados para um novo uso, ou a caracteres originalmente não-funcionais, resultantes de processos não-seletivos, mas que foram cooptados para um uso corrente.

As penas das aves oferecem um exemplo do primeiro caso. De acordo com os modelos atualmente mais aceitos, elas foram inicialmente selecionadas para a função de isolamento térmico em dinossauros ancestrais das aves e, posteriormente, foram cooptadas para o vôo, o

que terminou por resultar na seleção posterior de mudanças em características das próprias penas, em características esqueléticas e padrões neuromotores específicos. O segundo caso pode ser ilustrado pela cooptação das suturas cranianas não-fusionadas dos filhotes para o parto em mamíferos placentários, mencionado pelo próprio Darwin, em a *Origem das Espécies,* conforme citação que apresentamos acima.

Assim, o termo 'exaptação' designa características que apresentam valor funcional diante das circunstâncias correntes e **em conseqüência de** sua forma, mas são distintas de características que foram moldadas diretamente pela seleção natural **para** a função que desempenham hoje nos organismos que as possuem. Para estas últimas, Gould e Vrba reservam o termo 'adaptação'. Estes autores recomendam, ainda, que seja empregado o termo 'aptação', como um termo descritivo mais geral para designar um traço que contribui atualmente para a aptidão darwiniana, tratando exaptação e adaptação como subcategorias da aptação. A figura 2 apresenta os conceitos propostos por Gould e Vrba. É importante notar que a distinção proposta por eles incorpora uma distinção entre função e efeito similar àquela encontrada em Williams (1966).

Figura 2: A distinção entre adaptação e exaptação, de acordo com Gould e Vrba (1982).

Processo	Caráter		Uso
A seleção natural moldou o caráter para um uso corrente - Adaptação	Adaptação		Função
Um caráter, previamente moldado pela seleção natural para uma função particular (uma adaptação), é cooptado para um novo uso – Cooptação	Exaptação	Aptação	Efeito
Um caráter cuja origem não pode ser atribuida à ação direta da seleção natural (uma não aptação), é cooptado para um uso corrente – Cooptação			

Está breve análise acerca dos desafios enfrentados pelo conceito de adaptação e das soluções propostas para enfrentá-los nos permitiu identificar, pelo menos, quatro temas epistemológicos em torno dos quais têm sido gerada polissemia e variação conceitual: (1) o caráter ontológico da adaptação – estado de ser, característica ou produto; (2) condições necessárias e suficientes para que uma característica seja considerada adaptação – conferir aumento da aptidão darwiniana ou ser resultante de seleção natural; (3) natureza da solução adaptativa – solução ótima ou relativa; (4) fator causal – processo dirigido por forças internas ao organismo, processo dirigido por forças externas ao organismo ou processo dirigido pela relação dialética entre ambiente e organismo; e (5) papel na causalidade da forma orgânica – a

adaptação por seleção natural é a explicação prioritária para a origem da diversidade orgânica ou a adaptação é apenas um dos fenômenos implicados na origem e evolução da forma orgânica. É importante notar que o quarto tema já havia sido sinalizado na análise de Bowler (1983) acerca das dicotomias envolvidas nas distinções conceituais entre teorias darwinistas e antidarwinistas no século XIX.

Além dos temas identificados acima, reconhecemos mais um tema sugerido através da análise acerca das diferentes explicações para a diversidade da forma orgânica no século XVII e XVIII e do "re-ordenamento epistemológico" (Caponi, 2005, p. 233) que a emergência do pensamento darwinista demandou. Trata-se do mecanismo causal que dá origem à adaptação. Conforme as análises de Sober (1983), Lewontin (2002) e Caponi (2005), é possível identificar dois tipos gerais de mecanismos propostos para explicar a evolução da forma orgânica, ao longo da história do pensamento evolutivo, um de natureza transformacional e outro de natureza variacional.

Outra contribuição da análise acerca da gênese do conceito de adaptação ao longo da história das ciências biológicas foi a identificação de compromissos otológicos e epistemológicos que estruturaram formas de pensar este conceito. Este foi o caso, por exemplo, do foco no organismo como objeto explanatório das ciências biológicas e a crença nas causas próximas como "chave última" dos fenômenos estudados por esta ciência, compromissos epistemológicos que sustentaram tanto a abordagem do funcionalismo orgânico do século XVIII, como à defesa das teorias transformacionais anti-darwinistas no século XIX. Podemos citar ainda, os compromissos com a visão tipológica da espécie, com a idéia da grande cadeia de seres, a crença de que o mundo natural é ordenado e a visão de evolução como progresso. Estes compromissos podem ser organizados em pares dicotômicos em relação a compromissos que estiveram envolvidos na emergência e consolidação do pensamento darwinista, seriam eles, respectivamente: o foco de investigação na relação dos organismos com seu entorno e o compromisso com a busca de causas remotas e com uma perspectiva histórica de interpretar a diversidade orgânica, o pensamento populacional, e a noção de que a evolução é um processo permeado por contingências históricas.

2.2 A gênese do conceito de adaptação à luz da literatura em aprendizagem e ensino de evolução:

Há uma produção considerável de trabalhos que investigam diferentes aspectos da aprendizagem da teoria darwinista da evolução por alunos de diferentes graus de escolaridade. Inicialmente, esta produção seguiu a tendência das pesquisas sobre *misconceptions*

(concepções errôneas) e concepções alternativas das décadas de 1980 e 1990, as quais tinham como foco a investigações das idéias que os alunos apresentavam sobre os fenômenos naturais e suas explicações. Uma vez constatadas a abundância de concepções alternativas e a persistência de dificuldades por parte dos alunos em interpretar fenômenos biológicos em termos darwinistas (Brumby, 1983; Clough e Wood-Robinson, 1985; Bishop e Anderson, 1990; Jiménez, 1982; Ohlsson e Bee, 1992; Desmastes, Sttalage, Good, 1995; Desmastes, Good, Peebles, 1996; Ayuso e Banet, 1997), na década de 1990, o foco das pesquisas sobre ensino e aprendizagem de evolução passou a ser o desenvolvimento e a avaliação de novas abordagens instrucionais (Bishop e Anderson, 1990; Jiménez, 1992; Zuzovsky, 1994; Desmastes, Settlage e Good, 1995; Jensen e Finley, 1996). A maioria dessas abordagens instrucionais se encontrava fundamentada na estrutura teórico-metodológica do *modelo de mudança conceitual*, como descrito por Posner e colaboradores em 1982.

Como dissemos no capítulo precedente, os estudos em concepções alternativas e mudança conceitual têm representado uma rica fonte de dados para o estudo da gênese de conceitos centrais das ciências naturais no domínio ontogenético, uma vez que investigam como as idéias sobre estes conceitos evoluem ao longo da história de sujeitos individuais. Em nossa pesquisa, examinamos esta literatura, a qual, de fato, nos forneceu dados importantes para o exame da gênese do conceito de adaptação.

Após ter dominado, quase que hegemonicamente, a pesquisa em ensino de ciências, as investigações sobre concepções alternativas e as estratégias de ensino baseadas na mudança conceitual passaram a sofrer, desde a década de 1990, duras críticas, fundamentadas em argumentos de natureza filosófica e pedagógica (Cobern, 1991, 1996; Mortimer, 2000a; El-Hani; Bizzo, 2002). Estas críticas foram impulsionadas em parte pelos dados empíricos produzidos por pesquisas realizadas, ao longo das décadas de 1980 e 1990, com o intuito de avaliar a efetividade das estratégias de ensino baseadas na mudança conceitual. Estes estudos mostraram que boa parte dos alunos retornava às suas concepções prévias alguns meses após os episódios de ensino (Cobern, 1996; Mortimer 2000). Neste contexto, começaram a surgir, em meados dos anos 1990, novas abordagens na pesquisa sobre ensino e aprendizagem de ciências, que rumavam na direção de compreender as dimensões sócio-interacionistas e socioculturais implicadas na construção de conhecimentos na sala de aula.

Refletindo esta tendência na literatura em ensino de ciências, em nossa revisão acerca das investigações em ensino e aprendizagem de evolução, além dos estudos em concepções alternativas e em mudança conceitual citados acima, tivemos acesso a trabalhos de revisão crítica desta literatura (ex.Molina, 2004). Entre estas revisões foram encontrados estudos que

propõem novos princípios metodológicos na elaboração de instrumento de coleta de dados referentes às idéias dos estudantes (Anderson, Fisher e Norman, 2002), e investigações que avaliam empiricamente as afirmações produzidas pela literatura em concepções alternativas (Kampourakis e Zogza, 2006; Shtulman, 2006). Dispomos também de estudos que analisam aspectos da aprendizagem de evolução a partir de uma perspectiva sócio-cultural (Bizzo, 1994; Ash, 2008).

Nesta seção não pretendemos apresentar uma revisão exaustiva desta literatura, mas sim, um breve exame dos estudos que apresentaram contribuições significativas para nossa investigação, no que diz respeito, tanto à definição de procedimentos metodológicos para obter nossos próprios dados empíricos, quanto à identificação de compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam formas de pensar o conceito de adaptação.

Um dos primeiros trabalhos sobre concepções alternativas ao conceito darwinista de adaptação consistiu no estudo realizado por Brumby (1983) com estudantes australianos recém ingressos em um curso de medicina. Brumby investigou a interpretação de 150 estudantes a problemas qualitativos enfrentados por humanos em instâncias reais e baseados na aplicação do conceito de seleção natural, a exemplo da preocupação da comunidade acadêmica com a resistência bacteriana a antibióticos.

Apenas 10% dos estudantes investigados explicaram evolução em termos darwinistas. A grande maioria interpretou as mudanças evolutivas como resultado da necessidade dos organismos. Por exemplo, apenas 14% dos estudantes explicaram o surgimento da resistência bacteriana em termos de seleção de linhagens resistentes. Entre as respostas alternativas, foi atribuído o surgimento da resistência ao fato das bactérias se tornarem tolerantes ao antibiótico, através de suas "próprias adaptações". Brumby (1983, p. 499) conclui que a maior parte dos estudantes explica as mudanças evolutivas que ocorrem em populações ao longo de gerações referindo-se a mudanças que ocorrem ao longo da vida de um indivíduo, as quais denominam adaptações. Nesse caso, a adaptação é concebida como mudança fenotípica adquirida ao longo da vida do indivíduo, as quais são passadas geneticamente para a próxima geração. Foi freqüente, também, o fato dos estudantes confundirem adaptações evolutivas com adaptações fisiológicas, como a confusão entre o desenvolvimento de imunidade, um processo que ocorre na ontogenia de um organismo individual, e o surgimento de tolerância a antibióticos, um fenômeno que tem dimensões populacionais e origem em mudanças evolutivas acumuladas ao longo de gerações.

A compreensão da adaptação evolutiva por estudantes com uma faixa etária menor, entre 12 e 16 anos, foi investigada por Clough e Wood-Robinson (1985). Os autores

entrevistaram 84 estudantes do ensino secundário britânico, solicitando-os a resolver duas situações problemas que pretendiam testar a compreensão da seguinte idéia: “a medida que o ambiente muda, organismos com variantes favoráveis sobrevivem e deixam mais descendentes do que aqueles com variantes desfavoráveis” (Clough e Wood-Robinson , 1985, p. 126). Os autores relatam que, em geral, os estudantes apresentaram grande dificuldade em responder os problemas propostos. Cerca de 50% das respostas propostas pelos alunos para uma das situações problemas foram consideradas pelos autores como “tautológicas e não codificáveis”. Esta situação se referia à observação de que havia maior incidência de lagartas escuras em troncos de árvores escuros e de lagartas claras em troncos claros em uma determinada mata. Era solicitado dos estudantes que explicassem estes dados, e que previssem o que ocorreria com as lagartas de cor escura caso os troncos das árvores escuras sofressem uma mudança na coloração ao longo dos anos, em decorrência, por exemplo, de serem cobertas por liquens.

Houve também uma grande incidência de alunos que explicaram adaptação em termos antropomórficos e teleológicos. Algumas respostas indicaram que os alunos interpretavam adaptação como uma resposta deliberada do organismo a uma necessidade criada pela mudança ambiental.

Um dado importante destacado por Clough e Wood-Robinson (1985, p. 128) consiste no fato do contexto apresentado pelas questões influenciar a forma de pensar dos estudantes. As respostas ao cenário sobre a camuflagem de insetos, descrito anteriormente, tiveram como estrutura conceitual, em sua maioria, a idéia de que o animal busca um ambiente mais favorável, indicando algumas vezes a idéia de que os animais agem conscientemente. No cenário acerca da origem da pelagem espessa da raposa do Ártico e sua relação com a sobrevivência em clima frio, por sua vez, o tema mais dominante consistiu na necessidade dos organismos em responder às adversidades do ambiente em ordem de sobreviver. Para os autores, este dado pode estar indicando o fato de os estudantes não interpretarem os problemas apresentados como referentes ao mesmo fenômeno, uma adaptação evolutiva.

Com o objetivo de entender as dificuldades que estudantes universitários, de outras áreas do conhecimento diferentes da biologia, apresentam para entender a teoria da seleção natural, Bishop e Anderson (1990) desenvolveram um estudo baseado nos princípios metodológicos das pesquisas em mudança conceitual. Aplicaram instrumentos de pré e pós-teste a 110 estudantes que estavam envolvidos em um curso introdutório de biologia que incluía o ensino de evolução e seleção natural. Os autores pretendiam realizar uma descrição mais completa e sistemática das concepções dos estudantes universitários do que aquela

realizada por Brumby (1984). Esta descrição foi desenvolvida com base nos seguintes dados: (1) respostas escritas a um pré-teste composto por questões abertas que solicitavam aos estudantes que explicassem situações envolvendo seleção natural e mudanças em populações; (2) entrevistas com alguns estudantes voluntários, em que eram convidados a explicar o raciocínio que empregaram para analisar as situações problemas que interpretaram no pré-teste escrito; e (3) afirmações orais e escritas feitas pelos estudantes nos exames e nas atividades de laboratório, realizados ao longo do curso.

A partir destes dados, Bishop e Anderson (1990) estruturam a caracterização das concepções dos estudantes acerca de como e porque a evolução ocorre, em termos de três aspectos, em relação aos quais as idéias dos estudantes não estavam de acordo com a teoria darwinista de evolução aceita pela comunidade científica: a origem e preservação de variantes na população, o papel da variação intrapopulacional no processo evolutivo, e a evolução como mudança na freqüência de indivíduos com determinadas características.

Em relação ao primeiro aspecto, os autores concluíram que um dos fatores que dificulta a compreensão da teoria da evolução por seleção natural é o fato de os estudantes não reconhecerem a distinção e a relação entre dois processos: a produção de variação intrapopulacional, através de mutações e recombinação gênica, um processo contingente, e a preservação de certas variantes preexistentes pelas vantagens que apresentam sobre as demais, ao conferir maiores chances de sobrevivência e reprodução aos indivíduos que a possuem. Os estudantes investigados, em sua maioria, concebiam a mudança evolutiva como um processo único no qual as características das espécies mudam gradualmente, ao longo do tempo, em decorrências de fatores ambientais. Entre as idéias que foram apresentadas pelos estudantes para explicar o mecanismo através do qual estas mudanças podem ocorrer, os autores destacaram a idéia de que os organismos desenvolviam novos traços porque os necessitavam para sobreviver e a idéia de que as espécies mudam porque seus membros usam ou deixam de usar certos órgãos ou habilidades. Houve ainda o caso de estudantes que empregavam o termo adaptação com o significado de mudanças individuais em respostas ao ambiente para explicar as mudanças evolutivas. Os autores consideraram estas idéias como "implicitamente Lamarkistas", por implicarem na idéia de herança de caracteres adquiridos.

Segundo Bishop e Anderson (1990, p. 422-423), o segundo aspecto em que as idéias dos estudantes não estão de acordo com a perspectiva darwinista aceita pela comunidade científica reside no fato dos estudantes não reconhecerem a importância da variação intrapopulacional no processo evolutivo. Em lugar de interpretarem a evolução como um fenômeno populacional, entendendo que a população é composta por indivíduos diferentes, os

estudantes concebem a evolução como sendo um processo que molda as espécies como um todo. Conseqüentemente, os estudantes não atribuem às mudanças nas proporções de indivíduos portadores de certos traços fenotípicos o mecanismo que dá origem às mudanças evolutivas em uma população. Para muitos estudantes, estas mudanças evolutivas são conseqüências das mudanças sofridas pelos traços fenotípicos em si, os quais se aperfeiçoam ou se deterioram de uma geração a outra.

Para Bishop e Anderson (1990, p. 422), além dos fatores já explicitados, estas concepções alternativas poderiam também estar relacionadas à inabilidade dos estudantes em distinguir explicações funcionais de explicações causais. Uma evidência apresentada pelos autores para esta hipótese é o fato de, para muitos estudantes, a explicação para a função de um traço individual ser suficiente para explicar como este traço evoluiu: "O fato de hoje o porco-espinho precisar de seus espinhos para sobreviver é visto como uma explicação suficiente de como os espinhos evoluíram" (Bishop e Anderson, 1990 , p. 422).

A distinção entre explicações funcionais e causais é bastante polêmica, haja vista que alguns filósofos que abordam a questão da atribuição de função, consideram explicações funcionais como explicação causais legitimas em termos científicos, como Looijen (1998) e Wright (1973), enquanto outros como Cummins (1975) consideram que as atribuições funcionais, a despeito de serem asserções explicativas, são explicações de um tipo especial. A discordância entre Wrigth e Cummins reside no tipo de abordagem epistemológica da análise funcional adotada por cada um destes autores. Wright apresenta uma abordagem etiológica, e considera que a atribuição de função a algo não se restringe a explicitar a coisa particular para a qual este algo serve, mas também a explicar por que este algo está presente, como ele chegou até ali. Como analisa Almeida (2004), no caso das funções naturais, poderia ser evocada a seleção natural para dar conta de tais explicações. Cummins propõem uma abordagem do papel causal, segundo a qual "atribuir função a algo é atribuir-lhe uma capacidade que é identificada pelo seu papel em uma análise de alguma capacidade do sistema" (Almeida, 2004, p. 92). Ao contrário de Wright, Cummins considera que explicações funcionais podem ser adequadamente realizadas, na biologia, de modo independente de considerações evolutivas.

Não é possível neste trabalho, e talvez fugiria ao escopo do mesmo, realizar uma abordagem mais exaustiva que esta discussão filosófica merece[14]. No entanto, queremos deixar claro que, tendo em vista esta breve interpretação a respeito de como as explicações

[14] Voltaremos a tratar deste tema no capítulo seguinte, quando caracterizamos epistemologicamente as zonas do perfil de adaptação.

funcionais vem sendo tratadas na filosofia da biologia, consideramos que a explicação dada pelo estudante a respeito dos espinhos do porco-espinho é uma explicação funcional etiológica – ela busca explicar a origem do traço – não se trata, portanto, de uma explicação funcional sistêmica, como aquela proposta por Cummins (1975). Diferentemente, da explicação etiológica de Wright, entretanto, a seleção natural não é claramente evocada na explicação do estudante. Em nossa interpretação, trata-se de uma explicação para origem da estrutura adaptativa compromissada com uma perspectiva teleológica de interpretar a causalidade dos processos biológicos.

A respeito da persistência das concepções alternativas em evolução, Bishop e Anderson (1990) argumentam que muitas destas concepções são reforçadas pelo fato dos estudantes não compreenderem o significado com que certos termos são usados no contexto da biologia evolutiva, entre eles, o termo adaptação. O termo adaptação e seus cognatos, como verbo "adaptar", são usados no contexto da biologia evolutiva para se referir a um fenômeno populacional. Na linguagem cotidiana, no entanto, refere-se a alterações estruturais, fisiológicas ou comportamentais que indivíduos promovem por conta própria ao longo de suas vidas: *"O cachorro se adaptou a seu novo lar"*. Para os autores, é compreensível que os estudantes, ao ouvirem o termo "adaptação" no contexto da descrição de fenômenos evolutivos, construam significados baseados no uso do termo na linguagem cotidiana. Na interpretação de Bishop e Anderson (1990, p. 423), este fato pode reforçar a idéia de que o ambiente tem influência direta na origem e desenvolvimento de traços.

Além de caracterizar as idéias dos estudantes, Bishop e Anderson (1990) elaboraram uma seqüência didática para o ensino de evolução por seleção natural, com base nos princípios do modelo de mudança conceitual. Ao disponibilizar instrumentos de investigação das idéias dos estudantes, estratégias de ensino e procedimentos para medir mudança conceitual em decorrência deste processo de instrução, o estudo de Bishop e Anderson (1990) tornou-se uma referência para as pesquisas em ensino e aprendizagem em evolução baseadas na mudança conceitual, e foi replicado por outros pesquisadores (Bizzo, 1991; 1994; Demastes; Settlage; Good, 1995).

Bizzo (1991; 1994) aplicou um questionário adaptado do instrumento de Bishop e Anderson (1990) a uma amostra de 192 alunos do ensino médio de três escolas da cidade de São Paulo. O número de respostas corretas dadas às cinco questões do instrumento foi muito baixo. Nas quatro questões do questionário em que os estudantes deveriam explicar a origem de estruturas e comportamentos adaptativos, o número de estudantes a mencionarem produção aleatória e seleção de variantes fenotípicas nas populações esteve sempre abaixo dos 30%.

Entre as respostas alternativas foram comuns: (1) a idéias de que a cada geração ocorre um incremento do caráter, estrutura ou comportamento, e este incremento é transmitido à prole através da reprodução; (2) a noção de que as mudanças adaptativas são conseqüências de uso intenso ou desuso de estruturas orgânicas em questão; e (3) a noção de herança de caracteres adquiridos. No que diz respeito a ultima questão, em que os estudantes eram solicitados a explicar o que vem a ser adaptações e a fornecer exemplos com base nas questões anteriores, apenas 9% da amostra descreveram adaptação como um processo populacional, a grande maioria, cerca de 73%, explicou as adaptações em termos de processos de ajuste dos indivíduos às condições ambientais.

Bizzo (1991; 1994) realizou também entrevistas com um grupo de 11 estudantes desta mesma população, a qual inclui estudantes diferentes no que diz respeitos aos níveis sócio-econômicos e formação religiosa. Bizzo sumarizou os resultados obtidos nestas entrevistas do seguinte modo: (1) os estudantes tendem a interpretar a evolução a partir de uma abordagem antropocêntrica; (2) mesmo quando estão conscientes de que características adquiridas não são herdadas, os estudantes insistem em considerar o ambiente o principal fator responsável pela produção de variantes fenotípicas que apresentam vantagens adaptativas; (3) se referem à adaptação como sendo um processo de ajuste que ocorre ao longo da vida dos organismos; (4) a evolução é vista como um processo intrinsecamente bom, que leva ao progresso, aperfeiçoamento e crescimento; (5) o qual pode se tratar tanto de um processo biológico, quanto cultural e/ou relativo a artefatos humanos.

Alguns aspectos que caracterizam as idéias dos estudantes investigadas por Bizzo (1991; 1994), sumarizadas acima, merecem ser detalhados. Ao serem questionados a respeito do que sabiam sobre evolução, os estudantes invariavelmente se referiram à evolução humana. De um modo geral, recusaram a aplicar às plantas os mesmos princípios evolutivos que consideram operar nos animais, sob a justificativa de que as plantas não têm capacidade de perceberem as condições adversas em que estão vivendo, diferente dos animais, os quais são conscientes de suas necessidades e, portanto, procuram constantemente "evoluir". Nestes casos, ao que nos parece estamos diante de uma perspectiva teleológica e antropomórfica de explicar as mudanças evolutivas, vistas como resultantes de uma espécie de ajuste deliberado e consciente dos organismos às necessidades que lhes foram impostas pelo meio ambiente. Em outros casos relatados por Bizzo (1994, p. 543), é atribuído ao meio ambiente o papel de agir diretamente sob os organismos, produzindo novidades evolutivas. Por exemplo, um dos estudantes explicou a origem da resistência de insetos ao DDT propondo que este inseticida agiria nos insetos de modo a provocar a produção de anticorpos. Esta substância ou a

capacidade de produzi-la seria, então, herdada pelos descendentes, de modo que a próxima geração estaria também protegida deste inseticida.

No que diz respeito ao termo adaptação, os estudantes o significam como um processo que ocorre no nível ontogenético, ou seja, no tempo de vida de um organismo. Por exemplo, quando um animal está procurando por abrigo num dia de inverno, diz-se que ele está buscando "se adaptar" ao clima (Bizzo, 1994, p. 544). Outro aspecto relevante, destacado por Bizzo (1994, p. 544), é o fato de alguns estudantes pressuporem que a adaptação deve ocorrer entre praticamente todos os animais, dado que todos aqueles que não foram capazes de se ajustar, devem ter sido, prontamente, eliminados. Para estes estudantes, a seleção natural constitui um mecanismo que elimina os organismos que não estão bem adaptados. Nestes casos, é como se a adaptação em lugar de ser vista como resultante da seleção natural, é concebida como uma condição pré-existente a ação deste mecanismo. Neste caso, o papel da seleção natural no processo evolutivo seria, apenas, o de eliminar os indivíduos que não apresentam as características perfeitas.

Embora a coleta de dados realizada por Bizzo (1991;1994) tenha se baseado em instrumentos empregados por Bishop e Anderson (1990), e tenham sido encontrados resultados semelhantes àqueles revelados pelo referido estudo prévio, Bizzo (1991; 1994) interpretou as abundantes concepções alternativas dos estudantes a partir de uma perspectiva diferente daquela dominante na literatura em concepções alternativas. Até aquele momento, era comum interpretá-las como sendo decorrentes de problemas no ensino ou de inabilidades cognitivas dos estudantes. Adotando uma perspectiva sociocultural da aprendizagem, Bizzo (1994) propôs que as concepções dos estudantes fossem consideradas como o produto de uma seqüência de sucessivas re-interpretações do Darwinismo, as quais envolviam valores socioculturais e crenças. Um processo denominado por ele de *reconceptualização social* do conhecimento.

A tese sustentada por Bizzo (1994) é que as concepções dos estudantes têm origem nos diferentes significados que os conceitos centrais da evolução têm assumido nas diferentes fontes de divulgação científica, assim como, em decorrência das ciladas semânticas construídas durante a transcrição de termos científicos para a linguagem do público comum, no próprio processo de produção do conhecimento escolar..

Assim como Bizzo (1994), Ferrari e Chi (1998) também propõem uma nova interpretação para a origem e persistência das concepções errôneas (*misconceptions*) dos estudantes a respeito da evolução por seleção natural, em relação às tradicionalmente apontadas na literatura das décadas de 1980 e 1990. Segundo os autores, três tipos de

hipóteses têm sido, freqüentemente, apontadas como as razões para a existência de concepções errôneas em relação à evolução por seleção natural: (1) as dificuldades dos estudantes em compreender os conceitos chaves que estruturam o discurso darwinista, a exemplo dos conceitos de população, freqüência e adaptação; (2) as dificuldades dos estudantes em reconciliar os níveis hierárquicos de organização para os conceitos tais como gene, indivíduos, população e espécie; e (3) em entender a natureza dinâmica, ou a dimensão temporal do conceito de evolução. Ferrari e Chi propõem que as dificuldades dos estudantes em entender o mecanismo da seleção natural, e a evolução em geral, podem ser interpretadas em termos de um erro categórico, o de situar o conceito de seleção natural em uma categoria ontológica equivocada.

Ferrari e Chi (1998) tomaram como base as categorias ontológicas descritas por Chi (1992; 1997), especificamente a proposta de que os processos naturais podem ser distinguidos em dois tipos ontológicos básicos: eventos e equilibração. Segundo Chi (1997), estes dois tipos de processos diferem diametralmente em um conjunto de seis propriedades. Os processos do tipo evento apresentam os seguintes atributos: (1) são desencadeados por elementos que apresentam ações distintas; (2) são delimitados por um início e um fim claramente definidos; (3) transcorrem segundo uma ordem seqüencial; (4) e a seqüência de ações é contingente ou causal; (5) são dirigidos para uma meta; e (6) terminam quando esta meta é atingida. De modo contrário, os processos de equilibração, designados também de processos de interações baseadas em restrições, envolvem interações contínuas entre elementos que agem simultaneamente, cujos efeitos em rede manifestam propriedades emergentes alternativas. Portanto, este tipo de processo não é dirigido por uma meta específica, e não apresenta início ou fim claramente definidos. Os processos de equilibração estão sob uma dinâmica contínua de interação e nunca terminam, ainda que não haja um movimento aparente no nível perceptual.

Ferrari e Chi propõem que o conceito moderno de evolução, e mais especificamente, o mecanismo de seleção natural, são conceitos que apresentam os atributos de processos de equilibração. Para sustentar este argumentam, os autores analisam como o exemplo clássico da evolução das mariposas *Biston betularia* pode satisfazer as seis propriedades que caracterizam os processos de equilibração, conforme a proposta de Chi (1997).

Em meados do século XIX, observou-se um aumento na freqüência das variedades escuras destas mariposas, as quais inicialmente eram raras, nas regiões industrializadas do norte e centro da Inglaterra. Este fato foi explicado em termos dos princípios darwinistas que estruturam a teoria da evolução por seleção natural, e buscado evidências para sustentar esta

explicação. Indivíduos desta espécie de mariposa apresentaram variações na pigmentação melânica, em decorrência de uma única mutação, completamente dominante que apareceu na população (Bell, 1997 apud Ferrari e Chi, 1998). Este acontecimento coincidiu com o fato da fuligem das áreas industrializadas, combinada com a água da chuva, tornarem as paredes e os troncos de árvores enegrecidos nesta região. De modo que as variedades de mariposas mais claras, de pigmentação mesclada, se tornaram mais visíveis aos pássaros, enquanto as variedades escuras permaneceram inconspícuas. Em um estudo experimental realizado por Kettlewell (1973 apud Ferrari e Chi, 1998), foi demonstrado que os pássaros capturavam as mariposas pousadas em troncos de árvores, comendo aquelas mariposas mais conspícuas primeiro[15]. A previsão que advém desta observação é a de que as mariposas menos visíveis terão maiores chances de sobreviver, e, necessariamente, maiores chances de se reproduzir. O estudo de Kettlewell mostrou que nas áreas rurais, a variedade mesclada (mais claras) aumentou em número no curso de alguns dias, enquanto que nas áreas poluídas houve aumento da variedade melânica (escuras). De acordo com a teoria da evolução por seleção natural, o acúmulo de variabilidade, produzida aleatoriamente, pode levar a mudanças significativas na espécie em questão. De fato, estas mudanças, em geral, são observáveis em uma única geração (Bell, 1997 apud Ferrari e Chi, 1998).

Ferrari e Chi analisam como esta narrativa evolutiva satisfaz os atributos ontológicos de um processo de equilibração, da seguinte forma:

> Primeiro a evolução da mariposa melânica envolve ações uniformes (cada mariposa pode ser comida ou não comida pelos pássaros). Segundo, a evolução é contínua; em cada geração, o mesmo tipo de mariposa é comida. Terceiro, a evolução é simultânea, e não seqüencial; ou seja, os pássaros predadores estão comendo as mariposas visíveis e palatáveis a qualquer momento e em toda parte; Quarto, a evolução é o resultado de seleções múltiplas e independentes de organismos que competem por recursos; Quinto, a evolução de uma nova espécie de mariposa escura é o resultado de múltiplas mariposas claras terem sido comidas, deixando as mariposas escuras se reproduzirem, é um efeito em rede que reflete o resultado probabilístico da seleção fenotípica (e genética). Por fim, ainda que isto não seja aparente, nada termina. Pássaros continuam comendo as mariposas de cor clara que eles conseguem ver, e conseqüentemente, as mariposas de cor escura (e seus genes) estão sendo continuamente selecionadas entre aquelas presentes na população, mesmo que os pássaros e as mariposas cheguem em um equilíbrio dinâmico que não produza mudanças aparentes. (Ferrari;Chi, 1998, p. 1237).

Feita esta argumentação, os autores apresentam a seguinte hipótese para o documentado fracasso dos estudantes em entender a evolução por seleção natural: o fracasso

---

[15] O trabalho de Kettlewell, e em certa medida, a narrativa adaptacionista que propõe para a distribuição populacional das mariposas melânicas, tem sido duramente criticado, em grande parte por problemas metodológicos sérios na realização de seus experimentos, alguns dos quais podem ser mesmo considerados como fraudes (ver Majerus, 1998; Coyne, 1998; Roque, 2003). No entanto, o uso deste exemplo não invalida o argumento de Ferrari e Chi, o qual poderia ser estruturado com base em outras narrativas adaptacionistas de fato bem documentadas.

dos estudantes não reside necessariamente no fato de fracassarem em entender os princípios darwinistas isoladamente, mas no fato de fracassam em entender os atributos ontológicos de um processo de equilibração, do qual a evolução é uma instância. O problema está em os estudantes atribuem à evolução, e à seleção natural, em particular, propriedades típicas de um processo do tipo evento.

Para que esta hipótese pudesse ser validada, Ferrari e Chi precisavam mostrar que as explicações dos estudantes sobre evolução encontravam-se estruturadas em termos da ontologia de eventos e não da ontologia de processos de equilibração. Para dar suporte empírico a sua tese, os autores realizaram uma análise das explicações de 40 estudantes universitários, sem conhecimentos prévios em cursos de biologia e evolução, a cinco problemas relativos a situações hipotéticas. Estes problemas foram elaborados com o objetivo de acessar cada um dos cinco princípios darwinistas: variabilidade intrapopulacional, determinação genética dos traços, sobrevivência diferencial, reprodução diferencial e acúmulo de mudanças ao longo das gerações. As respostas dos estudantes foram analisadas de acordo com dois esquemas de codificação; (1) um esquema que examina se as explicações dos estudantes refletem algum dos cinco princípios darwinistas ou se inversamente, algum tipo de teoria não darwinista e; (2) um esquema que investiga se as explicações dos estudantes apresentam atributos ontológicos da categoria de processos de equilibração.

Os resultados encontrados por Ferrari e Chi (1998), podem ser sumarizados do seguinte modo: (1) O princípio darwinista que obteve maior escore entre as respostas darwinistas foi a sobrevivência diferencial; (2) As respostas não-darwinistas, as quais totalizaram 63% do total de respostas analisadas, foram classificadas em duas grandes categorias: evolução transmutacional e evolução transformacional. Na primeira delas, a mudança evolutiva é explicada a partir da origem repentina de um novo tipo de indivíduo na população, através da ocorrência de uma grande mutação, dando origem a uma nova espécie. No segundo caso, a evolução é concebida como uma mudança gradual, espontânea ou deliberada, dos membros individuais de uma espécie, através de mudanças tanto fenotípicas como genéticas, as quais transformam a espécie como um todo; (3) As explicações darwinistas apresentaram uma correlação positiva com atributos do processo de equilibração e uma correlação negativa com atributos dos processos de evento; (4) As explicações não-darwinistas apresentaram nenhuma correlação com atributos de processos de equilibração e alta correlação positiva com atributos de processos de eventos.

Ferrari e Chi esclarecem que as respostas dos estudantes que foram categorizadas como explicações darwinistas, o foram apenas pelo fato de empregarem um ou mais dos cinco

princípios darwinistas, que segundo o referencial utilizado pelos autores, estruturam a teoria da evolução por seleção natural (Ohlson, 1991; Kitcher, 1993; Mayr, 1997). No entanto, eles observaram que, em grande parte destas respostas, os referidos princípios darwinistas se encontravam embebidos em uma estrutura explicativa incorreta, as quais apresentavam um pensamento finalista. Com base nestes dados, os autores concluem que a despeito de entenderem os princípios darwinistas, ou alguns destes princípios, estes estudantes falham em entender o mecanismo da seleção natural e a explicação que apresenta para o fenômeno evolutivo.

Outro dado para o qual os autores nos chamam atenção é o fato de que os princípios darwinistas mais bem compreendidos pelos estudantes terem sido aqueles da hereditariedade, sobrevivência e reprodução diferencial, os quais são considerados conceitos biológicos de fácil entendimento. Por outro lado, os estudantes demonstraram ter maior dificuldade em entender os princípios darwinistas (variabilidade intrapopulacional e acúmulo de mudanças) que se referem a atributos dos processos de equilibração, tais como aleatoriedade e independência e efeitos em rede. De fato a incidência de referências a atributos ontológicos de evento, no geral, foi bem maior (63%) que a freqüência com que os atributos ontológicos de equilibração foram citados nas respostas dos estudantes.

Entre os atributos ontológicos de evento, citados nas explicações evolutivas dos estudantes os mais freqüentes foram: transcorrer segundo uma seqüência de eventos causais e/ou contingentes (179 unidades de análise) - *Provavelmente os pés de cereja* [produzidos em laboratório] *entrarão em extinção devido a parasitas, escassez de água, mudanças climáticas, e até mesmo, a manipulação por animais ou humana* - ser delimitado por um começo e um fim claros (56 unidades de análise) – *As espécies têm de se adaptar ou serão exterminadas* -, e ser dirigido por uma meta (51 unidades de análise) – *Para que a planta* [produzida em laboratório*] possa sobreviver no ambiente do campo, ela terá que desenvolver características que sejam condizentes com a quantidade de luz solar, água, parasitas, etc., de modo que ela continue a florescer*. Os atributos ontológicos de equilibração foram bem menos referidos nas explicações dos estudantes. Apenas 8 unidades de análise descreveram a evolução fazendo menção a ações independentes e aleatórias – *"mutações aleatórias podem ocorrer e tornar um ou mais pés* [de cereja] *melhor adaptados*" ou *"O padrão de coloração dos animais podem também servir para outros fatores importantes como atração sexual e sinais de saúde"* – apenas 5 unidades de análise descreveram a evolução como um processo contínuo – *"Outros predadores podem aparecer do mesmo modo; é por isso que a evolução é contínua"* . Não foram encontradas unidades de análise em que a evolução fosse referida

como o resultado de um efeito em rede de uma seleção independente de organismos competindo simultaneamente por recursos.

Na interpretação de Ferrari e Chi, estes resultados mostram que estudantes universitários, que não têm formação específica em biologia e na teoria evolutiva, interpretam a seleção natural como sendo um evento complexo, e não em termos de interações baseadas em restrições em um sistema complexo atingindo equilíbrio. De certa forma, este é um dado esperado, se levarmos em conta que a referência a sistemas em busca de equilíbrio é muito incomum nas explicações cotidianas (Larreamendy-Joerns, 1996 apud Ferrari e Chi, 1998, p. 1249), e que existe uma forte predisposição humana em perceber todos os processos como eventos, e a construir narrativas nas quais agentes lutam para ultrapassar obstáculos e alcançar metas (Bruner, 1990). Por isso, como constataram Ferrari e Chi (1998, p. 1249), os estudantes, mesmo quando introduzem atributos de processos de equilíbrio em suas explicações evolutivas, tendem a inseri-los em narrativas estruturadas em seqüências de ações causais, dirigidas a uma meta.

Para analisar as explicações dos estudantes em termos de um conjunto particular de atributos ontológicos, Ferrari e Chi isolaram certas frases chaves, determinadas *a priori,* para indicar o compromisso tanto com a ontologia de equilibração quanto de evento. Por exemplo, dizer *"x por causa de y"* foi considerado um indício de compromisso com a conexão de eventos causais e, portanto, com um atributo da categoria de evento. Os autores esclareceram que não se ativeram meramente às palavras usadas pelos estudantes, mas às idéias que estavam por traz delas (Ferrari e Chi 1998, p. 1243). De modo que, diante do enunciado *"mutações permitiram as espécies sobreviverem"*, foi interpretado que o sujeito considerou a mutação como a causa para a sobrevivência da espécie e um dos eventos que compõe uma seqüência de ações. No entanto, o enunciado "*mutações aleatórias poderão ocorrer, tornando um ou mais pés* [de cereja] *melhor adaptado*", foi considerado pelos autores como uma resposta em que a mutação está sendo considerada como uma variável sistemática, de modo consistente com a ontologia de equilibração.

Como vimos no capítulo precedente, fundamentando-se na noção de heterogeneidade do pensamento verbal (Tulviste, 1986), considera-se que um passo metodológico importante na constituição das zonas de um perfil conceitual é a identificação e caracterização dos modos de falar associados às formas de pensar o conceito em questão. Portanto, a identificação de frases chaves que revelam o compromisso dos estudantes com atributos de um certo tipo ontológico de processo, ao descrever o fenômeno evolutivo, tal como feita por Ferrari e Chi

(1998), constitui uma referência importante para a identificação de modos de falar sobre adaptação que nos auxiliará na caracterização de zonas de um perfil para este conceito.

Outra contribuição do trabalho de Ferrari e Chi (1998) está no fato de seu estudo não se restringir a categorizar as respostas dos estudantes, mas também em investigar os compromissos ontológicos que as fundamentam. Este é o principal princípio metodológico da constituição das zonas de um perfil conceitual, o de identificar compromissos ontológicos e epistemológicos que estruturam as diferentes formas de pensar o conceito.

O estudo realizado por Demastes, Good e Peebles (1996) também nos trouxe importantes contribuições, uma vez que de modo diferente das pesquisas realizadas sob a tradição das concepções alternativas, não se limitou a categorizar as idéias dos estudantes em relação aos conceitos da biologia evolutiva, mas procurou descrever o modo como essas idéias sofrem uma reestruturação ao longo de um processo de aprendizagem.

Desmastes, Good e Peebles investigaram a elaboração conceitual de estudantes em relação à estrutura teórica da biologia evolutiva, com a intenção de discutir os limites e as condições de aplicabilidade da teoria de mudança conceitual, tal como proposta originalmente por Posner e colaboradores (1982). Desmastes, Good e Peebles estudaram a elaboração conceitual de três estudantes ao longo de um ano letivo de um curso de Biologia, equivalente a uma série do ensino médio brasileiro. O tema evolução, além de ser abordado em uma unidade específica com duração de dez dias letivos, constituía o tema integrador de todo o curso. Os dados utilizados no estudo incluíram observações de sala de aula, registradas em caderno de campo e em áudio, um conjunto de 17 entrevistas realizadas ao longo do ano letivo, registradas em áudio e vídeo, respostas a pré e pós-testes e a atividades escolares, como exames de avaliação e tarefas extra-classe. Estes dados foram analisados de modo a compor a descrição da estrutura conceitual apresentada por cada um dos participantes a cada três intervalos, no início, no meio e ao final do ano letivo.

Desmastes, Good e Peebles destacaram dois resultados do estudo: (1) os padrões de mudança conceitual documentados mostraram que, no caso da aprendizagem de evolução, muitas concepções alternativas se encontram entrelaçadas de tal modo que a mudança em uma concepção pode demandar a mudança de muitas outras; (2) foram identificados quatro padrões de mudança conceitual – em cascata, em conjunto, por acréscimo, e por construções duais – dos quais dois deles não são previstos na teoria da mudança conceitual.

O padrão em cascada diz respeito à evolução conceitual em que a mudança de uma única concepção gera uma seqüência de mudanças conceituais. A mudança conceitual em conjunto é um dos padrões descritos pela teoria da mudança conceitual, tal como concebida

por Posner et. al. (1982), em que a concepção prévia é completamente descartada em favor da nova concepção, com base nos méritos das evidências que sustentam a nova concepção. De modo diametralmente oposto a este último padrão, no caso do padrão por construções duais, os estudantes empregam duas concepções logicamente incompatíveis, sem reconhecer ou incomodar-se com as inconsistências derivadas deste uso dual. Em um terceiro padrão documentado pelos autores, a mudança conceitual por acréscimo, a evolução conceitual tem início com o uso de um novo termo científico pelos estudantes, ainda sem domínio do seu significado, para incrementar uma explicação construída previamente.

Cada um destes quatro padrões foi descrito a partir das etapas de reestruturação conceitual experimentada pelas três estudantes. Estas etapas foram identificadas a partir das respostas a entrevistas, dados de sala de aula e de outras atividades realizadas no inicio, meio e final do ano letivo.

O padrão em cascata é descrito pelos autores a partir da observação a respeito do uso que duas estudantes, às quais deram o pseudônimo de Meredith e Stephanie, fazem da idéia de necessidade para explicar a evolução de estruturas adaptativas, a exemplo dos pés membranosos dos patos ou da capacidade das chitas de correr 60 milhas por hora, no pré-teste e nas entrevistas realizadas no início do ano. Na interpretação de Desmastes, Good e Peebles (1996, p. 413) enquanto esta idéia esteve presente, outras concepções alternativas sobre a mudança evolutiva permaneceram inalteradas. Esta idéia teria o papel de controlar e organizar a aprendizagem da evolução, de modo que sua modificação gera uma cascata de mudanças conceituais. Os autores descrevem as seguintes mudanças conceituais em cascata, a partir dos dados relativos às entrevistas com Meredith: (1) a idéia de necessidade é substituída pela idéia de que a mutação dá origem às variações nas populações; (2) a concepção de que os padrões de evolução estão associados às condições ambientais dá lugar à noção de que os padrões de evolução apresentam um componente aleatório; (3) a confusão entre a produção de variantes e ação da seleção natural é seguida pelo reconhecimento de que estes são dois processos distintos que participam da evolução; (4) a unidade das mudanças evolutivas deixa de ser toda a população para ser uma percentagem da população.[16]

---

[16] Esta referência feita por Desmastes e Good (1996) às concepções a respeito da unidade das mudanças evolutivas nos pareceu passível de mal entendidos. Afinal uma das distinções da explicação darwinista em relação às teorias transformacionais é o fato de descrever a mudança evolutiva como um fenômeno populacional. Ao interpretar os dados apresentados pelos autores foi possível compreender que queriam se referir ao fato de os estudantes inicialmente considerarem que as mudanças evolutivas têm origem na transformação fenotípica **de todos membros** da espécie. Idéia que na seqüência de mudança conceitual seria substituída pela noção de que apenas alguns membros da população apresentam variação fenotípica adaptativa, originadas por mutação.

O padrão de mudança conceitual em conjunto foi documentado pelos autores a partir de segmentos de entrevistas realizadas com Stephanie. Segundo a interpretação dos autores, nas primeiras respostas ao pré-teste, esta estudante apresentou uma explicação baseada na idéia de necessidade e do princípio de uso e desuso para a origem das salamandras cegas das cavernas a partir de ancestrais que possuíam olhos funcionais:

> *Eu disse que, porque as salamandras vivem em completa escuridão, a luz não é uma necessidade. Após muitas gerações de salamandras elas se tornaram cegas, a prole eventualmente nasceu sem visão....Ah, na verdade, pode ser que isso não esteja certo. Pode ser que aquelas que originalmente entraram na caverna se tornaram cegas e sua prole nasceu sem a visão e pode ser que o processo tenha se dado rapidamente porque elas poderiam funcionar sem a visão....Então, pode ser que, por não a usarem, elas a perderam.*

Conforme a descrição dos autores, transcorridos 5 minutos, a estudante fez o seguinte comentário sobre a resposta anterior: "*Eu não sei. [pausa] Eu suponho que elas se tornaram cegas apenas porque elas não necessitavam da visão. Mas eu não vejo como isso pode ter ocorrido"*.

E em seguida, respondeu da seguinte forma à questão do pré-teste que versava sobre a evolução da velocidade de corrida das chitas: "*Eu passei um bom tempo pensando sobre isso. Eu de fato não penso que nós possamos formar algo apenas porque precisamos*."

Para Desmastes, Good e Peebles (1996, p. 416-417), a estudante, pessoalmente, não considerava plausível a explicação que ela propôs para a origem das salamandras cegas de caverna. A razão para apresentá-la residia no fato de julgá-la ser a explicação legitimada pela ciência para aquele fenômeno, uma vez que, no inicio do curso, a estudante pensava que a ciência empregava "a concepção lamarkista para a origem da variação em uma população". Segundo os autores, a insatisfação de Stephanie com esta concepção aumentou ao longo do curso, e a estudante construiu uma concepção rival, a de que a origem da variação era devida à mutação. Esta noção, até a metade do curso, competiu com a primeira, ou seja, a de que a variação fenotípica tem origem na necessidade. Segundo os autores, ao final do curso Stephanie havia rejeitado as explicações baseadas na idéia de necessidade e no princípio de uso e desuso, e adotado a idéia de que as mudanças evolutivas tinham origem nas mutações, as quais produziam variações na população. Esta idéia foi empregada pela aluna, por exemplo, para explicar a situação hipotética da evolução de uma população de coelhos:

> *(...) Havia uma mutação...E, então, havia a produção de coelhos marrons. E, ah, a coruja veio (...) e ela começou a comer os coelhos brancos...Então, eles começaram a serem exterminados e os marrons começaram a se reproduzir porque eles não haviam*

sido vistos e não haviam sido comidos. E de repente eles eram todos marrons porque todos os brancos foram exterminados e substituídos por coelhos marrons.

O terceiro padrão de reestruturação documentado por Demastes, Good e Peebles (1996) foi designado de mudança por acréscimo, a qual se caracteriza por ser desencadeada pelo uso de um novo termo, o qual ainda não teve seu significado científico totalmente compreendido pelo aluno. Este processo foi percebido a partir do uso inicial que Meredith fez do termo mutação em suas explicações para o processo de mudança evolutiva.

Meredith inicialmente rejeitava a mutação como um fator evolutivo em favor da idéia de necessidade (de se adaptar às condições de vida), como pode ser observado na entrevista sobre a resposta relativa à questão da evolução dos pés membranosos dos patos, dada pela aluna ao pré-teste:

***Meredith**: A característica dos pés membranosos nos patos, ah, eu disse que eles aparecem nos patos porque eles viveram na água e precisaram nadar.*
***Pesquisador:** Porque você diz isso?*
***Meredith:** Bem, pés membranosos possibilitam, quero dizer, o melhor para uma natação melhor. É uma característica evolutiva, não é?*
***Pesquisador:** Ham ham [sim].*
***Meredith:** E não é uma mutação eventual, foi algo que foi necessário.*
***Pesquisador:** Certo, então, como as coisas evoluem?*
***Meredith:** Bem, eh, é principalmente, a medida que elas necessitam, eh, se adaptar a certas condições.*

No entanto, logo em seguida, ao enfrentar o problema da evolução da velocidade de corrida das chitas, a aluna demonstra uma insatisfação com este tipo de explicação, ao reconhecer que ela não satisfaz à questão de como, ou seja, através de que mecanismo, a evolução ocorre:

***Pesquisador:** Então, tente pensar em voz alta. Como você acha que isso ocorreu?*
***Meredith:** Ah, eu não sei. Quero dizer, isso, obviamente, quer dizer, isso foi necessário... Elas precisaram correr mais rápido, mas eu não sei como isso aconteceu. Quero dizer...este tipo de pergunta que você está me fazendo, é como, o que causou e como aconteceu, e eu não sei isso.*

Em seguida, após ter visto o termo "mutação" sendo usado em uma questão do pré-teste, Meredith usa o termo pela primeira vez para explicar novamente a evolução das patas membranosas dos patos.

***Meredith:** A população de pássaros evoluiu pés membranosos porque* [pausa]. *Certo, eu não respondi esta questão. Eu disse que os patos evoluíram pés membranosos por causa da necessidade de se ajustar ao ambiente deles. Eu quis dizer, uma mutação ocorreu.*
***Pesquisador:** Então, o que é uma mutação? Como ela se enquadra em tudo isso?*
***Meredith:** É, é a mudança que, eh, eh, um organismo, você pode chamá-lo de organismo, sofre para, eh, se tornar mais ajustado ao ambiente em que ele vive.*
***Pesquisador**: Ham, e como, como isso ocorre? Como as mutações ocorrem?*

***Meredith**: Ah, eu não estou certa.*

Para Desmastes, Good e Peebles (1996), estava claro que, até aquele momento, Meredith não compreendia o significado do termo "mutação", mas, no entanto, resolveu usá-lo para preencher uma lacuna em sua compreensão anterior acerca da mudança evolutiva. Segundo os autores, ao longo das entrevistas subseqüentes Meredith passou a aplicar o termo com maior freqüência em suas explicações, e gradualmente foi restringindo o escopo da ação da mutação no processo evolutivo a medida que se aproximava de uma definição do termo. Até que nas entrevistas realizadas no período equivalente a metade do curso, a estudante já havia construído o conceito científico de mutação e de sua ação. Os autores apresentam o seguinte trecho de uma entrevista, referente à construção de um mapa conceitual pela aluna, como evidência desta constatação (Desmastes, Good e Peebles 1996, pp. 419-420):

> **Pesquisador:** *Eu quero que você construa um mapa de como a evolução se processa. Quais, eh, quais conceitos você precisaria usar?*
> **Meredith:** *Como se processa? É o que eu estou tentando fazer?*
> ***Pesquisador:** Sim, como o processo se dá...Então, a que conceitos você chegou até agora?*
> **Meredith**: *Ah, evolução, mutação, espécies e mais apto....Bem, eu diria, eh, é a mutação...que produz uma nova característica...Eu quero dizer que, você sabe, há uma mutação que ocorre...que produz uma nova característica e agora existem características que possibilitam que as espécies sejam mais capazes, que sejam mais ajustadas a seus ambientes, e então, estas características irão duplicar....*
> **Pesquisador**: *Agora, eh, uma mutação, o que ela faz?*
> **Meredith**: *Ela, ela é um tipo de mudança em uma característica da espécie...Quer dizer, mas ela é algumas vezes, quer dizer, a mutação pode ser para pior.*

Ao final do ano letivo, Meredith havia rejeitado a concepção da origem da variação baseada na necessidade em favor de uma perspectiva cientificamente mais apropriada. No entanto, conforme enfatizam Desmastes, Good e Peebles (1996, p. 420), o uso sistemático desta nova perspectiva só ocorreu bem depois de sua primeira proposta pessoal e pouco informada de usar o conceito de mutação.

O quarto e último padrão de reestruturação conceitual identificado por Desmastes, Good e Peebles (1996, p. 423) refere-se à aplicação de duas concepções logicamente incompatíveis pelos estudantes em circunstâncias diferentes, fenômeno que os autores designaram de construções duais. Esta estratégia cognitiva foi identificada através da observação de que Meredith e outra aluna, que recebeu o pseudônimo de Tyler, reconhecem explicitamente o caráter fortuito das mutações, mas em alguns contextos aplicam este conceito com o sentido de mudanças benéficas.

Em algumas circunstâncias, Tyler enfatizou explicitamente a natureza aleatória das mutações como, por exemplo, ao escolher a expressão "ao acaso" para descrever a evolução. Isso ocorreu em uma entrevista estruturada em que um conjunto de palavras era apresentado ao entrevistado para que eles escolhessem aquelas que se aplicariam à teoria da evolução:

> *Sim, probabilidade [chance], porque as mutações ocorrem por probabilidade....na evolução. Ah, "ao acaso", esta descreve evolução, porque as mutações são coisas "ao acaso". Quer dizer, você não pode pedir por elas. Elas simplesmente ocorrem.*

No entanto, em uma entrevista em que os estudantes deveriam fazer previsões acerca de uma situação hipotética, esta mesma estudante, segundo a interpretação dos autores, empregou uma concepção da mudança evolutiva que associava necessidade, ambiente e mutação:

> **Pesquisador:** *Este é meu mamífero ancestral. Ele é um pouco gordo. Ele tem pelo curto e faz ninhos apoiados em varetas no solo. Este é o seu ninho* [mostra figuras]*...E, então, a era do gelo veio e ficou muito frio.*
> **Tyler:** *Certo.*
> **Pesquisador:** *Algo aconteceu e produziu novas variantes. Qual destas mutações seria mais provável? Esta aqui, possuir pelo longo, esta aqui* [perda da pelagem], *ou esta aqui, aprender a fazer covas e se enterrar no chão...Qual mutação você acha mais provável? Se alguma?*
> **Tyler**: *Ah, provavelmente, deixe me ver. Número dois* [possuir pelo longo] *ou três* [aprender a fazer covas no chão].
> **Pesquisador:** *Mais provavelmente, número dois ou três. Por que você diz isso?*
> Tyler: *Bem, é natural. Está frio e agora ele está aquecido. Ele irá mudar de modo a tomar conta de si.*

O aspecto que mais chamou atenção dos autores foi o fato dos estudantes não se sentirem conflitados com a inconsistência gerada pelo uso destes dois significados para mutação. Tyler foi questionada explicitamente pelos pesquisadores a este respeito:

> **Pesquisador:** *Você disse que o urso não sofreria mutação para perda de pêlos, porque eles iriam congelar até a morte. Você continua apreciando desta explicação?*
> **Tyler:** *Ham, ham. [Sim]*
> **Pesquisador:** *Certo, e no mesmo dia você descreveu as mutações, como, eh, eventos ao acaso. Como se diz, mutações simplesmente ocorrem. Então, você vê conflito entre mutações serem eventos ao acaso e a resposta que você deu para o caso dos ursos?*
> **Tyler**: *Eu não tenho nenhum problema com isso.*

Para Desmastes, Good e Peebles (1996, p. 425), a estruturação conceitual por construções duais como exibida na estruturação conceitual de Taylor, mostra que os estudantes nem sempre se pautam meramente em critérios lógicos para avaliar concepções antagônicas, e que a aprendizagem de concepções paradigmáticas nem sempre envolvem a reconstrução ou a troca de estruturas cognitivas pré-existentes, como supunha a teoria da mudança conceitual. No caso do padrão de estruturação conceitual por acréscimo

documentado no estudo, também não foi observada uma mudança cognitiva abrupta que resultasse da comparação entre concepções antagônicas, e/ou da escolha entre paradigmas rivais de pensamento. Houve uma mudança gradual que não implicou em um procedimento dualista. Neste caso, o estudante vai mudando sutilmente concepções centrais a medida que elas vão se tornando úteis, como o fez Meredith ao adotar o conceito de mutação, mesmo sem dominar ainda seu significado.

Os autores chamam atenção de que, a luz da teoria da mudança conceitual, o processo de aprendizagem que eles identificaram como construção dual seria interpretado como um caso em que o processo de mudança conceitual foi abortado. No entanto, esta interpretação lhes parece falha em revelar o processo de aprendizagem que ocorreu. Ainda que a estudante Tyler não tenha passado por uma mudança conceitual em conjunto, ela estava aprendendo sobre evolução e sua estrutura conceitual estava se reestruturando. Desmastes, Good e Peebles (1996, p. 425) argumentam que inconsistências conceituais como as apresentadas nos enunciados desta estudante foram documentadas em estudos anteriores e constituem parte integral da aprendizagem que ocorre em sala de aula, ainda que contrariem a lógica implícita nas mudanças descritas pelo modelo de mudança conceitual.

O estudo de Desmastes, Good e Peebles (1996) apresenta grande importância para nossa pesquisa por duas razões. A primeira delas é que o estudo nos fornece dados representativos do domínio microgenético. Foram documentados momentos de transição genética, em que ocorreram mudanças no modo como os sujeitos interpretavam os conceitos com os quais estavam lidando, e momentos em que os estudantes apresentaram importantes reações ao próprio modo de pensar, assim como os reajustes que estes momentos críticos provocaram. A segunda razão reside no fato dos autores descreverem processos de estruturação conceitual que não se encontram previstos no modelo proposto pela teoria da mudança conceitual, mas para os quais, ao nosso ver, a abordagem dos perfis conceituais, e a concepção vygostkyana do desenvolvimento mental na qual se fundamenta, podem apresentar interpretações plausíveis e frutíferas.

O uso do termo “mutação” pela estudante Meredith, a forma lenta e processual com que esta estudante foi construindo este conceito, e a mudança gradual que esta construção gerou na estrutura conceitual desta estudante, podem ser compreendidos a partir do papel que Vygostky (2001) atribui a palavra no desenvolvimento do pensamento conceitual.

Segundo Vygotsk (2001, p. 170), o desenvolvimento de conceitos é resultante de uma complexa operação com a palavra ou signo, cujo emprego funcional orienta a atividade de resolução de problemas. Desta perspectiva, o primeiro passo para o ensino de um conceito é a

introdução da palavra que o simboliza, uma vez que a palavra é o meio material a partir do qual o significado é mediado. No momento em que o estudante toma contato pela primeira vez com uma palavra nova, e/ou com um determinado significado a ela vinculado, o processo de desenvolvimento do conceito está apenas começando (Vygotsky, 2001, p. 246). Há um longo caminho até que esta palavra e o conceito nela simbolizado se tornem propriedade do estudante, podendo aplicá-los de forma arbitraria em situações concretas novas.

Após ter contato com a palavra "mutação" nos cenários apresentados no pré-teste, Meredith resolveu empregá-la como um instrumento de pensamento (Lotman, 1998, pp. 36-37 apud Wertsch, 1991, p.74), para resolver um problema, qual seja, a ausência, em suas próprias explicações, de um mecanismo através do qual a mudança evolutiva ocorre. Naquele momento, o termo ainda não apresentava um significado estável para a aluna. Ao longo do ano letivo, a estudante teve a oportunidade de encontrar a palavra "mutação" sendo empregada em diversos contextos. Ao vê-la em funcionamento, a estudante pôde reconhecer suas particularidades e discriminar os atributos dos fenômenos por ela designados. Este processo levou à construção de um conceito, o qual pôde ser aplicado pela estudante para interpretar novas situações e propor novas explicações para as mudanças evolutivas.

As inconsistências no uso do termo "mutação" por Meredith e Tyler para explicar mudanças adaptativas, ora a partir de uma perspectiva baseada na noção de necessidade, ora a partir da idéia de produção fortuita de variantes, podem ser descritas como o resultado de um processo de construção de novas zonas de um perfil conceitual, que ainda não foi acompanhado pela tomada de consciência pelas estudantes de seu próprio perfil. Neste caso, é possível que as estudantes não tenham clareza de que estão diante de duas perspectivas de interpretar a mudança adaptativa e que elas pertencem a um mesmo perfil conceitual, e por isso, empregam as duas formas de pensar indiscriminadamente.

Em termos da gênese do conceito de adaptação, os dados apresentados por Desmastes, Good e Peebles (1996) nos mostram que as três estudantes investigadas iniciam o processo de aprendizagem abordando a mudança adaptativa a partir da noção de que a evolução da forma orgânica é dirigida pela necessidade. Esta forma de pensar adaptação parece estar fundada no compromisso com uma espécie de teleologia cósmica, segundo a qual há uma tendência intrínseca da natureza para o progresso em direção a perfeição (Mayr, 2005, p. 57).

Ao longo do processo de elaboração conceitual, no entanto, as estudantes reconheceram que era preciso algo mais para explicar a adaptação, era preciso a explicitação de um mecanismo através do qual a forma orgânica atinge o ajuste perfeito às condições de vida. No caso das interações discursivas de Meredith com o pesquisador nas entrevistas, fica

claro que a estudante se dá conta de que idéia de necessidade não preenche os requisitos do tipo de resposta que caracterizam as explicações científicas, uma vez que não responde a pergunta do **porque** da existência de uma adaptação através da resposta à questão de **como** este fenômeno ocorre. Foi gerada uma tensão entre o compromisso com a idéia de que a evolução é dirigida pela necessidade e a demanda por um mecanismo que explique como ocorre a evolução da forma orgânica em direção à sua adequação às necessidades. Até aquele momento, esse processo era visto como um ajuste espontâneo às condições do ambiente, o qual era designado de adaptação. Nos enunciados produzidos por Meredith no pré-teste as patas membranosas dos patos evoluem "a medida que elas precisam se **adaptar** a certas condições". O princípio de uso e desuso também foi empregado por Stephanie nesta busca de um mecanismo evolutivo. Mas foi no conceito de mutação que as estudantes encontraram o mecanismo plausível para explicar **como** a mudança adaptativa ocorre.

Tendo em vista a análise feita por Ferrari e Chi (1998) sobre o compromisso que os estudantes apresentam com os atributos que caracterizam os processos da categoria ontológica de evento, em especial, de que os processos naturais ocorrem segundo uma seqüência contingente ou causal de ações, fica clara a razão da satisfação – para usar o termo da teoria da mudança conceitual – das referidas estudantes em relação ao conceito de mutação. A mutação é produzida por uma causa eficiente, e por outro lado, é em si, um evento causal eficiente no processo evolutivo, uma vez que atua imediatamente sobre os organismos individuais.

É notório o fato das estudantes atribuírem à mutação – como mecanismo para produção de variantes fenotípicas nas populações naturais – o papel central no processo evolutivo. A triagem destas variantes em função de sua vantagem adaptativa e da sobrevivência e reprodução diferencial de seus portadores, e o acúmulo de mudanças resultantes deste processo, assumem um papel secundário nas explicações dos estudantes para a adaptação. Estes dados podem estar revelando o apego às causas próximas, àquelas que agem imediatamente sobre os organismos. Como analisamos na seção anterior, segundo a análise de Caponi (2005), este é um compromisso epistemológico que esteve na base da defesa de teorias transformacionais da evolução, alternativas ao darwinismo, tanto aquelas que o precederam como aquelas que ganharam força no período posterior à publicação da *Origem das Espécies*. Caponi sintetiza da seguinte forma as razões deste compromisso ter sido o eixo que sustentou a oposição ao programa darwiniano, protagonizada pelas teorias evolutivas transformacionais:

> (...) preservando a primazia da perspectiva fisiológica e atribuindo a evolução a causas imediatas atuantes em e sobre os organismos individuais, as explicações transformacionais aludiam a fatores que, *prima facie*, eram mais facilmente assimiláveis aos padrões newtoniano de *vera causa* do que a fugidia seleção natural (Caponi 2005, p. 237).

Não se trata de traçar paralelos entre a formação do conceito darwinista de adaptação no domínio da história das ciências e sua gênese ao longo da elaboração conceitual dos estudantes em sala de aula de biologia. Diversamente, o que queremos argumentar é que o diálogo entre os dados referentes aos domínios sócio-genético, ontogenético e da microgênese em sala de aula, nos permite identificar os compromissos epistemológicos que podem estar estruturando formas de pensar este conceito.

Neste caso, nos pareceu promissor promover o diálogo entre os dados de Ferrari e Chi (1998) sobre a atribuição de propriedade ontológicas de processos de evento aos processos evolutivos por estudantes universitários, os dados de Desmastes, Good e Peebles (1996) sobre o papel do conceito de mutação na reestruturação conceitual de estudantes do ensino médio, e a análise de Caponi (2005) sobre como a perspectiva fisiológica, que estruturou as teorias transformacionais não-darwinistas, representou um desafio à compreensão e aceitação da explicação selecional proposta por Darwin, pela comunidade científica do séc. XIX. Este diálogo aponta para importância de considerarmos o apego às causas próximas, o foco no organismo na explicação de fenômenos biológicos, e o apego à ontologia dos processos do tipo evento para interpretar os processos naturais, como possíveis compromissos epistemológicos e ontológicos que estruturam formas não-darwinistas de pensar o conceito de adaptação.

Até o momento, analisamos os dados fornecidos por algumas pesquisas em concepção alternativa e em mudança conceitual na área da biologia evolutiva, e suas contribuições para nosso estudo. Como dissemos na introdução desta seção, em nossa revisão bibliográfica tivemos acesso a trabalhos que fizeram uma revisão crítica desta literatura. A seguir, apresentaremos sumariamente alguns dos resultados obtidos por dois destes trabalhos.

Revisando os trabalhos realizados no período entre 1988 a 1999, Molina (2004) identificou três tendências na interpretação das idéias dos estudantes: (1) uma visão que ela considerou "psicológica e racionalista", a qual parte do pressuposto que as concepções dos estudantes acerca da evolução são universais e lamarckistas, tal como defende Gené (1991); (2) uma visão mais sociológica e lingüística, que relativiza a noção de universalidade das idéias lamarckistas dos estudantes, proposta, por exemplo, por Wood-Robinson (1994); e (3) a tendência em reconhecer a diversidade conceitual das idéias dos estudantes e sua articulação com diferentes compromissos epistemológicos e com aproximações variadas dos sujeitos ao

mundo natural. Esta terceira tendência é identificada por Molina no trabalho de Desmastes, Settlage e Good (1995) e no estudo desenvolvido por Desmastes, Good e Peebles (1996), este último analisado acima.

Dois aspectos levantados por Molina em sua análise acerca destes trabalhos nos chamaram atenção: (1) o modo anacrônico com que as idéias de naturalistas pré-darwinistas são tratadas em alguns dos trabalhos clássicos em concepções alternativas; (2) as implicações que a tensão entre causalidade e teleologia na biologia apresenta para os estudos acerca da elaboração conceitual dos estudantes em salas de aula de biologia.

Como vimos na breve revisão que fizemos nesta seção, segundo os dados dos trabalhos em concepções alternativas, uma das primeiras idéias que são desenvolvidas na gênese do conceito de adaptação é a de que os organismos desenvolvem novos caracteres para responder as suas necessidades. As explicações dos estudantes para origem de caracteres adaptativos, como os dedos membranosos dos patos e a velocidade de corrida das chitas, freqüentemente se encontram estruturadas na forma de uma seqüência de ações causais em direção a uma meta, e não raramente são produzidas utilizando-se uma linguagem teleológica.

Estes resultados direcionaram a atenção das pesquisas em didática da ciência para o debate existente na biologia acerca da legitimidade ou não do uso de explicações teleológicas (Mayr, 1988) e de seu estatuto como explicação causal nesta ciência, alimentando outra polêmica, a legitimidade das formulações teleológicas na sala de aula de biologia.

Segundo Mayr (1988, p. 41), a polêmica em torno da linguagem teleológica na biologia pode ser resumida do seguinte modo: De um lado, desde que o mecanicismo rejeitou o princípio finalístico das explicações para os fenômenos naturais, um grande número de objeções tem sido dirigido às explicações teleológicas na biologia, sob o argumento de que as mesmas implicariam conflitos com a causalidade fisico-química. Por outro lado, os biólogos insistem em afirmar que o uso da linguagem teleológica apresenta grande valor heurístico em suas pesquisas[17].

Tradicionalmente, as explicações teleológicas têm sido criticadas por implicarem o endosso de doutrinas metafísicas e teológicas que não são compatíveis com suposições metafísicas admitidas no discurso científico contemporâneo. De fato, desde filósofos da Antigüidade até alguns filósofos contemporâneos vitalistas, como Bergson, processos fisiológicos, adaptações ao ambiente e comportamentos que, aparentemente, servem a um

[17] Existem outras interpretações acerca das formulações teleológicas na biologia que possivelmente não são contempladas nesta caracterização do debate feita por Mayr, como aquela apresentada, por exemplo, por Ayala (1998) e Caponi (2002).

propósito, têm sido atribuídos à ação de forças vitais não-materiais (Sepúlveda, 2003, p. 138). No caso específico da gênese do conceito de adaptação, como vimos na seção precedente, a perfeição das adaptações encontradas no mundo vivo consistia no principal argumento fornecido pela teologia natural do séc. XVII a favor da existência da benevolência de um Deus criador. Ao final do séc. XVIII, as idéias de propósito, plano e adaptação foram amplamente utilizadas, no contexto de uma teleologia cósmica (Mayr, 1982, 1988), para explicar fenômenos biológicos (Amundson, 1996). Entretanto, este tipo de teleologia foi veementemente rejeitado pela biologia do século XX e as proposições teleológicas da biologia moderna não mais implicam a aceitação de forças sobrenaturais (Mayr, 1988, p.40).

Outra objeção feita ao emprego da linguagem teleológica consiste no risco de incorrer-se em antropomorfismos. O uso de expressões e termos como 'dirigido para um objetivo', 'com o propósito de', 'útil' parece implicar a transferência de qualidades humanas, como intencionalidade, propósito, deliberação e planejamento, às estruturas orgânicas. Por fim, é apresentada uma objeção de natureza lógica: as formulações teológicas implicam a suposição de que eventos futuros podem determinar eventos que os antecedem (Mayr 1988, p. 40). Este pressuposto parece ser conflitante com qualquer conceito moderno de causalidade.

A despeito de tais objeções, muitos filósofos e biólogos (*e.g.*, Taylor 1964; Wright [1973]1998; Mayr 1982, 1988) têm afirmado que a eliminação da linguagem teleológica das proposições acerca de um número significativo de processos biológicos levaria a uma grande perda no conteúdo de tais proposições e, conseqüentemente, na análise dos respectivos processos (Sepúlveda, 2003, p. 139). A argumentação de Mayr (1988), acerca do uso heurístico da linguagem teleológica em descobertas nas ciências biológicas, encontra-se estruturada com base em exemplos de episódios históricos, entre eles, a construção do modelo de circulação do sangue por Harvey. Segundo a interpretação de Mayr (1988: 54), a pergunta feita por Harvey acerca da razão para a existência de válvulas nas veias consistiu em uma das maiores contribuições que levaram este cientista a construir seu modelo.

De acordo com Molina (2004, p.11), na didática das ciências prevaleceu a posição tal como defendida por Hempel (1965) de aceitar as explicações teleológicas apenas no contexto do comportamento consciente humano, considerando seu uso inadequado na biologia, e defendendo a tradução de afirmações teleológicas em formulações funcionais.

As revisões feitas por Tamir, Zohar e Ginossar (Tamir; Zohar, 1991; Zohar; Ginossar, 1998) constataram um domínio na literatura em didática das ciências de trabalhos com interesse em demonstrar que as afirmações teleológicas têm um papel negativo na

aprendizagem de biologia, em particular na compreensão da teoria da evolução, de modo que elas devem ser combatidas com ferramentas didáticas poderosas.

Este posicionamento é questionado por Zohar e Ginossar (1998), sob o argumento de que, tanto para os estudantes como para os cientistas, a perspectiva teleológica tem sido uma ferramenta heurística significativa. Os autores sugerem que a discussão sobre o significado das afirmações teleológicas e antropomórficas ajuda a melhorar a compreensão dos estudantes, de modo que talvez fosse mesmo recomendável não tentar aboli-las. Com base em um estudo realizado com estudantes israelitas, Tamir e Zohar (1991) propõem que o uso de tais afirmações pelos alunos corresponde ao interesse dos mesmos em comunicar-se melhor, em serem compreendidos pela audiência.

Para Molina (2004), a proposta apresentada por estes autores nos adverte de que a decisão acerca do que se deve ou não ser ensinado precisa ter em vista não somente os argumentos epistemológicos, mas também argumentos psicológico-cognitivos e comunicativos.

Os dados sobre concepções alternativas e padrões de estruturação conceitual fornecidos pelos trabalhos que revisamos acima, e este breve panorama feito por Molina nos leva a concluir que o uso da linguagem teleológica é um dos aspectos epistemológicos centrais na gênese do conceito de adaptação. A questão que está em suspenso é a de qual é o papel que esta linguagem exerce neste processo: Constitui-se em aspecto que impõem dificuldades na apropriação do modo darwinista de pensar a origem e diversificação da forma orgânica ou é um aspecto intrínseco ao desenvolvimento desta perspectiva?

O segundo aspecto para o qual a revisão crítica da literatura em concepções alternativas, feita por Molina, nos chama atenção é a freqüência com que a história da ciência é usada de modo inadequado e anacrônico por esta literatura para categorizar as idéias dos estudantes.

No caso da análise de Molina, é explorado o exemplo do trabalho produzido por Gene (1991), no qual ele argumenta que as idéias alternativas ao darwinismo apresentadas pelos estudantes são lamarckistas e apresentam um caráter universal. Segundo Molina (2004, p. 14), Gene considera como idéias lamarckistas a interpretação do processo evolutivo em termos de transmissão de caracteres adquiridos por uso e desuso à geração descendente seguinte. Para explicar o fato de tais interpretações alternativas, apresentadas pelos estudantes, serem similares em diferentes partes do mundo, Gene (1991) lança a mão da mesma proposta apresentada por Carrascosa e Gil (1985 apud Molina, 2004), designada metodologia da superficialidade. Com base nesta proposta, Géne (1991) sugere que tanto Lamarck quanto os

estudantes das populações estudadas em diferentes contextos se aproximam do mundo de maneira superficial, ou seja, não vão mais além das evidências e realizam induções a partir de simples observações. Molina (2004) nos chama atenção de que os equívocos conceituais e históricos que esta perspectiva incorre chegam ao extremo ao comparar a filosofia de Aristóteles com o pensamento do sentido comum, e caracterizar a perspectiva aristotélica de mundo como superficial.

Os estudos sobre concepções alternativas e mudança conceitual em evolução freqüentemente se baseiam em idéias derivadas da história do pensamento evolutivo para a construção de categorias de análise, e fazem comparações entre as concepções alternativas dos alunos e esquemas teóricos evolutivos não-darwinistas, especialmente, com as idéias de Lamarck. Muito provavelmente, este procedimento metodológico, assim como outros usos da história e filosofia da ciência por esta tradição na didática das ciências, foram inspirados na tese piagetiana de que no processo de aprendizagem o indivíduo percorre as mesmas etapas que foram percorridas na história da ciência (Freire, 2002). Segundo Freire (2002, pp. 18-19), ainda que esta tese tenha sido criticada "pela simplificação excessiva que ela pode induzir", o paralelismo entre a produção de conhecimento científico e o desenvolvimento cognitivo dos indivíduos, que ela sugere, exerceu um "papel motivador para o diálogo entre história, filosofia e ensino de ciências", que teve efeitos duradouros. A seguir relatamos os resultados de dois estudos realizados com o objetivo de investigar a pertinência de se tomar este paralelismo como pressuposto na interpretação das idéias dos estudantes.

Kampourakis e Zogza (2006) fizeram uma revisão incluindo 11 trabalhos que usam o termo "lamarckista" para categorizar as idéias dos alunos e constataram que os autores não o utilizam com o mesmo sentido. Segundo a análise destes autores, em alguns trabalhos (Bishop; Anderson, 1990; Jimenez, 1992; Settlage, 1994; Desmates, Good; peebles, 1996; Jensen; Finley, 1996), o termo "lamarckista" é empregado para designar idéias que, explicitamente ou implicitamente, associam mudanças evolutivas ao uso e desuso de partes do corpo dos organismos e a herança adquirida. Estas idéias, embora não sejam exclusivas de Lamarck, de fato podem ser derivadas da terceira e quarta leis, por ele propostas (Martins, 1997). Em outros trabalhos (Alters; Nelson, 2002; Passmore; Steward, 2002) são incluídas na categoria "lamarkistas" diversas explicações alternativas dos estudantes que, além destas noções, aludem a causas finais e mudanças impostas pela necessidade como explicação para processos evolutivos. Na interpretação de Kampourakis e Zogza (2006), estas idéias não podem ser creditadas a Lamarck. Os autores fazem esta afirmação com base no argumento de que Lamarck aceitava apenas explicações mecanicistas, e não via a evolução como um

processo guiado em direção a uma meta, mas resultante de uma tendência dos organismos de aumentarem sua complexidade de geração a geração.

Diante da polissemia com que o termo "idéias lamarkistas" é empregado na literatura em concepções alternativas e dos anacronismos em que incorre, Kampourakis e Zogza (2006) compararam os aspectos principais que caracterizam a estrutura conceitual do pensamento evolutivo de Lamarck e Darwin com a estrutura conceitual das explicações para episódios evolutivos produzidas por estudantes com 15 anos de idade.

Os resultados do estudo realizado por Kampourakis e Zogza (2006, pp. 414-415) apontaram que uma minoria dos estudantes expressou idéias que se aproximavam da estrutura conceitual da teoria lamarkista, no entanto, aproximadamente metade dos estudantes investigados deram explicações baseadas na idéia de que "evolução ocorre por causa da necessidade via uma mudança deliberada". Os autores argumentam que esta idéia é diferente da visão de Lamarck de que as necessidades dos animais determinam como eles irão usar seu corpo, e que o efeito do uso ou desuso do corpo causaria o desenvolvimento de algumas partes do corpo e a atrofia de outras. Outra distinção que foi encontrada entre as idéias dos estudantes e as idéias de Lamarck é a de que os primeiros aceitam a possibilidade de extinção, enquanto o referido naturalista acreditava que as espécies podiam sofrer modificações, mas não se extinguiriam.

Os autores advertem ainda que é possível argumentar que há uma semelhança entre as idéias de Lamarck e aquelas apresentadas pelos estudantes no que diz respeito ao fato de que para ambos as necessidades impostas pelo ambiente constituem forças que dirigem a mudança. No entanto, é preciso ter em vista que há uma diferença entre a visão que apresentam a respeito do mecanismo que explica esta mudança:

> Lamarck estabeleceu um mecanismo "fisiológico", enquanto os estudantes – não sendo capazes de pensar em um mecanismo científico – se apoiaram tanto em uma visão "vitalista" como, ao mesmo tempo, em uma visão "intencional" ("o organismo, ele mesmo"), ou em uma força sobrenatural que agem a fim de alcançar este propósito. (Kampourakis e Zogza, 2006, pp. 416)

Esta interpretação dos autores reforça o argumento que fizemos acima sobre o papel que o conceito de mutação apresenta na gênese de uma explicação para a mudança adaptativa dos estudantes. Os estudantes apresentam uma perspectiva teleológica para explicar a adaptação até o momento que se vêem insatisfeitos com a ausência de um mecanismo que possa explicar de modo plausível como as mudanças dirigidas pelas necessidades ocorrem. Ao tomar contato com a idéia de mutação, as adota como um mecanismo eficiente capaz de explicar a mudança evolutiva. Para grande parte dos estudantes, em uma determinada etapa da

gênese do conceito darwinista de adaptação, a idéia de mutação é vista como suficiente para explicar todo o processo evolutivo, o que dá origem a uma explicação transformacional, na qual alguns princípios darwinistas estão embebidos.

Kampourakis e Zogza (2006) concluem o artigo criticando o pressuposto de que o desenvolvimento intelectual dos estudantes recapitula as idéias de Lamarck, ou de outro naturalista que precedeu as idéias darwinistas, assim como a prática de categorizar as idéias dos estudantes, nomeando-as através de rótulos oriundos da história das ciências. Para os autores, esta prática não tem contribuído para uma compreensão mais rica e apurada das estruturas conceituais alternativas dos estudantes.

Outro estudo que tem como foco o paralelismo entre estruturas teóricas desenvolvidas por evolucionistas e as concepções dos estudantes é a pesquisa realizada por Shtulman (2006). Este autor investigou a possibilidade de existir um paralelo entre as antigas teorias evolutivas transformacionistas, alternativas ao darwinismo e as "teorias ingênuas modernas", termo que usou para denominar a estrutura conceitual dos estudantes. Shtulman (2006 partiu do pressuposto de que todas as teorias evolutivas alternativas ao darwinismo têm como núcleo central a idéia de que a evolução é resultado da transformação da essência da espécie. Estas teorias descrevem a evolução como um processo em que a essência da espécie é transformada ao longo do tempo. Indivíduos geram proles mais adaptadas do que eles mesmos ao ambiente porque a essência comum a todos os membros da espécie se transforma continuamente de geração a geração. Segundo Shtulman (2006, p. 172), a distinção entre estas teorias está no mecanismo que evocam para explicar a transformação da essência, como, por exemplo, o uso e desuso e a herança de caracteres adquiridos, a recaptulação da ontogenia – como proposta por Haeckel – as propriedades intencionais dos sistemas inteligentes de Butler, ou o élan vital, por Bérgson .

Shtulman investigou a compreensão de 29 estudantes americanos do equivalente ao ensino médio brasileiro e 13 estudantes universitários a respeito de seis fenômenos evolutivos: variação, herança, adaptação, domesticação, especiação e extinção. Os participantes da pesquisa apresentaram uma pluralidade de raciocínios transformacionais inconsistentes com a seleção natural. As análises de correlação demonstraram que os participantes que apresentavam raciocínio transformacional eram tão consistentes internamente quanto os participantes que demonstraram uma compreensão da seleção natural. A exceção apenas de um grupo de estudantes que incorporou duas heurísticas darwinistas, "a sobrevivência do mais apto" e "traços adquiridos não são herdados", a uma estrutura conceitual transformacional.

O autor interpretou estes dados como uma evidência de que o antigo e abrangente essencialismo dos tipos biológicos tem sido um impedimento para que os estudantes concebam as espécies como populações de indivíduos diferentemente afetados pelo ambiente. O essencialismo foi suplantado na Biologia, desde o século XIX, entretanto, segundo Shtulman, uma série de pesquisas em psicologia cognitiva fornece evidências de que o essencialismo biológico está amplamente presente na forma de interpretar o mundo vivo dentre indivíduos de todas idades – desde crianças de 4 anos a adultos – e entre diferentes culturas – por exemplo, entre estudantes norte- americanos, brasileiros e maias. Shtulman (2006, p. 171) traduz o pensamento essencialista como a idéia de que a aparência externa e comportamento das espécies são determinados por um poder causal superior ou "essência", um potencial inato que os membros de uma espécie possuem para desenvolver o mesmo caráter. Nesta visão, a variação é concebida como manifestação de imperfeições nas essências constantes, impedindo a compreensão do papel que a variabilidade intrapopulacional apresenta na seleção natural, e favorecendo a concepção de evolução como um processo em que todos os membros da espécie se transformam.

Outro dado apresentado por Shtulman (2006) que nos pareceu importante para compreendermos a gênese do conceito de adaptação, foi a conclusão de que as respostas de alguns estudantes revelaram que os mesmos não deveriam ter pensado muito a respeito de possíveis mecanismos responsáveis pela adaptação das espécies antes da pesquisa. O autor sugeriu que, dado que a evolução não é um fato evidente a partir da interação com um mundo biológico aparentemente estático, estes alunos sequer haveriam contemplado a adaptação evolutiva propriamente como um problema que mereceria resposta, antes da aula de Biologia. Discutindo a dificuldade na compreensão de conceitos básicos relacionados à compreensão da teoria da evolução por seleção natural, Ferrari e Chi (1998) mencionam um resultado semelhante encontrado na pesquisa realizada por Ohlsson (1991), o de que muitos estudantes consideram adaptação um princípio teorético, a semelhança da noção de ponto em matemática, e não vêem razão para explicá-lo.

Estes dados podem ser um indicativo de que um primeiro estágio na ontogênese do conceito de adaptação seria a concepção da adaptação como sendo um fenômeno auto-evidente que dispensa um mecanismo explicativo.

No que diz respeito a tese do paralelismo, Shtulman (2006) concluiu que os estudantes não apresentavam uma rede de crenças causais-explanatórias que fossem explicitamente e fortemente integradas. Portanto, tais idéias não poderiam ser comparadas a construções teóricas. Há, na realidade, heurísticas, como por exemplo "necessidade como uma razão para

mudança", ou em certa medida uma rede de crenças causais-explanatórias que apresentam alguma consistência interna.

Para finalizar a análise dos dados que nos auxiliaram a pensar os aspectos epistemológicos e ontológicos envolvidos na gênese do conceito de adaptação no domínio ontológico, relataremos os resultados de um estudo que, de modo diferente dos anteriores, investigou a elaboração conceitual dos estudantes sob uma perspectiva sociocultural da aprendizagem. Trata-se da pesquisa realizada por Ash (2008) para investigar o papel que temas recorrentes, ou áreas temáticas de interesse, designadas por ela de continuidades temáticas (Ash, 1995 e 2002) exercem, ao servirem de apoio e estrutura (*scaffold*) para que os estudantes atinjam coerência enquanto usam os discursos acadêmico, cotidiano e híbrido.

O pano de fundo da pesquisa é a polêmica a respeito da relação entre linguagem cotidiana e linguagem acadêmica na aprendizagem e ensino de ciências, da qual em certa medida, o uso da linguagem teleológica e antropomórfica em sala de aula de biologia poderia ser considerado uma instância. Segundo Ash (2008, p. 4), existem duas posições antagônicas a este respeito. De um lado, acredita-se que quanto maior for o uso da linguagem cotidiana pelos estudantes, menor será a probabilidade de estudarem ativamente a ciência como um modo diferente de pensar. De outro, argumenta-se que "introduzir a ciência na vida das crianças irá apenas agravar a marginalização das crianças vindas de bairros pobres". Ash (2008), entretanto, adota uma visão intermediária. Tendo como base a noção de construção híbrida de Bakhtin (1981, p. 304-305), a autora propõe que é possível a construção de um espaço discursivo híbrido, ou seja, de um espaço de conversação em que o discurso científico não é inteiramente cotidiano, nem totalmente acadêmico, mas, ao contrário, contém traços de dois ou mais discursos. Ash (2008) propõe ainda que as designadas continuidades temáticas serviriam de apoio para a organização deste espaço discursivo híbrido.

As continuidades temáticas são temas recorrentes que permeiam os enunciados dos estudantes ao longo do tempo (Ash, 2002). No caso da aprendizagem em biologia, Ash (2008, p. 4) identifica, como uma continuidade temática que tem origem precoce, o interesse cotidiano dos estudantes no modo como os animais se alimentam, se acasalam e se defendem. Estes interesses se desenvolvem a medida que a interação com o mundo natural aumenta. Estas continuidades temáticas têm o caráter também de serem situadas, produzindo o fenômeno descrito por Crowley e Jacobs de "ilhas de *expertise*". É o caso, por exemplo, de crianças de quatro anos que sabem tudo sobre os dentes e a alimentação de dinossauros. A partir da contribuição de estudantes "especialistas", as continuidades temáticas se tornam a

base para o diálogo em sala de aula, em algumas áreas temáticas, e se desenvolvem em linhas complexas e permanentes de investigação.

Ao investigar como os estudantes adotam as idéias e a linguagem da ciência, em uma sala socialmente complexa, a medida que estudam sobre espécies em extinção, Ash (2008, p. 4) pretendia responder as seguintes questões de pesquisa: Qual o papel que as continuidades temáticas exercem na apropriação do modo biológico de pensar e falar? Como os discursos múltiplos se encontram e interagem durante este processo?

A autora identifica três modos de pensar biologia que as crianças apresentam desde cedo (Ash, 2008, p.5): (1) o essencialismo psíquico, a crença de que os organismos vivos são caracterizados por essências; (2) a personificação como analogia, o uso de similaridades percebidas nos humanos para prever a existência de certas características similares em outros seres vivos; (3) o raciocínio forma/função, ou a expectativa de que estruturas ou formas apresentam funções, e que estas funções são seletivamente importantes.

É sobre esta terceira forma de pensar que a autora foca sua investigação. Ash (2008, p. 5) parte do pressuposto de que o coração da biologia é o reconhecimento de que adaptações estruturais e comportamentais não são casos particulares associados a uma espécie ou habitat específicos, mas sim um padrão. Propõe também que o raciocínio forma/função, o qual encoraje os estudantes a pensarem em termos das estruturas e de suas funções, permite chegar a este reconhecimento, designado por ela "princípio biológico de adaptação". Ash propõe o seguinte exemplo para substanciar seu argumento:

> Estudantes podem começar por relacionar dentes afiados a um carnívoro particular, e mais tarde a outros carnívoros. Os estudantes podem também relacionar dentes afiados com outras características dos carnívoros, como a mandíbulas, visão aguçada, pernas longas e comportamento de espreita. Estas novas categorias expandidas não precisam estar ligadas a espécies e hábitat particulares; isso, então, abre a porta para a observação de que adaptações estruturais e comportamentais existem como um padrão (Ash, 2008, p. 5).

Para analisar empiricamente este modelo que propõe de desenvolvimento do princípio da adaptação e o papel que as continuidades temáticas exercem neste processo, Ash coletou dados ao longo de uma seqüência didática, através da qual um grupo de 28 estudantes entre 11 e 12 anos de idade, organizados em uma comunidade de aprendizagem, realizou um estudo sobre espécies em extinção. Os dados foram obtidos a partir de contribuições escritas, em entrevistas clínicas guiadas, na gravação em áudio e vídeo de pequenos e grandes grupos, trabalho de classe de estudantes e notas etnográficas. A análise se processou em dois níveis, uma análise macro, que envolvia toda classe ou parte dela, e uma análise intermediária referente ao estudo de casos e de pequenos grupos.

Ash concluiu que os estudantes usam continuidades temáticas para ligar conjuntos de estruturas, funções e comportamentos de modo coerente dando lugar a um raciocínio adaptacionista[18].

Com base nos dados relativos a escrita, o discurso coletivo e as interações discursivas, Ash descreveu a trajetória que levou ao desenvolvimento de tal raciocínio adaptacionista por um pequeno grupo que analisou as causas para que a lontra fosse considerada uma espécie ameaçada de extinção. Estes estudantes partiram de um ponto de vista funcionalista, a idéia e que as estruturas apresentam uma função, como por exemplo, a de que os pêlos da lontra a mantêm aquecida. Em seguida, os estudantes passaram a relacionar diversas adaptações, umas com as outras, e com os fatores ambientais limitantes. Por exemplo, correlacionaram a espessura do pêlo da lontra com a presença de bolhas de ar sob a pelagem, com a falta de gordura na epiderme – diferente de outros mamíferos aquáticos – e por fim, estas adaptações foram relacionadas com as demandas metabólicas elevadas e o ambiente hostil. A terceira etapa nesta trajetória consistiu em empregar estas idéias a outras espécies, concluindo que as "adaptações para proteção" apresentam aspectos similares.

No que diz respeito ao uso da linguagem científica, assim como no estudo realizado por Desmastes, Good e Peebles (1996), os estudantes que participaram da pesquisa de Ash (2008, p. 19) usaram palavras sem que conhecessem seu significado apropriado, como também pensaram de modo científico sem que conhecessem os termos adequados e usassem uma linguagem especializada. Na interpretação da autora estes atos são parte de um movimento em direção a uma intersubjetividade que permitem aos interlocutores dialogarem em um nível apropriado para sua compreensão, e demonstram a complementaridade entre conceitos científicos e espontâneos. Esta complementaridade é entendida por Ash (2008, p.19) em termos Vygostkyanos: "naquilo em que os conceitos científicos são fortes os espontâneos são fracos, e vice-versa, a força dos conceitos espontâneos acaba sendo a fraqueza dos conceitos científicos" (Vygotsky, 2001, p. 263).

Para Ash, os estudantes de 11 a 12 anos de idade que participaram da pesquisa conseguiram se apropriar de forma legítima ao princípio de adaptação, e embora o nível de compreensão estivesse incompleto, eles passaram a falar e pensar como fazem um cientista.

---

[18] É importante deixar claro que o termo "raciocínio adaptacionista" empregado por Ash para designar o raciocínio desenvolvido pelos estudantes para interpretar e relacionar as diferentes estruturas adaptativas em um mesmo organismo, ou a existência da mesma estrutura adaptativa entre organismos de um mesmo grupo, não apresenta o mesmo significado com que é usado por Gould e Lewontin (1978). Neste caso os autores, empregam o termo para descrever a prática de biólogos evolutivos que superestimam o poder explicativo da seleção natural como mecanismo causal da diversidade orgânica.

Os dados e reflexões apresentadas por Ash nos sugerem que o desenvolvimento do raciocínio forma/função, seguido do hábito de estabelecer relações entre o complexo forma-função e os recursos ambientais limitantes, podem constituir aspectos epistemológicos importante na gênese do conceito de adaptação, especificamente para o reconhecimento de que a adaptação não é um fenômeno isolado, mas um padrão observado nos sistemas orgânicos. Este é de fato o papel que Ash (2008, p. 20) atribui ao que designou de ponto de vista ou de um raciocínio adaptacionista, qual seja, o de permitir que dados desconectados sejam organizados em torno de um princípio – o princípio da adaptação – a partir do qual "os aprendizes podem fazer previsões, inferências, comparar e contrastar, e atribuir sentido a uma infinita variedade de características estruturais e comportamentais que de outro modo estariam desconectadas".

No entanto, este constitui apenas um dos passos no desenvolvimento do conceito darwinista de adaptação. Pode-se dizer que a partir dos dois compromissos citados acima, os estudantes investigados por Ash passaram a pensar no fenômeno da adaptação, especificamente, em um dos aspectos do mundo orgânico ao qual este conceito está relacionado, a correlação funcional entre forma orgânica e condições ambientais. Neste sentido, eles apresentam um nível de compreensão maior do que os estudantes que sequer pensaram neste fenômeno, como alguns dos estudantes investigados por Shtulman (2006).

Entretanto, para que o problema darwinista da adaptação seja construído é preciso que os estudantes se perguntem pela origem desta correlação funcional entre a forma e ambiente, e não a veja como algo dado, e ainda, que estejam atentos a outros dois aspectos que caracterizam o mundo natural, os quais foram considerados por Darwin em sua formulação da teoria da evolução por seleção natural: o fato das exigências ambientais impostas aos organismos está sempre em mudança, e o fato de que além de se relacionarem com o ambiente, os organismos se relacionam uns com os outros, incluindo a competição por recursos (Caponi, 2006).

A ausência destes aspectos no processo de aprendizagem dos estudantes investigados por Ash (2008) pode ser um dos fatores que explicam os estudantes, ao final da seqüência didática, explicarem adaptação com base na idéia de necessidade, e a partir e uma linguagem teleológica, ainda que tenham incorporado termos da linguagem social da ciência, como podemos concluir da explicação dada por uma estudante acerca da morfologia das patas das lontras:

> *Veja, elas* [lontras] *tem dedos como os nossos. A razão porque elas dificilmente têm algum pêlo é porque, veja, elas têm algo que se parecem com um punhal saltando de*

suas garras, e dessa forma elas agarram os peixes....Ronnie me perguntou porque elas não tinham pelos em suas patas, eu acho que é porque elas precisam segurar coisas, e seus pêlos, é como quando estão acasalando, elas, seu pêlo é escorregadio na água, então ocorreria o mesmo com as patas.

Os resultados das pesquisas sobre a elaboração conceitual dos estudantes em entrevistas, as respostas a pré e pós-testes, e interações discursivas em sala de aula, revisadas nesta seção, nos permite esboçar alguns percursos possíveis na gênese do conceito darwinista de adaptação no domínio ontogenético.

O primeiro passo é o reconhecimento do fenômeno da adaptação ou a formulação do problema da adaptação em termos darwinistas. A construção do problema do design, ou a expectativa de que as estruturas encontram-se ajustadas a funções, o qual em certa medida, foi apropriado da teleologia natural pelo darwinismo (Godfrey-Smith, 2001; Ayala, 2009), pode ser uma etapa na formulação do problema darwinista da adaptação. Este passo seria equivalente ao que Ash (2008) designou de desenvolvimento do raciocínio forma/função, mas como vimos ele não é suficiente para o desenvolvimento do conceito darwinista de adaptação.

Um segundo passo seria o reconhecimento de que este fenômeno demanda uma explicação. Os dados de Bishop e Anderson (1990), Desmastes, Good e Peebles (1996) e de Ash (2008) nos mostra que é comum, em um primeiro momento, que os estudantes considerem a constatação de que os organismos precisam responder a necessidades impostas pelo ambiente suficiente para explicar a origem de estruturas funcionais.

Os resultados do estudo de Desmastes, Good e Peebles (1996) nos indicam que a satisfação com este tipo de explicação finalista pode ser perturbada pelo reconhecimento de que as explicações científicas encontram-se pautadas em um mecanismo que explique não só "o porquê" do fenômeno ocorrer, mas o processo através do qual ele ocorre, ou seja, "o como". Neste caso, este momento de transição pode dar origem, mais freqüentemente, a uma perspectiva transformacional de explicar a origem das adaptações. Ainda que os estudantes se apropriem de alguns princípios e conceitos darwinistas (ou neodarwinistas), como o princípio da sobrevivência e reprodução diferencial (Ferrari e Chi, 1998), o conceito de mutação (Desmastes, Good e Peebles, 1996), ou as "heurísticas darwinistas" de "sobrevivência do mais apto" e "traços adquiridos não são herdados" (Shtulman, 2006), tais princípios são embebidos em uma estrutura conceitual não darwinista, de caráter transformacional. Nestes casos, a explicação para a mudança adaptativa está pautada na idéia de transformação de membros individuais das espécies que por algum mecanismo é transmitida e acumulada de modo a gerar a transformação de toda a espécie.

Este fato é explicado pelo apego dos estudantes aos seguintes compromissos epistemológicos e ontológicos: apego às causas eficientes, o foco de estudo no organismo individual, a atribuição de propriedade ontológicas de processos de evento aos processos evolutivos e o pensamento essencialista.

Para que uma forma darwinista de pensar adaptação, tal como, por exemplo, estabilizada no significado de adaptação formalizado pela definição proposta por Sober (1983), é preciso que os compromissos referidos anteriormente sejam negociados, e que sejam introduzidos uma perspectiva histórica na investigação das estruturas adaptativas, a noção de luta pela existência e o conceito de biopopulações, ou pensamento populacional. A partir das duas últimas noções é preciso desenvolver a idéia de que há variantes fenotípicas nas populações dos organismos que apresentam maior ou menor eficiência em desempenhar determinada função, e que tal eficiência diferencial torna certos organismos melhor equipados para desfrutar dos recursos limitados.

2.3. A gênese do conceito de adaptação biológica no contexto do ensino médio: nossos dados empíricos

A revisão da literatura em concepções alternativas não só nos forneceu dados importantes acerca da ontogênese e microgênese do conceito de adaptação em decorrência da aprendizagem da teoria darwinista da evolução como nos auxiliou na definição de procedimentos metodológicos para obter nossos próprios dados empíricos.

O trabalho de Anderson, Fisher e Norman (2002), em especial, nos forneceu as diretrizes para a elaboração de instrumentos de coleta de dados referentes às idéias de estudantes do ensino médio e superior. Estes autores fizeram uma revisão crítica dos instrumentos utilizados até então para investigar as concepções dos alunos acerca da seleção natural e discutiram os problemas advindos do emprego de situações hipotéticas nos instrumentos anteriores, a exemplo dos instrumentos elaborados por Bishop e Anderson (1990), e propuseram o desenvolvimento de itens e contextos baseados em eventos evolutivos reais já estudados.

Tendo em vista esta recomendação, elaboramos um roteiro de entrevista com base em cenários que se referiam a fenômenos de adaptação evolutiva já estudados pela biologia e descritos em literatura, como a diversificação da forma e do tamanho dos bicos dos Tentilhões das Ilhas Galápagos, a resistência de bactérias a antibióticos ou de pragas a inseticidas, a co-evolução entre plantas e seus polinizadores e a camuflagem de insetos (ver apêndice 1). A adequação da linguagem e da abordagem conceitual dos cenários para a população de alunos

do Ensino Médio foi possível pela parceria com as professoras de Biologia da rede pública de ensino de Salvador.

Foram entrevistados cerca de 10 alunos que cursavam o primeiro ano do ensino médio de uma escola pública da periferia de Salvador (BA)[19]. Seguimos uma metodologia de entrevista semi-estruturada. A entrevista se iniciava com a leitura dos cenários pelo entrevistador, acompanhada pela apresentação de ilustrações que auxiliaram no seu entendimento (ver apêndice 1). Após apreciação do cenário pelo entrevistado, a pesquisadora iniciava a exploração dos cenários, inicialmente, a partir de questões mais centradas nas adaptações em si (origem, relação estrutura-função). No decorrer da entrevista, no entanto, eram apresentadas questões relativas aos princípios fundamentais para a compreensão da teoria por seleção natural (Ohlsson, 1991; Mayr, 1997).

A partir do conteúdo das entrevistas transcritas na íntegra, e do diálogo com a literatura em concepções alternativas acerca de conceitos da biologia evolutiva e da história da ciência, foram categorizadas interpretações acerca do conceito de adaptação, no que diz respeito a sua aplicação nas explicações para a origem da diversidade e complexidade estrutural da forma orgânica. Foram também analisadas as idéias que os estudantes apresentam a respeito dos princípios fundamentais para a compreensão do darwinismo, como variação intra-específica, herança, sobrevivência e reprodução diferencial[20].

A primeira vista, agrupamos as explicações dos estudantes em quatro categorias, no que diz respeito aos temas epistemológicos do fator e mecanismo causais: interpretações teleológicas, ajuste deliberado, ajuste espontâneo e surgimento repentino de um novo tipo por hibridização.

Nas respostas dos estudantes agrupadas na primeira categoria, as adaptações são concebidas como o reflexo de uma organização do mundo natural segundo planos predeterminados que garantem sua harmonia. Esta interpretação ocorre em duas versões. Pode ser pressuposta de maneira explícita a intervenção de um agente externo dirigindo tal processo, a exemplo de um criador inteligente, como sustentado pela teologia natural do século XVII. Tal perspectiva pode ser exemplificada pela explicação de um aluno para a

---

[19] Esta população tem a característica de ser composta de alunos que não são oriundos das séries regulares do ensino fundamental, mas que ingressaram no ensino médio após um programa de aceleração, em que os 3º e 4º ciclos do ensino fundamental foram cursados no período de dois anos.

[20] Os resultados desta análise foram publicados em artigo elaborado em pareceria com o professor Charbel Niño El-Hani (orientador deste projeto de pesquisa) e a professora Helenadja Mota Rios Pereira. Ver Sepúlveda; Pereira; El-Hani, 2006.

diversidade do formato da mandíbula e disposição dos dentes em diferentes grupos de mamíferos:

> *Tem este formato assim porque tá no crescimento deles, os dentes. Se ele come estes bichos assim [hábito carnívoro], por exemplo, o gato tem este tipo de dentes assim já feito para isso mesmo, vindo dele mesmo. Assim como o homem, o da ovelha tem este formato porque é desse jeito, feito por Deus mesmo, já pra já certo, já para isso mesmo.* (resposta dada ao cenário 1 da entrevista por estudante do ensino médio).

Outro tipo de interpretação desta natureza se aproxima mais de uma teleologia cósmica conforme concebida no pensamento Aristotélico, em que é pressuposto um mundo ordenado, de maneira que tudo nele se encontra disposto para assegurar um propósito em direção ao melhor estado possível (Ross 1995),.

> **Pesquisadora:** *O que explicaria esta diversidade de pássaros [referindo-se aos Tentilhões de Galápagos], com esta diversidade de bicos? Como é que isso surgiu a primeira vez?*
> **Estudante:** *Eu acho assim. O tipo de cada um teve, de uma espécie, faz com que cada um tenha um tipo de bico, um tipo assim, de alimentos, para comer, mas... . Como é que explica?*
> **Pesquisadora:** *Como surgiu esta diversidade de espécies aí na ilha, e essa diversidade de bicos, essas espécies terem essa diversidade de bicos diferentes?*
> **Estudante:** *Para mim é pelo fato deles serem diferentes. Porque seria impossível o fato de cada um ser de uma espécie e nascer igual. Eu acho que o fato dele ser diferente ele tinha que nascer diferente. Principalmente a diferença do bico.*
> **Pesquisadora:** *Porque principalmente a diferença do bico?*
> **Estudante:** *Ah, porque é por onde ele se alimenta, porque já tem assim os alimentos apropriados. As sementes. Por exemplo, aqui ele tem que enfiar o bico para tirar o que tem dentro. Se ele nascesse só com este bico seria impossível. Então cada um já nasce apropriado para um tipo de comida, com tipo da raça, da espécie. Eu acho assim.*

As respostas agrupadas nas duas categorias seguintes, ajuste deliberado e ajuste espontâneo, são na verdade muito similares no que diz respeito ao mecanismo causal. Em ambos os casos, as explicações para a origem da estrutura orgânica apresentam uma estrutura conceitual semelhante à caracterização que Sober (1993) Lewontin (2002) e Caponi (2005) fazem das explicações evolutivas transformacionais. Elas diferem apenas no que diz respeito ao fator causal que dirige o processo de transformação dos organismos.

Nas explicações agrupadas na categoria ajuste deliberado, a transformação ocorre através de uma ação deliberada dos organismos ao ambiente, a qual pode inclusive envolver aprendizagem de comportamentos. Em termos de agência causal, trata-se de um processo controlado internamente, não só pelas necessidades, como pela vontade, dos organismos. Abaixo reproduzimos alguns trechos da entrevista com um dos alunos participantes que ilustram a ocorrência desta concepção entre estudantes da nossa população:

Pesquisadora: *De que maneira que o formato do corpo dele [do Bicho-folha] e a cor pode estar relacionado a sobrevivência dele?*
Estudante: *Que ele usa esta cor para se proteger. Porque qualquer lugar que ele esteja ele se adapta a cor. Que nem o camaleão, (...). Fica mais difícil aos olhos de gaviões e outros pássaros, verem ele e tentar comer.*
Pesquisadora: *Como é que você acha que surgiu esta característica neste bichos, de serem tão semelhantes ao lugar em que eles vivem?*
Estudante: *Pode ser pelo tempo que eles fica em certos lugares, e se adaptem ao clima, às cores. A floresta tem muitas cores, eu percebo isso.*
Pesquisadora: *E como é este se "adaptar" como você falou?*
Estudante: *Porque nenhum animal, praticamente, nunca nasceu naquele lugar. Ele pode ter nascido em lugares abertos ou dentro da floresta. Ai, por exemplo, o passarinho nasce dentro de uma floresta. Ele tem que se adaptar a aprender a voar. Ele tem que se adaptar aos ares, ao vento, como usar suas asas....*
(...)
Pesquisadora: *Mas no caso da resistência ao antibiótico, o que é que você acha que acontece? A pessoa sempre tomou um antibiótico e sempre deu certo, e um dia ela tem uma doença desse tipo, de infecção bacteriana, vai tomar o antibiótico e não consegue reagir?*
Estudante: *Deve ser porque as bactérias já percebem que é a mesma... elas se acostumaram com aquele mesmo antibiótico, aí, elas vão se fortalecendo. Cada vez que você vai mandando o mesmo, elas percebem e podem ficar mais fortes contra aquele antibiótico. Já, ele já não vai mais fazer efeito sobre elas.*

No segundo caso, as adaptações são interpretadas como transformações espontâneas dos organismos em direção ao ajuste ao meio ambiente, vistas como um fenômeno "natural", próprio da "natureza". É suposta uma espécie de indução do meio à transformação dos organismos, como sugere a explicação do estudante 5 para a cor camuflada de insetos.

Estudante: *É porque tem vários insetos que quando ele nasce de ovos, assim, por exemplo, de uma planta, ele muda de cor para não ser atraente, para se esconder.*
Pesquisadora: *Se um indivíduo macho e um indivíduo fêmea deste bicho se cruzassem entre si, os filhotes seriam parecidos com ele?*
Estudante: *Seriam, mas depois iriam mudar a forma. Mudando "disposto" à natureza que ele está vivendo, né?*
Pesquisadora: *Os filhotes seriam iguais entre si?*
Estudante: *Seriam.*
Pesquisadora: *Se um filhote deste passasse a viver em ambientes, não mais de folhas secas, mas com folhas verdes, o que aconteceria?*
Estudante: *Ele iria tornar-se de outra cor, verde, né?*

Por fim, criamos uma quarta categoria para incluir a resposta de um estudante ao cenário dos tentilhões, na qual oferecia uma explicação diferente das demais para a origem da diversificação das espécies:

Pesquisadora: *Como você imagina que os diferentes tipos de bico inicialmente se originaram nos tentilhões das Galápagos?*
Estudante: *Acho que eles se originaram até de outra espécie diferente, não foram da mesma espécie.*

> **Pesquisadora:** *Desta origem, como surgiram estas formas dos bicos diferentes?*
> **Estudante:** *Se eles criar a reprodução deles com uma mesma espécie, os animais, ou os outros pássaros saem tudo igual. Mas se for com uma espécie diferente, vai nascer com uma certa diferença, com a forma do bico...*

Neste caso, a diversificação das espécies é atribuída às variações produzidas por cruzamentos interespecíficos. Este tipo de explicação também foi encontrado no estudo realizado por Ferrari e Chi (1998), que a caracterizou como um exemplo de explicação não-darwinista de caráter transmutacional.

Estes resultados, em alguma medida, eram esperados, e estão de acordo com a literatura em concepções espontâneas. De um modo geral, as explicações não-darwinistas apresentadas pelos estudantes para a diversidade e ajuste estrutural da forma orgânica podem ser caracterizadas em explicações finalistas, transformacionais ou transmutacionais.

Houve, no entanto, um conjunto de respostas que inicialmente não conseguimos interpretá-las de modo a classificá-las em alguma destas categorias. Entre elas nos chamou atenção a reação de um estudante ao cenário relativo ao formato e cor camuflados do corpo de um inseto conhecido genericamente como bicho-folha. Quando elaboramos o roteiro de entrevista tínhamos a expectativa de que a coloração "camuflada" de insetos seria interpretada como um problema que merecia explicação, e suspeitávamos que a exploração deste fenômeno levaria a emergência de perspectivas ou teleológicas ou darwinistas de interpretar a adaptação. No trecho da entrevista abaixo, no entanto, é possível perceber que apesar do esforço do entrevistador de construir o fenômeno da camuflagem, o estudante não interpretou a semelhança morfológica do inseto ao ambiente em que vive como uma estratégia de sobrevivência frente ao problema de escapar de predadores, e sequer considerou intrigante essa característica do inseto. De modo contrário, o estudante se interessou por outras estruturas, considerando-as mais conspícuas do que a cor e forma camufladas.

> **Pesquisadora:** *É como você falou é tipo um gafanhoto. É um inseto, do tipo gafanhoto, A gente chama de bico-folha, porque o corpo dele é muito semelhante a uma folha,e de fato eles vivem entre as folhas, entre a folhagem das árvores, do chão. E a gente sabe que muitos pássaros se alimentam de insetos. Então estes insetos que estão entre a folhagem sempre correm o risco de serem comidos por pássaros. E esse aqui, como você falou, ele parece uma folha. Que é que você acha que a aparência dele está relacionada com a sobrevivência deste bicho? Tem alguma relação?*
> **Estudante:** *Apesar de estar relacionada com a natureza, com a folha, ele podia muito bem... Você vê o gafanhoto da cor dele parece com a folha. Mas o que chamou mesmo atenção foi essas antenas. Acho que veio da natureza mesmo, será que não vem formado das folhas, que nasceu das folhas esse bicho?*

Este dado só passou a ter significado em nossa análise quando interpretado à luz da interpretação de Caponi (2006) acerca dos interesses que guiaram as investigações dos

naturalistas pré-darwinistas do Século XIX, discutida na primeira seção deste capítulo. Em sua defesa de que não houve um adaptacionismo pré-darwinista como advoga Amundson (1996) e Gould (2002), Caponi (2006) argumenta que a noção de correlação entre estrutura orgânica e exigências postas pelo entorno ecológico, sobretudo os desafios e oportunidades oferecidos por outros seres vivos, historicamente, pode ser considerada, uma criação darwinista. Assim, alguns fenômenos adaptativos que nos parecem óbvios, como a conveniência adaptativa de certo padrões de coloração para fins de camuflagem ou mimetismo, por exemplo, eram considerados pelos naturalistas predarwinianos como detalhes morfológicos e fisiológicos secundários, e só passaram a ter existência como fenômeno digno de explicação a partir da lente darwinista, especificamente, sob a ótica do que Alfred Wallace designou "principio de utilidade" (Caponi, 2006, p. 24). O diálogo com estes dados do domínio sócio-cultural nos mostra que a visão utilitária das estruturas, a interpretação de que as estruturas biológicas que observamos hoje apresentam ou apresentaram alguma utilidade para os organismos em sua luta pela sobrevivência não é o único caminho, nem o mais óbvio, para se interpretar a forma orgânica.

A noção de luta pela sobrevivência não parece ser, de fato, um aspecto presente na visão de natureza destes estudantes, a qual, de modo inverso, é caracterizada pela noção de que o mundo natural está organizado de modo a manter uma ordem estável e harmônica. Uma evidência deste compromisso ontológico é que ao interpretar situações de mudança de ambiente que levam a diminuição de recursos disponíveis, em lugar de prever a possibilidade de competição entre indivíduos da mesma espécie, muitos alunos apresentam alternativas como "acordos de amizade na alocação dos recursos", ou a migração e busca de ambientes mais favoráveis.

Outro dado que merece ser destacado é que boa parte dos alunos não apresentou qualquer tipo de explicação para alguns dos cenários apresentados, demonstrando nunca haver contemplado o fenômeno da adaptação biológica como um problema digno de explicação, antes da entrevista.

Em função destes resultados, obtidos através das entrevistas, foi planejada uma intervenção pedagógica para ser aplicada com esta mesma população de estudantes do ensino médio, na qual o primeiro passo foi construir o problema darwinista da adaptação: a correlação entre as formas orgânicas e as condições de vida do organismo. Para tanto, foram escolhidos exemplos emblemáticos de adaptações biológicas, como por exemplo, a estrutura

do bico, da língua, das penas e garras do pica-pau e as cores e formas camufladas de vários insetos, e apresentados para os estudantes.

Estes exemplos foram explorados em uma aula de 30 minutos, a qual compôs uma seqüência de aulas sobre o tema "Adaptação Evolutiva e Teoria da Evolução por Seleção Natural". A seqüência foi estruturada em três unidades didáticas: (1) problematização do fenômeno da adaptação e levantamento de conhecimentos prévios; (2) apresentação do modelo explicativo da seleção natural; (3) desenvolvimento da compreensão da história e filosofia da ciência – Darwin, seleção natural, adaptação e diversificação da espécie.[21] Os dados de sala de aula foram coletados através da gravação em vídeo.

A análise da gravação em vídeo nos permitiu concluir que grande parte desta aula foi destinada à análise por professora e estudantes acerca dos atributos funcionais das estruturas e comportamentos adaptativos, ao longo da qual a professora dirigia o discurso para que a posse de tais características fosse relacionada à sobrevivência de seus portadores. Foram gastos aproximadamente 22 minutos de aula com este tipo de abordagem, durante os quais, os estudantes participaram ativamente, fornecendo suas contribuições.

Analisaremos a seguir episódios de interação discursivas que ocorreram nesta primeira aula, por consideramos que nos fornecem dados importantes acerca de aspectos epistemológicos envolvidos na gênese do conceito de adaptação. O primeiro episódio é representativo de um esforço da professora em construir o problema da adaptação, através do desenvolvimento do que Ash (2008) designa um raciocínio forma-função. Transcrevemos abaixo um episódio em que o problema da adaptação deveria ser construído a partir da análise das estruturas adaptativas do pica-pau:

1. **Professora:** Será que o tipo do bico do pica-pau dourado é um bico assim comum a quase todos os bicos dos pássaros? Heim?[22]
2. **Estudante 1:** Ele é mais forte.
3. **Professora:** Esse bico/ esse formato de bico ((faz gesto enfatizando formato alongado)) que não é parecido com o dos outros pássaros/ como o do pardal/ o do curió/ que é um bico mais curto. Você acha desse bico/? Alguém gostaria de descrever

[21] A elaboração, aplicação e avaliação desta seqüência didática foram realizadas no âmbito do projeto "Educação Científica no Contexto Multicultural do Estado da Bahia: Desenvolvimento e Avaliação de Estratégias de Ensino para Alfabetização Científica com Respeito à Diversidade Cultural, no período entre 02/12/2004 a 02/01/2007, sob a coordenação do Prof. Charbel Niño El-Hani e com financiamento da FAPESB. Uma descrição mais detalhada da seqüência e análise de parte de seus resultados são encontrados em Pereira (2009).

[22] Usamos sinais para indicar pausas e entonações expressivas nas transcrições. Os únicos sinais de pontuação que utilizamos são os sinais e interrogação – para indicar entonações interrogativas – e ponto final, uma vez que são aqueles para os quais é possível fazer inferência com alguma segurança. A barra invertida , /, é usada para sinalizar pausas curtas no meio das falas e truncamento bruscos entre dois turnos de fala. Pausas mais longas são representadas pelo sinal (+), uma maior quantidade de sinais + é atribuído proporcionalmente ao tempo da pausa. Os comentários da pesquisadora são realizados entre (( )). Fonte em caixa alta é usada para representar aumento de tom de voz e entonação de ênfase.

este formato para mim? Vocês estão aí com a prancha na mão. Como é a forma aí desse bico desse pica-pau?

4. **Estudante 5**: Ele bica o pau.
5. **Professora:** Sim, ele bica o pau. Mas eu estou falando assim da estrutura do bico ((repete o gesto enfatizando o caráter alongado do bico, "puxando" um bico longo a partir da boca)). Ele é alongado ou ele é curto?
6. **Estudante 5:** Ele é mais resistente professora.
7. **Professora:** Ah! É mais resistente.
8. **Estudante 5**: O do pardal é mais fraco. É mais para buscar comida para os filhotes e tudo. Ele já tem o bico dele. É do nome dele mesmo/ bica-pau. É mais resistente. É próprio para isso/ madeira.
9. **Professora:** Madeira. Então ele deve viver nesse ambiente. (+) Vocês estão vendo aí esta estrutura rosinha ((aponta para a prancha))? É a língua dele. O que é que tem de diferente aí? Na língua do bica-pau?
10. **Estudante não identificado:** Tá saindo de cima para/
11. **Estudante 5**: Para puxar o alimento.
12. **Professora:** Tá saindo de que estrutura? Da? Da cabeça. Isso é um mecanismo/ este formato de língua é uma adapta/ Ham? Que tem relação com que? Com a sua?
13. **Estudante:** Espécie.
14. **Professora:** Sim. Mas porque deste tamanho? Então/ imagina que mecanismo/ que coisa sofisticada. Porque ela está saindo/ vocês disseram assim/ da cabeça/ observe que ela está saindo do crânio. Será que o pica-pau fica sempre com está língua para fora?
15. **Estudantes**: Não.
16. **Estudante não identificado:** Alimentação.
17. **Estudante 1:** Só quando vai puxar o alimento.
18. **Estudante não identificado:** Só quando pega alimento.
19. **Estudante não identificado:** O inseto.
20. **Estudante 3:** Ele pega o bicho na madeira, aí puxa para dentro ((fazendo gesto com a mão simulando movimento da língua do pica-pau)).

A ênfase é dada à análise funcional das estruturas, e à construção do problema do *design* (Lauder, 1998), ou seja, a complexidade da organização estrutural da característica adaptativa e seu ajuste à função que desempenha. A idéia de *design* é trazida ao plano social da sala de aula mais explicitamente pela professora, no turno de fala 14. Mas a noção de *design* não é suficiente para a construção do problema darwinista de adaptação. Para tanto, é preciso relacionar o *design* com o aumento na eficiência da estrutura, e do organismo que a possui, em resolver os desafios impostos pelo ambiente, incluindo àqueles relativos à relação que os organismos estabelecem uns com os outros, como a competição por recursos. Ainda que nas interações discursivas entre os turnos de fala 3 a 8, seja feita alguma referência a eficiência do bico do pica-pau em relação ao bico de outras espécies, não é construída a idéia de luta pela sobrevivência, uma vez que não há nenhuma referência a diferenças na capacidade destes pássaros na obtenção de recurso. Ou mesmo, o que seria ainda mais

importante do ponto de vista da perspectiva darwinista, da capacidade diferencial de indivíduos de uma população da espécie de Pica-pau analisada.

Além de uma análise ecológica (Caponi, 2000, p. 43 e 50) desta natureza, na qual é analisada em que condições uma determinada característica opera como um fator adaptativo, é preciso introduzir uma perspectiva etiológica à análise funcional das estruturas adaptativas, para que o conceito darwinista de adaptação seja desenvolvido.

Após explorar quatro casos de exemplos emblemáticos de adaptações biológicas, seguindo o mesmo tipo de abordagem, a professora resolve dirigir o discurso da atribuição funcional para uma análise etiológica, em que fossem exploradas as causas últimas para a existência das adaptações. Abaixo transcrevemos um trecho do segundo episódio de ensino que selecionamos desta aula, referente ao momento em que esta mudança na direção do discurso ocorre:

1. **Professora**: Todos esses mecanismos que nós vimos aqui/ que auxiliam/ ajudam/ é necessário para a sobrevivência dos organismos. Vamos ficar assim/ pensando/ Será que isso teria um propósito? Uma finalidade? Como é que ocorreu isso na natureza? Por que? (+) Vocês já fizeram esta pergunta? (+). Quando está lá a Ilha/ e a gente vê um siri branco se escondendo na areia, vocês/ vocês não param para ficar assim PENSANDO o porquê desse mecanismo.
2. **Estudante 7**: Para que tenha meios de convivência.
3. **Professora**: Para que?
4. **Estudante 7**: Para que tenha meios de convivência.
5. **Professora:** Sim. Agora vocês conseguem, assim... (+) pensar POR QUE, POR QUE ISSO? Tudo bem/ para sobreviver. Como será que isso ocorreu?
6. **Estudante 3**: Professora/ estudante 1 quer falar. Fala aí.
7. **Professora:** Diga.
8. **Estudante 1**: Falar o que rapaz?!
9. **Professora:** Eu queria que vocês pensassem sobre isso. Por que será/ Tudo bem. Já sabemos que é para a sobrevivência/ mas porque será que ocorreu isso/ justamente/ naqueles organismos? E por que não todos? Todos não têm a mesma forma? Como foi que chegou assim/ esses organismos nessas estruturas que os auxiliam na sobrevivência nesse ambiente? Como será? O que levou a isso? Eu gostaria que vocês pensassem, refletissem sobre isso.((Professora olha para a turma, que permanece em silêncio – pausa de 10 segundos)).Como será? Por que? Imagine aquele louva-a-deus que fica da cor mesmo daquele ambiente e você muitas vezes se passa mesmo, olha e não vê. Isso ajuda/ como vocês mesmos disseram/ tanto na fuga/ como na captura de alimentos. Mas como chegou a este requinte/ a essa sofisticação (++) Podem pensar/ temos tempo. (+) Como será que SURGIRAM essas estruturas?
10. **Alunos falam entre si sobre outros assuntos**
11. **Professora:** Como será que surgiu esta característica aqui tão interessante ((professora coloca prancha mostrando insetos camuflados, ver figura 3)). Esse recorte no inseto/ parecidíssimo com a planta/ essa planta que está aqui/ ó. Essa planta que está doente, né? Que foi atacada por fungos. Como será que surgiu isso? Nós já sabemos, ham..., que auxilia, que tem essa finalidade e tal/ mas como surgiu?
12. **Estudante 9:** Ele surgiu pela folha.

13. **Professora:** Você acha que surgiu quando ele comeu a folha? Mas você acha que ele era como antes?
14. **Intervenção do estudante 9, inaudível na fita**
15. **Professora:** Certo. Mas todos esses organismos desta espécie são assim? Todos eles comeram a folha desse formato e ficam assim?
16. **Intervenção do estudante 9 inaudível na fita.**
17. **Professora:** Todos? Porque a gente está analisando um indivíduo, um só, mas todos da espécie são dessa forma. Como será que surgiu? (interrupção, alunos de outra turma batem à porta). Então/ estudante 9/ você acha que nesse organismo aqui/ que tem nessa folha/ que parece com essa folha/, que tem a camuflagem/ tem esse mecanismo de camuflagem/ ele poderia/? Isso surgiu porque ele se alimentou. Mas será que todos surgiram assim? Será que todos surgiram assim/ por causa da alimentação?
18. **Estudante 9**: Não.
19. **Professora:** Não/ e aí? Alguém sugere assim/
20. **Estudante 10:** É da natureza mesmo. Surgiu da natureza.
21. **Professora:** Surgiu da natureza. Como? Explica melhor.
22. **Estudante 9**: Essa espécie/ ele já foi programada para ser assim mesmo.
23. **Professora:** Você acha que esta espécie já nasceu programada para ser assim. Quer dizer/ já nasce assim. Surgiu/ (professora faz gestos como quem diz "surgiu do nada!").
24. **Estudante 9:** Se ele comer essa folha/ ele vai ficar assim. Se ele comer a folha verde/ fica verde. Se comer a folha seca/ fica seca. Entendeu?
25. Estudante 3 reage com gestos que indicam que não concordam com a explicação
26. **Estudante 9:** (voltando-se para o colega) Eu tô dizendo que ele é programado para isso.
27. **Professora:** Então, você acha que através da alimentação é que/
28. **Estudante 9:** É.

A partir do momento que se colocou a questão da explicação para a origem das estruturas adaptativas, houve uma diminuição notável no grau de alternância de turnos de fala e um aumento muito grande no número e na duração dos turnos de fala da professora em relação aos dos estudantes. No primeiro turno de fala, ao usar os termos "propósito", "finalidade", a professora deu legitimidade para explicações finalistas, o que suscitou participação imediata do estudante 7. Após ela recolocar a questão, de modo a avaliar negativamente a resposta do estudante 7 e desencorajar esta perspectiva, instalou-se, entre os estudantes, um silêncio desconfortável, seguido por uma impaciência com a insistência da professora com aquela questão. Ao final deste segmento do episódio, foram produzidas algumas explicações para a origem da cor camuflada do louva-deus, dentre elas, o fato dos mesmos se alimentarem de plantas. Esta é uma explicação que tem como foco o organismo individual e apela para causas próximas.

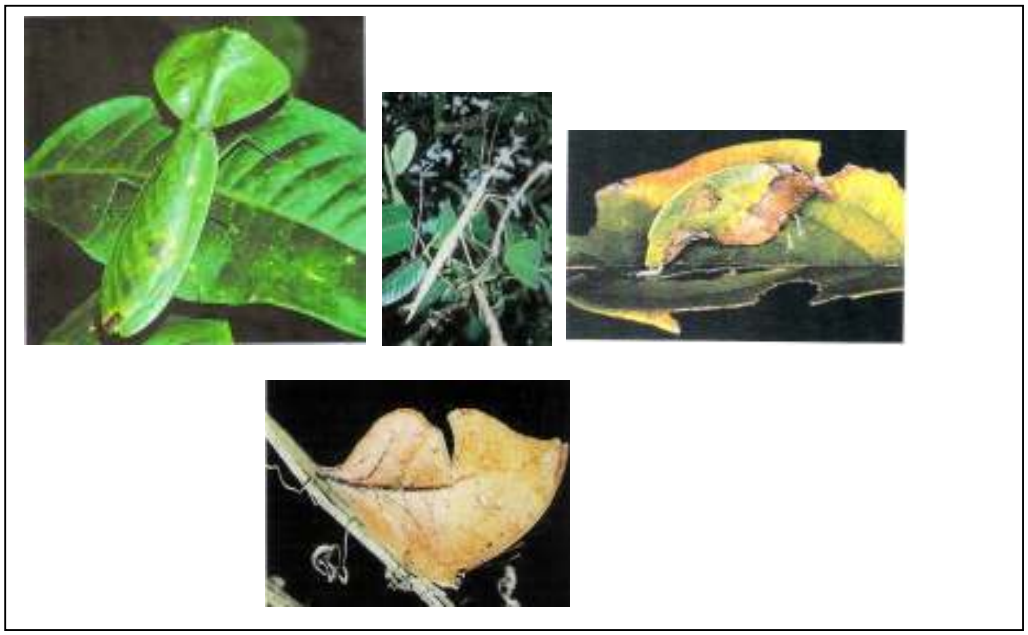


Figura 3: Ilustração apresentada aos estudantes para análise do fenômeno da camuflagem

No turno de fala 17, a professora tenta desviar o foco no organismo individual para uma população de organismos, no entanto, não chega a desenvolver a idéia de variação intrapopulacional e de relações inter-específicas. Entre os turnos 17 e 21, a professora usa de estratégias enunciativas para avaliar negativamente a explicação baseada na transformação dos indivíduos em decorrência da alimentação, e incentivar aos estudantes que apresentem explicações alternativas a esta. Entre o turno 22 e 28, o estudante 9 propõe uma explicação para a camuflagem que continua estruturada na ação de um mecanismo fisiológico, a mudança na cor e aparência do corpo através da alimentação. No entanto, introduz como fator causal, o princípio de ordenação teleológica da forma orgânica: os organismos já nascem programados para mudar de cor conforme o recurso alimentar explorado. Em termos da elaboração conceitual do estudante 9, podemos considerar este episódio como uma transição microgenética de uma perspectiva funcionalista a-etiológica de interpretar adaptação para uma perspectiva finalista.

Assim como nos dados relativos a microgênese deste conceito no processo de aprendizagem dos estudantes investigados por Ash (2008) nos mostram que o desenvolvimento do raciocínio forma-função, o qual estrutura a construção do problema do design, e mesmo o estabelecimento de relações entre diversas adaptações e fatores ambientais

limitantes, não são suficientes para a formação do conceito darwinista de adaptação, tal como formulado por Sober (1993).

Os dados empíricos relativos à significação do conceito em entrevistas e interações em sala de aula no ensino médio, analisados nesta seção, mais uma vez apontam que o desenvolvimento de perspectivas geneticamente anteriores à darwinista está associado ao foco no organismo individual, ao apego às causas próximas, à noção de que os fenômenos naturais ocorrem de modo a manter uma ordem harmônica no mundo. Diante de tais compromissos epistemológicos, ainda que se construa o problema do *design,* ele tende a ser interpretado, exclusivamente, do ponto de vista das exigências intrínsecas do sistema orgânico, sem que seja considerado, em nenhum nível da análise, o ponto de vista da "eficiência extra-sistêmica de resolver um problema adaptativo" (Buller, 2002, p. 241), como o de escapar de predadores, ou obter recurso de modo mais eficiente que seus competidores. Além disso, há uma diferença fundamental entre as explicações do design e as explicações evolutivas, as primeiras são sincronicas – analisam as relações de dependência funcional entre o traço a ser explicado e as condições externas e internas que no momento atual o tornam vantajosos – e as segundas são históricas – a existência de um traço é explicada pela peformance passada de organismos ancestrais que portavam este traço (Wouters, 2007, p. 75).

2.4. A gênese do conceito de adaptação biológica no contexto do ensino superior:

Com o intuito de garantir uma diversidade de idéias sobre adaptação, e seus contextos de produção, incluímos na coleta de nossos dados empíricos a investigação da gênese deste conceito no contexto do ensino superior de biologia.

Foram aplicados questionários a alunos recém-ingressos (segundo semestre) e formandos (sétimo semestre) do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UEFS. Os questionários foram elaborados com base na adaptação dos cenários e ilustrações apresentados na entrevista para uma versão impressa, explorando-se os cenários através de questões abertas e de múltipla escolha (ver apêndice 2).

As interpretações apresentadas pelos alunos para os cenários relativos à diversificação da forma orgânica foram agrupadas em quatro grandes categorias, no que diz respeito aos temas do fator e mecanismo causal da mudança adaptativa: (1) fenomenismo; (2) perspectiva transformacional; (3) transmutacionismo; (4) perspectiva variacional.

Alguns alunos diante de questões que lhes solicitavam a explicação para a diversificação ou complexidade estrutural da forma orgânica, em lugar de propor um mecanismo causal que explicasse sua origem, apresentaram uma descrição da morfologia e

dos atributos funcionais das estruturas adaptativas, a qual, em alguma medida, já havia sido apresentada pela questão. Nestes casos, foi freqüente a realização de uma análise funcional de natureza não etiológica, através da qual era atribuído o papel que cada estrutura desempenhava na realização da função do sistema orgânico em questão. Uma análise funcional desta natureza foi realizada, por exemplo, por um estudante do segundo semestre para explicar a diversificação na morfologia da mandíbula e dos dentes nos diferentes grupos de animais mamíferos:

> *A variação no formato da mandíbula, no formato e disposição dos dentes nos diferentes grupos animais mamíferos pode ser analisada tomando como base a função exercida por cada um já que os grupos apresentam diferentes formas de obter e processar seu alimento ou presa, sendo que os carnívoros possuem dentes frontais e afiados para facilitar a captura da presa (associado ao processo dilacerador), nos herbívoros a disposição dos dentes facilita a chegada do vegetal aos dentes mastigadores (disposto externamente), já nos onívoros a dentição em forma de arco permite a dupla função – carnívora e herbívora. Estas diferentes formas são prováveis que tenham surgido de variações de grupos originais, de ambientes e formas de explorá-los onde por um processo adaptativo foram se estabelecendo de acordo com a função.* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Como podemos observar, ao final de uma análise funcional não etiológica dos dentes e de sua disposição nas mandíbulas de diferentes mamíferos, o estudante explicou a diversificação na morfologia dessa estrutura através da menção a um "processo adaptativo", o qual, no entanto, é apenas nomeado, sem que haja a preocupação em explicitar mecanismos causais. Portanto, nesta explicação o termo adaptação figura como um princípio auto-explicativo. Inicialmente, denominamos fenomenismo esta interpretação do conceito de adaptação, por consideramos que sua principal característica é tomar o fenômeno da adaptação como auto-evidente e auto-explicativo. No entanto, interpretações como esta, se encontram também comprometidas como uma perspectiva funcionalista de explicar a forma orgânica. É importante deixar claro, no entanto, que esta perspectiva funcionalista difere do utilitarismo darwinista, uma vez que o sentido dado à função diz respeito apenas ao papel da estrutura na manutenção do sistema organismo que a inclui, sem que seja feito menção ao papel biológico (Bock e Wahlert, 1989, p. 131) que estrutura cumpre, ou seja como contribui para a sobrevivência e reprodução de seu portador, frente a luta pela sobrevivência.

Apenas uma aluna do segundo semestre apresentou este tipo de interpretação para o conjunto das questões propostas. No entanto, muitos alunos apresentaram este tipo de resposta como explicação para a diversificação na morfologia da mandíbula e dos dentes nos diferentes

grupos de animais mamíferos, ainda que tivessem interpretado os demais cenários a partir de uma estrutura conceitual mais próxima do darwinismo.

A interpretação expressa pela quase totalidade dos estudantes que apresentaram concepções alternativas à perspectiva darwinista pode ser enquadrada em uma única categoria no que diz respeito à natureza do mecanismo causal que explica a mudança adaptativa. Trata-se de explicações de caráter transformacional, segundo as quais as mudanças evolutivas são resultantes da transformação gradual dos membros individuais da espécie. Este é o caso, por exemplo, da explicação de um aluno do sétimo semestre para a diversificação dos bicos dos tentilhões de Galápagos, a qual se encontra estruturada também na visão tipológica de espécie, ou pensamento essencialista:

> *Inicialmente, todos os tentilhões tinham bicos iguais e viviam na mesma região de Galápagos, depois, esses tentilhões foram separados por uma barreira geográfica e se dispersaram. Em seus novos ambientes, eles tiveram contato com alimento diferente ao de Galápagos e seus bicos foram mudando gradualmente para se adaptarem aos novos hábitos alimentares.* (resposta dada à questão 9 do questionário por estudante do sétimo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Entre as diversas perspectivas transformacionais de descrever a evolução, em sua grande maioria, os estudantes elaboraram explicações de caráter finalista que se caracterizavam por apresentarem como heurística a idéia de processo dirigido pela necessidade, e a proposição de que o mecanismo causal responsável pela mudança adaptativa consistia na ação deliberada e consciente dos membros individuais da espécie de se ajustarem ao ambiente. Estas duas noções estruturam a interpretação de uma aluna do segundo semestre ao cenário acerca da semelhança entre o labelo de uma espécie de orquídea e a fêmea de uma espécie de vespa e sua relação com polinização. Ás questões de como esta característica surgiu e se podemos considerá-la uma adaptação, foram dadas as seguintes respostas:

> [Esta característica] *surgiu da necessidade da espécie reproduzir-se, provavelmente essa espécie de orquídea por algum motivo não estava conseguindo reproduzir-se, então a espécie usou esse mecanismo.* (resposta dada à questão 3 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

> *Sim* [podemos considerar essa característica uma adaptação]. *Porque a espécie conseguiu mudar a sua morfologia, adaptando-se a necessidade de obter uma reprodução eficaz.* (resposta dada à questão 4 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Na análise das explicações transformacionais, nos surpreendeu o fato de não ter sido encontradas com certa freqüência explicações baseadas na transformação pelo mecanismo de

uso e desuso. Apenas um aluno expressou este tipo de perspectiva e apenas em um dos cenários:

> *"(...) cada espécie foi se adequando em disponibilidade de recursos, conseqüentemente atrofiando os dentes que não utilizaram e dando destaque ao mais usados."* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Entre os questionários respondidos pelos estudantes do sétimo semestre, encontramos explicações transmutacionais, nas quais a origem de características adaptativas é atribuída exclusivamente a mudanças no material genético dos membros individuais da espécie, como por exemplo, na seguinte explicação para a origem da pétala modificada da orquídea que mimetiza a morfologia de uma espécie de vespa:

> *Deve ter sido uma modificação no material genético dessa orquídea que formou-a com essa característica as quais permitiu a ela uma melhor adaptação, já que suas características atrai esse tipo de vespa que se "encarrega" de facilitar a difusão do pólen e garantir perpetuação. (...) Essa característica será mantida nessa espécie de orquídea até que uma outra alteração no material genético ocorra, gerando uma "nova" característica que se for favorável será mantida para garantir a sua existência no planeta.* (resposta dada à questão 3 do questionário por estudante do sétimo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

É importante notar, neste caso, que não só a produção de variação fenótipica é atribuída exclusivamente à ocorrência de uma mutação, como também a manutenção ou não da característica na população. Segundo a interpretação da aluna, a permanência da característica adaptativa na população está condicionada a ocorrência ou não de uma nova mutação. Esse aspecto distingue esta interpretação de outras respostas, muito freqüentes entre os estudantes do sétimo semestre, em que é atribuída a mutação um papel preponderante à mudança evolutiva como um todo, mas nas quais o mecanismo da seleção natural é supostamente ou explicitamente mencionado.

Foram encontradas também, entre estudantes de ambos semestres, respostas consistentes com a perspectiva darwinista, nas quais as mudanças evolutivas são explicadas em termos de dois processos que operam na população e não nos indivíduos: a produção de variação e o processo de seleção natural. Essas interpretações se caracterizam por reconhecerem com maior clareza a importância da variação intrapopulacional como condição para que possam ocorrer mudanças evolutivas, e por considerarem como fontes de variação, tanto as mutações, como as recombinações genéticas conseqüentes da reprodução sexuada.

De modo oposto ao exemplo que apresentamos anteriormente para caracterizar a perspectiva transformacional de explicar a diversificação dos bicos dos tentilhões, a

explicação para este mesmo fenômeno que transcreveremos abaixo, encontra-se estruturada pelo compromisso com o pensamento populacional (Mayr, 1982;1988):

> *Numa prole sempre vão existir pássaros com uma pequena gradação do tamanho dos bicos e outros fenótipos. O pássaro que tiver um bico que melhor se ajuste ao tipo de alimento presente naquele ambiente irá prosperar na reprodução, mandando informação genética desse bico para sua prole. Iniciando, assim, o processo de diferenciação que pode levar a formação de tamanhos de bicos diferentes.* (resposta dada à questão 9 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Designamos esta forma de interpretar adaptação de perspectiva variacional, uma vez que as mudanças evolutivas são vistas como resultantes da mudança na proporção de certas variantes em uma população de organismos. Este mecanismo encontra-se descrito, por exemplo, na seguinte explicação dada por um aluno do segundo semestre para o surgimento da resistência bacteriana a antibióticos, em interações discursivas em sala de aula:

> *É o seguinte/ quando a gente usa o antibiótico para matar as bactérias/ dentre aquelas bactérias/ já existe o que? Indivíduos diferentes. Alguns têm a imunidade contra aquela espécie de antibiótico e outros não. Então/ aquelas que não têm imunidade vão acabar morrendo. Aquelas poucas bactérias que ficaram/ elas têm imunidade/ resistem àqueles antibióticos/ elas vão sobreviver. E como só tem essas aí/ elas vão deixar descendentes com a mesma característica dela/ aí vai aumentar a população.* (turno de fala de um estudante segundo semestre de um curso de Licenciatura em ciências biológicas, em interação discursiva em sala de aula).

Por fim, um dos estudantes do sétimo semestre apresentou uma atitude própria de um posicionamento pluralista, segundo o qual além da adaptação da seleção natural devem ser considerados outros fatores na explicação da origem da forma orgânica, assim como a deriva gênica, as restrições históricas, ou filogenéticas, as restrições estruturais, e a cooptação ou reaproveitamento de estruturas (exaptação). Diante da questão acerca de como teria surgido a pétala modificada da espécie de orquídea que mimetiza a fêmea da vespa que a poliniza, o estudante fez a seguinte ponderação:

> *Eu não posso responder essa pergunta sem ter informações sobre seus ancestrais, sobre as espécies próximas, que caso tenham a mesma característica, sobre as condições do ambiente na época e principalmente fatores genéticos como mutações em genes ou mutação intragênica.* (resposta dada à questão 3 do questionário por estudante do sétimo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Os dados solicitados pelo estudante são em grande medida as evidências a partir das quais podemos distinguir se uma característica adaptativa constitui uma adaptação ou uma exaptação, uma vez que a partir delas é possível iniciar uma análise da relação entre mudanças adaptativas nas estruturas e nos comportamentos dos organismos de uma dada linhagem e mudanças nos regimes seletivos associados ao uso corrente daquelas estruturas e

comportamentos. Para que a característica seja uma adaptação, ela deve ter surgido no regime seletivo no qual exibe seu uso corrente, tendo sido favorecida por seleção natural naquele regime específico. Se, no entanto, esta característica, com maior valor adaptativo que suas variantes, apareceu na história evolutiva de uma linhagem antes que um regime seletivo relevante para o uso corrente tenha se estabelecido, o traço não é uma adaptação, mas, provavelmente, uma exaptação para este uso (Sepulveda; El-Hani, 2008, p. 119). Portanto, a ponderação do estudante pode indicar que, diante de uma estrutura funcional, esse estudante busca levar em conta outros processos evolutivos, antes de apresentar prontamente uma narrativa adaptacionista plausível.

De modo semelhante aos dados encontrados por Ferrari e Chi (1985) e por Shultman (2006), tanto estudantes do segundo como estudantes do sétimo semestre apresentaram uma espécie de síntese em que alguns princípios e conceitos darwinistas são integrados a uma estrutura conceitual alternativa de explicar a forma orgânica. Este é o caso, por exemplo, de uma resposta apresentada por uma estudante do sétimo semestre em que a agência da seleção natural é integrada a uma explicação teleológica para a diversificação das mandíbulas dos mamíferos. Neste caso, a noção de que os processos evolutivos são dirigidos pela necessidade de sobrevivência dos organismos continua a ocupar um lugar central na explicação para a origem da forma orgânica.

> *(...) O ancestral herbívoro da ovelha adquiriu o hábito de se alimentar de plantas e assim sua arcada dentária se moldou e se adaptou: os molares mais largos e em maior quantidade surgiram através de seleção natural porque estes indivíduos precisavam mastigar mais os vegetais para a digestão.* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do sétimo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Na explicação para a origem da pétala modificada da orquídea transcrita a seguir também é preservada a noção de que o processo evolutivo é dirigido pela "necessidade de adaptação", sendo que neste caso, as mutações são dirigidas pela necessidade, dando origem a variantes que se adaptam e são então selecionadas:

> *Através da necessidade de adaptação e sobrevivência, onde ao longo das gerações aconteceu mutações nessa espécie e as flores que conseguiram se adequar, se adaptar foram selecionadas naturalmente até os dias atuais*. (resposta dada à questão 3 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Um aspecto a ser destacado nesta explicação, é o uso do termo adaptação. O termo é usado para designar adequação aos desafios postos pelo ambiente à sobrevivência da espécie, como sendo uma propriedade de alguns organismos da população que antecede à seleção

natural. Estamos diante de uma visão prospectiva do conceito de adaptação, a qual é vista como a propensão de um organismo de ser preservado pela seleção natural. Este tipo de interpretação se opõe à perspectiva retrospectiva com que o conceito darwinista de adaptação é apresentado na definição proposta por Sober (1993), na qual a adaptação é concebida como o resultado de um processo de seleção natural.

O questionário aplicado aos estudantes do ensino superior, de modo diferente da entrevista realizada com os estudantes do ensino médio, apresentava questões a respeito do uso e significado do termo adaptação. Solicitava-se do estudante, por exemplo, que avaliasse a adequação do uso do termo para designar dois fenômenos diferentes, um fenômeno de adaptação evolutiva, a origem da pétala modificada da orquídea, e um fenômeno de ajuste fisiológico, o escurecimento da pele em decorrência de exposição ao sol.

Muitos alunos não distinguiram adaptação evolutiva de adaptação fisiológica. Um dado que nos surpreendeu, no entanto, foi o fato de alguns estudantes do sétimo semestre distinguirem claramente estes dois processos, mas considerarem que o termo adaptação deveria ser aplicado apenas aos casos relativos a ajuste fisiológico:

> *No caso das orquídeas, pessoalmente, nem usaria [o termo adaptação]. No caso da pele sim, é uma adaptação fisiológica.*" (resposta dada à questão 3 do questionário por estudante do sétimo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

A adaptação foi definida por estes estudantes como a plasticidade fenotípica dos organismos que os permitem ajustar suas características às circunstâncias prevalentes ao longo da ontogenia:

> *E adaptação seria a capacidade que certos indivíduos possuem em ajustar-se ou acomodar-se a mudanças. A adaptação pode ser medida apenas pela versatilidade de certos indivíduos em poder viver sob várias condições, ou eles podem enfrentar transformações no ambiente com eles próprios sofrendo transformações (mutações).* (resposta dada à questão 7 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Mais freqüentemente os estudantes definiram adaptação tendo em vista o critério de uso corrente, nos termos de Gould e Vrba (1982), ou seja, consideraram adequado o uso do termo para designar qualquer característica que aumente a aptidão do organismo. E por fim, alguns poucos estudantes restringiram o uso do termo a características que foram selecionadas, considerando, portanto, o critério da gênese histórica.

Encontramos também o uso do termo com o significado que apresenta na linguagem cotidiana, referindo-se a propriedade de encontrar-se ajustado às condições de vida. O termo adaptação foi empregado com este significado por um estudante do sétimo semestre para explicar a diversidade dos bicos dos tentilhões da Galápagos. Para o estudante, esta

diversificação resultou da ocupação das ilhas por diferentes espécies que se encontravam "adaptadas" a explorarem os recursos alimentares disponíveis em cada uma delas:

> *Por uma questão adaptativa cada espécie se "estabeleceu" em locais onde podiam se alimentar garantindo a sua sobrevivência. A questão dos bicos está ligada à forma de se alimentar adequada, então, é uma questão de adaptação já que existe espécies que sobrevivem em todas as ilhas, estas provavelmente eram as que tinham a forma mais variada de alimentação.* (resposta dada à questão 9 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Além dos dados referentes à aplicação de questionário, foram coletados dados de interações discursivas em sala de aula. Analisamos alguns episódios de ensino produzidos em uma seqüência de duas aulas com estudantes do segundo semestre de um curso de licenciatura em ciências biológicas. A principal atividade realizada nestas aulas consistia na análise pelos estudantes de citações da literatura em concepções alternativas sobre evolução por seleção natural. A proposta era que os estudantes identificassem nas citações referências aos conceitos estruturadores (Gagliardi, 1986) do pensamento evolutivo darwinista. A seguir apresentaremos uma breve análise de um episódio de ensino que consideramos importante pelo fato de conter interações discursivas entre alunos, que sob a mediação da professora, negociam, não só compromissos epistemológicos que estruturam duas perspectivas diferentes de explicar a mudança adaptativa, como também modos de falar sobre adaptação.

O episódio se inicia com uma intervenção da professora que propõe como desafio para os estudantes a interpretação de um cenário hipotético à luz da biologia evolutiva. O cenário é adaptado de um instrumento de coleta de dados de um estudo em concepções alternativas sobre evolução por seleção natural (Bishop; Anderson, 1990).

1. **Professora:** Muitos de vocês estão com resultados de pesquisas que querem ver que concepções os alunos têm sobre esses conceitos evolucionistas. Então, eu vou fazer uma pergunta que é feia em um destes questionários, e aí, vocês vão me dizer como vocês me responderiam. Então, a pergunta seria assim: Chitas, grandes felinos africanos podem correr até 60 milhas por hora quando estão caçando. Como um biólogo explicaria o desenvolvimento da habilidade de correr, assumindo que os ancestrais desta espécie podiam correr apenas 20 milhas por hora?

Ao mencionar as expressões *"desenvolvimento da habilidade"* e *"ancestrais dessa espécie"*, a professora já no primeiro turno de fala fornece a direção a partir da qual o problema deve ser resolvido, qual seja, a busca de causas distantes, a narrativa de um processo histórico de mudanças. Deste modo já se encontra estabelecida a idéia de mudança evolutiva a partir da qual os estudantes se engajam numa interação discursiva acerca do modelo explicativo mais plausível.

2. **Estudante 5**: Eu acho que, provavelmente, dentre esses ancestrais surgiu, em algum momento, um indivíduo que conseguiu correr um pouco mais do que 20 milhas por hora. E esse animal, como ele conseguia caçar e se alimentar melhor, ele conseguiu também se reproduzir e alimentar melhor os filhos. Então, provavelmente, essa habilidade dele correr mais de 20 milhas por hora foi passando para seus descendentes. Isso talvez tenha sido algum gene que dentro da estrutura óssea, alguma coisa assim, possibilitou que ele pudesse correr mais que 20 milhas. Ou talvez o comportamento.
3. **Estudante 6**: Eu acho também pela falta de presas. Porque antes poderia ter mais presas para pegar com mais facilidade, não precisava correr tanto. E aí com a falta de pressas, eles teriam que se adaptar, para correr mais, para pegar mais, porque diminuiu o número de presas.
4. **Estudante 5:** É. Seria a modificação do ambiente. Porque com a modificação do ambiente, esse gene teria sido....
5. **Estudante ((não identificado)):** Favorecido
6. **Estudante 5:** É, favorecido. E aí ele pôde ressaltar dentro da população. E aí como ele ressaltou, os animais começaram... esse indivíduo começou a se reproduzir mais, e aí começou a passar este comportamento, ou esse gene para seus descendentes. No final de algum tempo, a freqüência ficou maior, e aí eles começaram...
7. **Professora:** Estudante 6, quando você fala assim "existiam menos presas disponíveis, em algum momento, e eles tiveram que se adaptar", como é esse processo de adaptação?
8. **Estudante 6:** Esse processo de adaptação? É como ela falou. Algum gene, modificação da estrutura óssea dele, fez com que ele corresse mais rápido, para procurar mais presas. E as presas iriam diminuindo numa determinada região e eles teriam que se adaptar a essa região para pegar mais presas.
9. **Professora**: E como surge esse gene?

No segundo turno de fala, a estudante 5 introduz as noções de variação intrapopulacional e sobrevivência diferencial. Considera o fato de ser possível surgir uma novidade na população, uma característica comportamental ou física distinta daquela mais freqüente na população. Ela também leva em conta que esta característica pode ser transmitida para futuras gerações numa maior freqüência, por conferir maior sucesso reprodutivo aos indivíduos que a exibem. Deste modo, a estudante tornou disponível aos seus colegas dois pressupostos fundamentais à explicação variacional da mudança evolutiva.

No turno de fala seguinte, o estudante 6 considera também como fator causal importante, uma mudança ambiental, no caso a diminuição de presas, a qual geraria uma nova necessidade aos indivíduos da população ancestral, levando-os a *"se adaptarem"*. Ao tempo em que no enunciado anterior da estudante 5, encontramos compromissos epistemológicos próprios da perspectiva variacional de explicar a mudança adaptativa, o enunciado do estudante 6 apresenta aspectos epistemológicos e marcas discursivas próprios da perspectiva transformacional de interpretação da adaptação, como evidenciado pela afirmação de que os organismos *"têm de se adaptar"*.

Diante da fala do estudante 6, a estudante 5, no turno 4, percebe a importância de incorporar o papel do ambiente no seu modelo explicativo. No entanto, ela o faz de modo diferente do estudante 6, deixando claro que ela não vê as mudanças ambientais como causas diretas da adaptação, mas as interpreta como um agente seletivo das variantes de uma população. Quando outra estudante introduz o termo *"favorecido"*, a estudante 5 o integra em sua explicação, e dá ênfase à alteração das freqüências gênicas na população, devido à transmissão de mais cópias de certas variantes para a geração seguinte. Ela continua, portanto, elaborando aspectos distintivos da perspectiva variacional de significar o conceito de adaptação, especialmente, o pensamento populacional.

No turno sete, a professora dirige uma questão ao estudante 6, para que ele desenvolva melhor seu modelo explicativo e explicite sua compreensão de adaptação. O estudante incorpora uma base genética – noção introduzida pela estudante 5 – para explicar a mudança fenotípica dos indivíduos da população. No entanto, ele se mantém vinculado a uma perspectiva transformacional, uma vez que continua descrevendo a mudança evolutiva como uma transformação dos membros individuais da população movida pela incorporação das condições ambientais. Ele formula um argumento teleológico no qual ele associa a ocorrência de uma modificação na estrutura óssea de um animal individual com a meta de procurar por mais presas, como conseqüência do fato de o animal *"ter de se adaptar"* às novas condições ambientais.

Neste trecho do episódio há uma negociação em torno de aspectos epistemológicos que caracterizam as perspectivas transformacional e variacional de significar o conceito de adaptação. Os estudantes 5 e 6, apesar de não compartilharem da mesma perspectiva de explicação da mudança adaptativa, se engajam em um diálogo, através do qual, um estudante vai se apropriando de idéias do outro para desenvolver sua própria perspectiva. Após mais quatro turnos de fala, outros estudantes começam a identificar e tornar explicitas as diferenças entre as perspectivas apresentadas pela estudante 5 e pelo estudante 6.

14. **Estudante 8:** A gente entra na questão do conceito estruturante que a gente tava falando antes, de entender a população. Porque, na verdade, um indivíduo sozinho, ele não vai evoluir, a população toda vai evoluir. Então, quando você pergunta: Como é que esse gene surge? Na verdade, existem indivíduos variados nessa população. Existem indivíduos com características diferentes...

(....)

18. **Estudante 8:** É. Então, aquelas variações dentro da população, a partir do momento que ela passa a ser influenciada pelo ambiente, alguns indivíduos que tenham essa característica, eles vão ser favorecidos. Eles vão conseguir...vão ter mais sucesso, deixar suas características adiante, tudo mais...Não é que o gene surja, de uma hora para outra. A evolução não é de um indivíduo, é a população que vai evoluindo. Á

medida que estes indivíduos vão tendo mais sucesso na reprodução, a freqüência destes indivíduos na população vai aumentando. Se antes tinha, sei lá, numa população de 100 indivíduos, tinham só 10 mais desenvolvidos, que corriam mais rápido. Aí isso vai aumentando, 15, 20, até que a freqüência aumenta, até que a população toda ganhou essa característica de correr mais rápido. E aí por isso é importante você ter o conceito estruturante de população antes, de freqüência...e disso que a gente estava falando.

19. **Estudante 9**: Não, porque eu queria falar, porque eu acho que na fala do Estudante 6, ele se equivocou um pouco, na parte que ele falou que o animal teve de se adaptar. Eu acho que eu tô mais com a parte da Estudante 8, que ela falou que tinha uma população, que eles corriam a 20 milhas, mas que um ou outro podiam correr um pouco mais, e devido até mesmo, como ela falou, à falta de presa neste local, tiveram que se deslocar para um local mais distante, e aqueles que corriam mais, e a minoria que corria mais foi favorecida, devido a isso que eles tinham de correr mais. E o resto da população que não tinha essa ...corria só até 20 milhas, morreram devido a falta de alimento. Eu acho que foi isso. Foi a seleção natural. E não o animal que teve que se adaptar. E sim, aqueles que corriam um pouco mais foram favorecidos, por causa da seleção natural. Eu acho assim.

Nos turnos de fala 14 e 18, a estudante 8 identifica os compromissos ontológicos distintivos que fundamentam as perspectivas apresentadas pela estudante 5 e pelo estudante 6. Ela percebe que a diferença é dada pela oposição entre o foco no nível populacional (e, portanto, filogenético), atribuído nos enunciados da estudante 5, e o foco no nível do organismo individual (e, portanto, ontogenético), atribuído nos enunciados do estudante 6. A estudante 8 também afirma a importância do pensamento populacional no modelo explicativo darwinista. Quando esta estudante, no turno de fala 18, nomeia a variação intrapopulacional e o pensamento populacional como conceitos estruturantes, termo próprio do discurso da professora, ela propõe ao grupo uma nova direção no processo de significação em sala de aula, dirigindo-os para construir uma univocidade em torno da explicação variacional para mudança adaptativa.

Outro passo importante para este processo é dado pela estudante 9, no turno 19, ao nomear o processo que vinha sendo descrito pelas estudantes 5 e 8 como "seleção natural". Ao ter acesso ao termo "seleção natural", os estudantes passam a dispor de um recurso mediacional para atribuir sentido ao modelo explicativo proposto e para orientar sua aplicação na resolução de novas situações concretas.

Um aspecto importante do turno de fala 19 é o de que a estudante 9 propõe a negociação de modos de falar sobre adaptação. Ela reconhece o uso da expressão "*ter de se adaptar"* pelo estudante 6 como uma marca discursiva do modo de pensar da perspectiva transformacional. Ao opor-se a este modelo explicativo, ela emprega, por sua vez, a expressão '*ser mais favorecido*'. Esta expressão já havia sido empregada nos turnos 6 e 16 pelas

estudantes 5 e 8, ao repeti-la neste contexto discursivo, a estudante 9 contribui para legitimar a expressão como uma marca discursiva do modo de falar da perspectiva variacional. No primeiro modo de falar, os organismos são sujeitos da mudança evolutiva, no segundo modo de falar os organismos passam a ser objetos da mudança evolutiva.

A análise de dados de sala de aula, além de permitir a identificação de compromissos epistemológicos e ontológicos envolvidos na microgênese do conceito darwinista de adaptação, também nos fornece elementos para caracterizarmos modos de falar que estão relacionados a formas de significar este conceito.

2.5. Temas epistemológicos em torno dos quais a polissemia do conceito pode ser organizada

A partir do diálogo entre estudos epistemológicos e históricos, a literatura em concepções alternativas, os dados obtidos em entrevistas e questionários com estudantes do ensino médio e do ensino superior, e a análise de alguns episódios de ensino, foi possível identificarmos seis temas epistemológicos a partir dos quais o conceito de adaptação evolutiva pode ser significado: (1) ontologia, (2) fator causal; (3) mecanismo causal, (4) natureza da solução adaptativa, (5) condições necessárias e suficientes para que uma característica seja considerada adaptação, (6) papel do conceito na explicação da forma orgânica.

Uma característica distintiva do conceito de adaptação é que, mesmo no âmbito específico da biologia evolutiva, tem sido descrito como pertencendo a duas categorias ontológicas distintas, como uma entidade física – um traço distinguível do fenótipo do organismo –ou como um processo. No âmbito da cultura geral e mesmo no discurso da Biologia, a adaptação pode ser compreendida também como um estado de ser.

Para Levins e Lewontin (1985), as duas noções "adaptação como processo" e "estado de estar adaptado" têm origem na herança da visão de mundo finalista da teologia natural do século XVII, trazida de volta à biologia moderna através do conceito darwinista clássico:

> O conceito de adaptação implica uma forma, um problema ou um ideal preexistente, ao qual os organismos são ajustados por um processo dinâmico. Este processo é a adaptação e o resultado final é o estado de estar adaptado. (Levins e Lewontin, 1985, p. 67)

West-Eberhard (1992, p. 13) nos chama atenção também para o fato da palavra adaptação ser aplicada algumas vezes a organismos individuais para denotar a "propensão para sobreviver e reproduzir-se" em um ambiente particular. Este emprego do termo tem sido criticado por biólogos evolutivos e filósofos, a exemplo de Mayr (1988), Sober (1993) e Burian (2005), sob o argumento de que a palavra adaptação deve ser significada em termos históricos, para designar características resultantes de um processo de seleção natural,

enquanto que os termos adaptatividade (*adaptedness*) (Mayr, 1986; Sober, 1993) ou "adaptado" (Burian, 2005) poderiam ser empregados em termos a-históricos, para designar a suposta propensão dos organismos a ter sucesso reprodutivo.

Estes dois empregos do termo adaptação, ora para designar propensão dos organismos a sobreviver e reproduzir, ora de modo restrito a características que foram resultantes da ação da seleção natural, dão origem a duas perspectivas de significar adaptação em termos ontológicos, uma visão prospectiva e uma visão retrospectiva.

Outro aspecto ontológico relacionado à polissemia do conceito de adaptação diz respeito aos níveis hierárquicos em que se dá. A adaptação pode ser vista como uma mudança que ocorre no nível ontogenético, ao longo do ciclo de vida de um indivíduo, ou como uma mudança que ocorre em populações ao longo do tempo evolutivo, no nível filogenético. As mudanças evolutivas adaptativas são explicadas, em termos darwinistas, como alterações na composição genética das populações, ao longo das gerações, através do mecanismo de seleção natural, sendo, portanto, um processo que ocorre no nível filogenético.

A confusão entre níveis ontogenético/individual e filogenético/populacional constitui uma das dificuldades mais comuns à compreensão do conceito darwinista de adaptação. Esta confusão pode estar relacionada à analogia entre "desenvolvimento" e "evolução", a qual pode propiciar um erro categórico que, segundo Ferrari e Chi (1998), tem gerado concepções alternativas à explicação darwinista, a atribuição de propriedades de um tipo ontológico de processo natural a outro. De acordo com Bowler (2003), a fusão entre "desenvolvimento" e "evolução" constituiu uma das principais dificuldades históricas enfrentadas na construção de uma interpretação variacional, não-progressiva e não-linear, da evolução.

Outro compromisso associado à confusão entre os níveis hierárquicos em que ocorre a mudança adaptativa diz respeito ao pensamento essencialista, ou seja, à idéia de que a identidade da espécie permanece constante através de transformações temporárias ou permanentes, uma vez que os seus membros individuais possuem um potencial inato (a essência) para desenvolver o mesmo caráter (Shtulman, 2006). Este compromisso ontológico leva aos estudantes considerarem mais intuitivo conceber a evolução como um processo em que a essência da espécie se transforma ao longo do tempo, a partir da transformação individual de cada membro de uma espécie, e não como um processo populacional, no qual são as populações que mudam ao longo do tempo.

Neste ponto, chegamos a um segundo tema epistemológico importante na gênese do conceito de adaptação: a origem dos fenômenos biológicos que representa, o fator causal e o mecanismo que explicam o "porquê" de sua existência.

As informações obtidas através da literatura em concepções alternativas e os nossos dados empíricos, relativos a entrevistas e questionários com estudantes do ensino médio e superior, nos forneceram indicativos de que um primeiro estágio na ontogênese do conceito de adaptação é a ausência de uma explicação causal de natureza etiológica para a existência de características adaptativas, ou visto de outro modo, a concepção da adaptação como sendo um fenômeno auto-evidente que dispensa um mecanismo explicativo. De um lado, existem estudantes que sequer reconhecem o problema darwinista da adaptação, ou seja, a relação entre complexidade da forma orgânica e luta pela sobrevivência. Há ainda aqueles estudantes que diante de questões que fazem referência direta à origem histórica de uma característica adaptativa, como por exemplo "Como esta característica surgiu?", reagem com enunciados, cujo conteúdo semântico e entonação expressiva, indicam que eles consideram perguntas deste gênero descabidas, dado a auto-evidência do fenômeno: *Acho que surgiu da natureza. Isso é da natureza mesmo!* De outro lado, há estudantes que empregam o termo *"adaptar-se"* ou *"processo adaptativo"* para explicar a diversificação das formas orgânicas, tomando a adaptação como um princípio auto-explicativo.

Uma segunda categoria de forma de pensar o conceito de adaptação no que diz respeito à sua etiologia é uma visão finalista, segundo a qual a adaptação é suficientemente explicada pelo fim, meta (télos) que realiza.

Por fim, há mais duas categorias relativas à causalidade da forma orgânica, envolvidas na polissemia do conceito de adaptação. Ambas são caracterizadas pela introdução de uma perspectiva histórica de explicar a existência das adaptações, mas diferem, no entanto, no que diz respeito à natureza do mecanismo causal responsável pelas mudanças adaptativas. Trata-se das explicações transformacionais e variacionais, tal como distinguidas por Lewontin (Levins e Lewontin, 1985; Lewontin, 2000), Sober (1993) e Caponi (2005) (ver tema 3 da tabela 1).

Como vimos na seção 2.1, as explicações para a origem das adaptações, além da natureza do mecanismo causal proposto, podem diferir no que diz respeito à natureza do fator causal que dirige o processo adaptativo. Este processo pode ser pressuposto como sendo controlado por forças externas aos organismos ou internas a eles, ou ainda por uma relação dialética entre estes dois tipos de fatores. Em relação a este aspecto, a adaptação pode ser significada a partir de perspectivas externalistas, internalistas e construcionistas de se interpretar a mudança evolutiva.

O quarto tema epistemológico em torno do qual se produz polissemia na significação do conceito de adaptação diz respeito à natureza da solução adaptativa. Ao ser vista como

uma característica fenotípica, a adaptação pode ser concebida como o melhor estado possível daquele caráter, estrutura ou comportamento, ou como uma solução provisória para problemas ambientais reais enfrentadas por um grupo de organismos num determinado momento de sua história evolutiva.

Segundo análise de Ospovat (1999, p. 6), Darwin, até meados de 1850, mesmo tendo rejeitado as explicações teleológicas para adaptação que acompanhava o fixismo criacionista, ainda mantinha o compromisso com o pressuposto da harmonia da natureza e da perfeição da adaptação. No período entre os anos de 1837 e 1838, ao construir a teoria da seleção natural, Darwin tomava por certo que a variação ajustava às propriedades dos organismos na direção da adaptabilidade perfeita vis-à-vis as novas circunstâncias ambientais, dirigindo a mudança hereditária em direção a um design ótimo sempre que o organismo estava insuficientemente adaptado. (Burian, 2005, p. 59). Segundo a análise de Burian (2005, p. 59), Darwin foi levado a abandonar este conceito absoluto de adaptação, o qual avalia o design de um produto em si mesmo, e empregar um conceito relativo de adaptação muito mais intimamente ligado à seleção natural que o anterior, quando se deu conta de que a variação é amplamente isotrópica e não-direcional em respeito às necessidades dos organismos. Esta noção de variação isotrópica, abundante e cega põe em questão a idéia de design ótimo e adaptabilidade perfeita e permite a noção de variantes fenotípicas com diferentes graus de eficiência. Desta perspectiva, o design da estrutura orgânica não é avaliado em termos absolutos, mas tendo em vista a série de alternativas possíveis. Adaptação é interpretada como uma solução projetada melhor (considerando-se as restrições reais ao design) a um desafio ambiental real do que alternativas específicas.

As análises de Ospovat (1999) e de Burian (2005) nos chamam a atenção para a importância de considerar não só os temas relativos ao fator e mecanismo causal, como também o tema da natureza da solução adaptativa, na compreensão das diferentes perspectivas de se interpretar o conceito de adaptação. Nas interpretações finalistas da adaptação, estes dois aspectos, fator causal e natureza da solução adaptativa normalmente se confundem. Mas este não é o caso para demais interpretações acerca do fator causal que dirige a mudança adaptativa e do mecanismo causal que explica sua ocorrência. È possível, por exemplo, interpretar a adaptação como resultado de um processo de propagação seletiva de variações na população, devido à pressão seletiva do meio (mecanismo variacional), e pressupor que tal processo leva necessariamente ao aprimoramento do estado médio de um caráter com relação a uma função específica (otimização). Neste caso, a adaptação consiste no design ótimo daquele caráter. Mas é possível também interpretar que a característica tornada predominante

na população como resultado deste processo de seleção natural, consiste no design melhor projeto para os desafios ambientais reais, enfrentados na história evolutiva desta população, quando comparado com os designs alternativos historicamente disponíveis.

Os temas cinco e seis dominam os processos de significação do conceito de adaptação no âmbito dos debates entre biólogos evolutivos e teóricos e filósofos da biologia, dizem respeito às condições necessárias e suficientes para que uma característica seja considerada adaptação e o alcance do conceito de adaptação na explicação da forma orgânica, respectivamente.

Em relação ao quinto tema, os desacordos giram em torno das seguintes questões: 'O fato de uma característica aumentar a aptidão biológica é suficiente para ser designada de adaptação?' 'Para que uma característica seja considerada adaptação é necessário que ela incremente a aptidão biológica?' 'Ou não há qualquer dependência lógica entre adaptação e aumento de aptidão, de modo que é necessário e suficiente que a característica tenha tido origem na seleção natural, para ser considerada adaptação?' As respostas a estas questões têm gerado três posicionamentos distintos, conforme caracterizamos na tabela 1: (1) considera-se suficiente o fato de uma característica aumentar a aptidão biológica para que ela seja designada de adaptação; (2) considera-se necessário e suficiente que a característica tenha tido origem na seleção natural para designá-la uma adaptação; (3) considera-se necessário, mas não suficiente, o fato de uma característica ter sido moldada pela seleção natural para que seja designada uma adaptação. É preciso que a característica satisfaça também, outra condição necessária, o incremento atual da aptidão biológica (fitness).

No que diz respeito à polissemia gerada em torno do sexto tema, identificamos três categorias: (1) uma visão adaptacionista, a qual atribui primazia causal ao fenômeno da adaptação na explicação para origem e diversificação da forma orgânica; (2) uma visão estruturalista, a qual atribui primazia a outros fatores causais não adaptativos, especificamente, às restrições estruturais e/ou filogenéticas na explicação para origem da forma orgânica; (3) e uma visão pluralista, a qual reconhece três possíveis (mas não mutuamente excludentes) fatores determinantes da forma orgânica: restrições correntes, adaptações correntes, herança ligada à história passada tanto de restrições quanto de adaptações.

Estes temas, em especial a negociação entre os compromissos do adaptacionismo e pluralismo de processos, também povoam em certa medida os processos de significação do conceito de adaptação no contexto da construção do conhecimento escolar do ensino superior de Biologia, estando presente na abordagem da teoria darwinista da evolução nos manuais

didáticos utilizados neste nível de ensino, e mais timidamente nas interações discursivas em sala de aula, que registramos.

Para cada um dos temas epistemológicos citados acima, portanto, foi possível identificarmos também um conjunto de compromissos ontológicos e epistemológicos que fundamentam a interpretação da adaptação evolutiva. Na tabela 1, apresentada abaixo, organizamos a disposição deste conjunto de compromissos epistemológicos e ontológicos na forma de categorias de interpretar o conceito de adaptação, segundo cada um dos seis temas identificados e analisados nesta seção. Esta tabela consiste em uma matriz epistemológica, na qual pudessem ser mapeados todos os aspectos epistemológicos envolvidos na significação do conceito de adaptação nos contextos em que os dados foram coletados. A construção desta matriz epistemológica foi um passo metodológico fundamental para que pudéssemos constituir as zonas de nossa proposta de perfil conceitual a partir das informações disponibilizadas pelas fontes de dados que analisamos ao longo deste capítulo. A caracterização epistemológica das zonas do perfil que individualizamos a partir desta análise será descrita no próximo capítulo.

Quadro 1: Matriz epistemológica de significação do conceito de adaptação.

Tema Epistemológico		**Categorias**	**Compromissos ontológicos e epistemológico**
1	Ontologia	Estado de ser	Adaptação como um estado de ser, ou propriedade biológica da população ou do organismo de estar adaptado ao ambiente.
		Processo	Adaptação é concebida como um processo (adaptar-se a)
		Característica	Adaptação é tida como um traço distinguível do fenótipo do organismo pelo efeito que apresenta no modo como o organismo interage com ambiente.
		Visão prospectiva	Adaptação é a propensão presente do organismo ou da estrutura orgânica de ser preservado (a) pela seleção natural devido seu valor adaptativo.
		Visão retrospectiva	Adaptação é concebida como resultado de uma história passada de seleção natural.
		Ontogenético / Nível do Organismo	Adaptação é uma mudança que ocorre no nível ontogenético, ao longo do ciclo de vida de um organismo.
		Filogenético /Populacional	Adaptação é uma mudança no nível filogenético, ao longo da história evolutiva da espécie (uma população de entidades).

Tema Epistemológico		Categorias	Compromissos ontológicos e epistemológico
2	Mecanismo causal	Ausência de explicação etiológica	Adaptação é um fenômeno auto-evidente, o qual dispensa explicação causal.
		Finalismo	Adaptação é suficientemente explicada pelo fim, meta (télos) que realiza.
		Transformacional	Resultante da transformação dos membros individuais de uma espécie.
		Variacional	Resultante de mudanças das proporções das diferentes variantes encontradas nas populações.
3.	Fator Causal	Internalismo	Adaptação é um processo controlado internamente.
		Externalismo	Adaptação é um processo controlado externamente.
		Construcionismo	A evolução de estruturas, comportamentos e mecanismos fisiológicos funcionais é um processo de co-evolução entre organismos e seus ambientes. Mudanças no organismo são ao mesmo tempo causa e efeito de mudanças no ambiente.
4.	Natureza da solução adaptativa	Adaptação Absoluta	A adaptação é o design ótimo de um organismo ou estrutura orgânica para o enfrentamento dos desafios postos pelas condições ambientais reais.
		Adaptação relativa	Adaptações são soluções provisórias para os problemas reais apresentados pelo ambiente, que tornam o organismo tão, ou um pouco mais, ajustado às condições ambientais vigentes que os demais organismos da mesma comunidade.
5.	Condições necessárias e suficientes para que uma característica seja considerada adaptação	Gênese Histórica	É necessário e suficiente que a característica tenha tido origem na seleção natural para ser considerada adaptação.
		Incremento da aptidão biológica	O fato de uma característica aumentar a aptidão biológica é suficiente para ser designada de adaptação.
		Gênese histórica + Incremento da aptidão biológica	É necessário, mas não suficiente, o fato de uma característica ter sido moldada pela seleção natural para que seja considerada uma adaptação. É preciso satisfazer outra condição necessária, o incremento da aptidão biológica (fitness).

Tema Epistemológico		Categorias	Compromissos ontológicos e epistemológico
6.	Papel da adaptação na causalidade da forma orgânica.	Adaptacionismo	Atribui primazia às necessidades adaptativas na explicação para origem e existência das formas orgânicas.
		Pluralismo	Concebe três possíveis (mas não mutuamente excludentes) fatores determinantes da forma: restrições correntes, adaptações correntes, herança ligada à história passada tanto de restrições quanto de adaptações.

CAPÍTULO III:
Caracterização epistemológica das zonas de um perfil conceitual de adaptação

Neste capítulo apresentamos uma proposta de perfil conceitual de adaptação que pretende caracterizar as diferentes formas de significar este conceito, quando empregado nas explicações para origem, existência e diversificação da forma viva.

Analisando a matriz epistemológica apresentada no capítulo precedente (Quadro 1, p. 158-159), percebemos que as zonas de um perfil de adaptação seriam constituídas por uma combinação de compromissos ontológicos e epistemológicos referentes a cada um dos seis temas epistemológicos que estruturam esta matriz. Além disso, ficou claro também que a importância de cada um destes temas na significação do conceito de adaptação sofre variação em relação ao contexto de produção de conhecimento, a exemplo da construção do conhecimento escolar no ensino médio, no ensino superior ou na pesquisa em biologia evolutiva. Em cada um destes contextos de produção, há uma maior negociação de significado em torno de determinados temas epistemológicos e conjuntos de compromissos do que outros.

Os temas cinco e seis, por exemplo, quase não aparecem na gênese do conceito de adaptação na produção do conhecimento escolar do ensino médio de biologia, no entanto, dominam os processos de significação deste conceito no âmbito dos debates entre biólogos evolutivos e teóricos e filósofos da biologia. Estes temas, em especial a negociação entre os compromissos epistemológicos designados adaptacionismo e pluralismo, também povoam em certa medida os processos de significação do conceito de adaptação no contexto do ensino superior de Biologia, estando presente na abordagem da teoria darwinista da evolução nos manuais didáticos utilizados neste nível de ensino, e mais timidamente nas interações discursivas em sala de aula, que registramos. Este fato pode ser explicado pela proximidade da linguagem social da ciência com a linguagem social empregada no âmbito do ensino superior. Nestes contextos culturais, o tema do mecanismo causal (tema três), no entanto, tem menor importância, uma vez que o compromisso com a perspectiva variacional é mais amplamente compartilhado pelos sujeitos que deles participam. A perspectiva variacional de explicar as mudanças adaptativas está fortemente incorporada ao gênero de discurso utilizado por estas comunidades para falarem da origem e diversificação da forma orgânica.

Inversamente, o tema relativo ao mecanismo responsável pelas mudanças adaptativas,domina o contexto discursivo da construção do conhecimento escolar no ensino médio de biologia. A grande maioria dos livros didáticos destinados a este nível de ensino,

por exemplo, apresenta os capítulos sobre evolução estruturados com base na distinção entre os mecanismos propostos por Darwin e por Lamarck para explicar as mudanças adaptativas. Como vimos no capítulo anterior, os resultados de pesquisas em concepções alternativas, acerca de conceitos da biologia evolutiva, têm sugerido que muito freqüentemente os estudantes chegam à sala de aula do ensino médio sem ter pensado muito a respeito de possíveis mecanismos responsáveis pela adaptação das espécies, ou sem sequer ter contemplado a adaptação evolutiva como um problema que mereceria resposta. Portanto, um dos maiores investimentos na produção de conhecimento em evolução no ensino médio é a negociação de significados em torno dos mecanismos causais responsáveis pela origem, diversificação e adaptação da forma orgânica.

A literatura sobre concepções alternativas tem apontado, também, que estudantes confundem com freqüência adaptações evolutivas – que ocorrem ao nível da população e ao longo de sua filogênese – com adaptações fisiológicas, que são aquelas que ocorrem ao longo do ciclo de vida de um indivíduo (ontogênese), como reações imunes e tolerância a diferentes condições ambientais (Bishop; Anderson, 1990). Encontramos dados semelhantes em nossas entrevistas. Entre os alunos do ensino médio, por exemplo, adaptações evolutivas, como as cores e formas camufladas de insetos, foram interpretadas como ajuste dos organismos ao ambiente em que vivem, ao longo de sua vida, de forma análoga às mudanças de cor de camaleões. Portanto, no contexto do ensino médio, a negociação de significado em torno do tema epistemológico da ontologia também assume grande relevância na gênese do conceito de adaptação.

O objetivo deste estudo é testar o potencial heurístico de um perfil conceitual de adaptação como ferramenta para a análise de interações discursivas em salas de aula de biologia no ensino médio. Deste modo, ao construirmos nossa proposta de perfil, fizemos um maior investimento em individuar zonas que pudessem modelar a heterogeneidade de formas de pensar e os modos de falar sobre adaptação que emergem no discurso da produção de conhecimento escolar no ensino médio de biologia. Para tanto, nos centramos mais detidamente nos temas da ontologia, do fator causal e do mecanismo causal, e constituímos quatro grandes zonas: **funcionalismo intra-orgânico; ajuste providencial; perspectiva transformacional; perspectiva variacional.**

No entanto, para que este modelo pudesse ter maior alcance, abarcando as peculiaridades do modo de significar o conceito, não apenas no ensino médio, como também no contexto do ensino superior, introduzimos o conteúdo referente aos compromissos do quarto e sexto tema da matriz epistemológica, a natureza da solução adaptativa e o papel da

adaptação na causalidade da forma orgânica, para caracterizarmos duas possíveis manifestações da zona "perspectiva variacional". Deste modo, individualizamos duas formas variacionais de pensar o conceito de adaptação, uma **abordagem adaptacionista** e uma **abordagem pluralista** da forma orgânica.

Antes de apresentar a caracterização epistemológica das referidas zonas, consideramos pertinente fazer mais um esclarecimento. Entendemos que a abordagem em perfis conceituais tem a intenção de modelar não apenas a heterogeneidade de formas de pensar o conceito, como também sua gênese, de modo a tornar possível a indicação de possíveis percursos a partir dos quais os diferentes significados para o conceito são desenvolvidos. A partir desta perspectiva, os compromissos epistemológicos e ontológicos que caracterizam as zonas são vistos a partir de uma perspectiva dinâmica, de acordo com a qual, os compromissos de uma determinada zona tanto colocam limites como possibilidades para a significação de outras perspectivas.

Deste modo, ao longo da caracterização das zonas procuramos analisar tanto as dificuldades que seus compromissos epistemológicos e ontológicos impõem para a significação da perspectiva variacional, darwinista, de interpretar adaptação, como as possibilidades que dispõem para gerar mudanças no processo de significação que possam favorecer a emergência desta perspectiva. Procedemos deste modo por considerarmos que a compreensão da abordagem variacional darwinista à mudança adaptativa é um dos objetivos do ensino de evolução no contexto da educação básica, uma vez que esta é a perspectiva aceita correntemente pela comunidade científica, a despeito da legitimidade de outras zonas em outros contextos sociais.

3.1. Funcionalismo intra-orgânico

Fazem parte desta zona interpretações dos traços adaptativos que não os concebem como um fenômeno que demanda explicações evolutivas, isto é, explicações que evocam causas distantes, e não apenas causas próximas, para usar uma distinção proposta por Mayr (1998; 2008)[23].

[23] Analisando o problema da causação na Biologia, Mayr (1998, 2008) propõe que todo fenômeno relativo a organismos vivos é o resultado de duas causas, as causas próximas, ou funcionais, e as causas distantes, ou evolutivas. As primeiras dizem respeito à causação de processos fisiológicos, de desenvolvimento e comportamentais que são controlados por programas genéticos e somáticos, e respondem a questões do tipo "Como?". Elas dizem respeito a como os organismos funcionam As segundas são relativas a processos e eventos que levaram a mudança de genótipo, e portanto, à origem de novos programas genéticos ou a modificação de programas já existentes. Ao contrário, dos processos envolvidos nas causas próximas, as causas distantes não podem ser investigadas pelos métodos da química ou da física, mas demandam testes de narrativas históricas, e

Há três compromissos epistemológicos que podem estar envolvidos na gênese e estruturação desta forma de pensar: (1) a concepção de que a adaptação é um fenômeno auto-evidente e/ou auto-explicativo; (2) o apego às causas próximas; e (3) uma teleologia intra-orgânica.

Como vimos no capítulo precedente, os estudos desenvolvidos por Ferrari e Chi (1998) e Shtulman (2006) apontam a ausência da noção de que a adaptação evolutiva consiste em um problema que demanda uma resposta como um dos fatores responsáveis pela abrangência de concepções alternativas à explicação darwinista para as mudanças evolutivas. Muitos estudantes chegam mesmo a considerar a adaptação um tipo de princípio teórico (como a noção de ponto na matemática), de modo que não vêem sentido em propor uma explicação para a mesma (Ohlsson 1991). Em nossas entrevistas com estudantes do ensino médio, foi comum que, diante de questões que faziam referência direta à origem histórica de uma característica adaptativa, alguns estudantes reagissem com enunciados, cujo conteúdo semântico e entonação expressiva, indicavam que eles consideram perguntas deste gênero descabidas, dado a auto-evidência do fenômeno: *Acho que surgiu da natureza. Isso é da natureza mesmo!* Por outro lado, em respostas aos questionários aplicados a estudantes do ensino superior, foi observado o uso dos termos "adaptar-se" ou "processo adaptativo" por alguns estudantes como um recurso para explicar a diversificação das formas orgânicas, nas quais o conceito de adaptação é tomando como um princípio auto-explicativo.

A ausência de explicações de natureza etiológica para a existência de traços adaptativos nas interpretações destes estudantes frequentemente deu lugar a explicações que apelavam preferencialmente ou exclusivamente a causas próximas, particularmente a processos fisiológicos e biomecânicos, tidos como suficientes para explicar a organização da estrutura orgânica.

Como vimos no capítulo anterior, tanto em entrevistas como em interações discursivas em sala de aula, apesar do esforço da pesquisadora e da professora em construírem o fenômeno da camuflagem em termos do problema darwinista de adaptação, estudantes do ensino médio frequentemente não deram importância ao pressuposto de que a semelhança entre os insetos e o ambiente em que vivem está relacionada a estratégias de sobrevivência. Eles interpretaram a forma e coloração camuflada de insetos como uma mera conseqüência do hábito alimentar desses organismos: as espécies de insetos em questão apresentam o padrão

---

respondem a questões do tipo "Por quê ?", ou seja, explicam porque que os organismos funcionam de determinado modo e porque se encontram estruturados organicamente da forma que observamos hoje.

de coloração e a forma do corpo semelhante á folhagem onde vivem porque se alimentam dessas folhas.

A análise de Caponi (2002) a respeito da interpretação de naturalistas predarwinistas para traços, caracteres morfológicos ou comportamentais, que hoje consideramos adaptações, nos oferece um referencial para compreendermos este dado. Segundo Caponi (2002), antes e Darwin, certas peculiaridades da forma orgânica, a exemplo da coloração camuflada e mimética dos insetos, eram interpretadas como meros efeitos acidentais de fatores físicos sob a fisiologia dos organismos individuais, a exemplo da incidência de luz, temperatura ou substâncias da dieta alimentar. O princípio de utilidade, designação de Wallace para idéia de que nenhum órgão especial, nenhuma forma distintiva ou peculiaridade de comportamento, poderia existir caso não fosse no momento presente, ou tivesse sido alguma vez, útil para os indivíduos ou espécie que a possui, consistia em uma contribuição original de Darwin e derivava diretamente do princípio de seleção natural. Portanto, na ausência desta perspectiva utilitária darwinista, "a conveniência adaptativa" de tais padrões de coloração, a qual hoje nos parece tão evidente, para naturalistas predarwinista, a exemplo de Cuvier, "não constituía um fato reconhecido a espera de explicações" (Caponi, 2002, p, 24).

Outro modo de explicar a existência de traços adaptativos sem buscar causas distantes, apresentada pelos estudantes, consiste em dar ênfase à descrição dos atributos funcionais destes traços, não no que se refere à seleção natural, mas no que diz respeito ao papel que exercem na manutenção do sistema orgânico.

Em nossos dados empíricos, um dos contextos em que esta perspectiva emergiu com freqüência consistiu na interpretação do cenário referente à diversificação morfológica da mandíbula em mamíferos por estudantes do ensino médio durante entrevistas (ver apêndice 1) . Abaixo apresentamos a resposta de um estudante do ensino médio a este cenário, a qual é representativa desta forma de pensar:

> *A organização é diferente. (...) E cada tem uma ação diferente. O canino segura a presa e tritura, o daqui [aponta molares] tem a função de transformar o alimento em pasta para facilitar a digestão. Aqui, o do gato, mesmo, tem menos dente que o homem, o homem tem mais...O cavalo mesmo, o cavalo, se eu não me engano, são só estes daqui [aponta para figura dos dentes molares]* (estudante do ensino médio, resposta a entrevista).

A variação na morfologia e número de dentes que compõem a arcada de diferentes grupos de mamíferos está sendo explicada pela função que cada um dos dentes exerce no funcionamento de toda a arcada dentária no processo de mastigação. Ao realizar esta atribuição funcional, pretende-se descrever os efeitos que as estruturas morfológicas

apresentam no funcionamento do sistema a qual pertencem, mas não há pretensão de explicar sua origem através dessa atribuição funcional. Trata-se, portanto, de uma análise funcional de natureza não etiológica. Além deste aspecto, como já analisamos no capítulo precedente, perspectivas funcionalistas desta natureza diferem da perspectiva darwinista de investigar a forma orgânica, uma vez que problematizam apenas o papel da estrutura na realização de uma capacidade do sistema que a contém, sem que seja feito menção ao papel biológico (Bock e Wahlert, 1989, p. 131) que esta estrutura cumpre, ou seja como contribui para a sobrevivência e reprodução de seu portador, frente à luta pela sobrevivência.

As informações obtidas nos estudos epistemológicos e históricos, analisadas na primeira seção do capítulo II, também nos permitiram compreender que investigar a contribuição que uma estrutura apresenta na performance de indivíduos que a portam na luta pela sobrevivência, não é único caminho, e nem mesmo o mais óbvio, para explicar a forma orgânica. Por exemplo, Caponi (2006) analisa como naturalistas anteriores a Darwin, a exemplo de Cuvier, explicavam a forma orgânica priorizando a função que cada parte desempenhava na manutenção da harmonia e organização interna do organismo – uma visão que pode ser designada de *teleologia intra-orgânica* – em lugar de enfocar o papel que as estruturas orgânicas desempenham nos processos através dos quais os organismos enfrentam os desafios postos pelas condições ambientais.

Esta forma de pensar impõe, portanto, uma primeira dificuldade à gênese do conceito darwinista de adaptação, uma vez que a luz do compromisso com uma teleologia intra-orgânica, o problema darwinista da adaptação, ou seja, a relação entre complexidade da forma orgânica e luta pela sobrevivência, sequer é formulado.

3.2. Ajuste providencial:

Esta zona do perfil é constituída por interpretações em que a adaptação é concebida, em termos ontológicos, como um estado de ser ou propriedade dos organismos, ou de suas estruturas morfológicas, de se encontrarem ajustados às suas condições de vida. Em termos causais, este ajuste é explicado apelando-se ao princípio da economia natural e a uma perspectiva teleológica de ordenação da forma orgânica. A adaptação é explicada como um fenômeno decorrente da harmonia necessária entre estrutura organizacional do organismo e as condições ambientais.

O ajuste providencial, como é tratado em nosso modelo de perfil, não demanda necessariamente intervenção divina, ainda assim esta é uma idéia que freqüentemente

fundamenta essa interpretação. Mais precisamente, as explicações para a origem das adaptações incluídas nesta zona do perfil podem ser classificadas em duas categorias no que diz respeito ao fator causal que apelam: de um lado, temos aquelas que mencionam explicitamente a intervenção de um agente externo, a exemplo de um criador inteligente; de outro lado, um número de explicações pressupõem uma espécie de teleologia imanente, semelhante à concebida no pensamento Aristotélico (Ross [1923] 1995), ou de modo similar ao pensamento de Schopenhauer (Caponi, 2006, p. 28), no sentido que apelam para uma capacidade da matéria orgânica de se adequar inconscientemente a um dado fim.

Apresentamos abaixo enunciados característicos deste modo de interpretar o fenômeno da adaptação, que expressam o princípio de economia natural, uma perspectiva teleológica de explicar a forma orgânica e o ideal de ordenação e harmonia no mundo natural. O primeiro exemplo diz respeito a interpretação de um estudante do ensino superior para o cenário acerca da diversificação da mandíbula nos vertebrados, e a segundo consiste na explicação dada por um aluno do ensino médio para a origem e diversificação dos bicos dos tentilhões das Ilhas Galápagos (ver apêndice 1):

> *Os carnívoros têm em sua boca dentes adaptados a extrair a carne de sua presa, os herbívoros, a arrancar as plantas do solo (ou das árvores), enquanto que os onívoros são adaptados às duas ações. Assim as diferentes formas encontradas nos organismos são adaptações ligadas à necessidade de alimentar-se.* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).
>
> *Eu acho que o fato dele ser diferente, ele tinha que nascer diferente. Principalmente a diferença do bico (...) porque é por onde ele se alimenta, porque já tem os alimentos apropriados: as sementes. Por exemplo, aqui ele tem que enfiar o bico para tirar o que tem dentro. Se ele nascesse só com este bico seria impossível. Então cada um já nasce apropriado para um tipo de comida, com o tipo da raça, da espécie.* (resposta dada ao cenário 1 da entrevista por estudante do ensino médio)

No segundo enunciado, a interpretação da diversidade da forma orgânica encontra-se também estruturada em uma visão tipológica ou em uma perspectiva essencialista de conceber a identidade das espécies. O pensamento essencialista é um compromisso ontológico característico, mas não exclusivo, desta zona do perfil. A luz desta perspectiva, as características adaptativas são vistas como uma propriedade que todos, e apenas, os membros de uma espécie apresentam, e isso explica não só o porque dos membros da espécie serem o que são, como também o porque da característica se apresentar do modo como se apresenta.

De modo diferente da zona do funcionalismo intra-orgânico, o interesse pelas possíveis relações entre as estruturas morfológicas dos organismos e suas condições de vida está presente na forma de pensar adaptação representada pela zona ajuste providencial.

Descrições do funcionamento dos caninos em rasgar a carne são acompanhadas de referências acerca da eficiência na captura de pressa pelos felinos, na resposta de um estudante do segundo semestre de curso de licenciatura em ciências biológicas:

> *As estruturas são adaptadas às condições alimentares de cada mamífero. No caso dos felinos, uma estrutura que* ***facilita*** *a captura de outros animais (...).*(resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Diferente das explicações funcionais da zona anterior, as atribuições de função às características adaptativas nesta zona têm um caráter etiológico.[24] É a função da característica que explica a sua existência. Na explicação à diversidade morfológica das mandíbulas dos mamíferos por um estudante de licenciatura em ciências biológicas, explica-se à existência de cada tipo de dentição pela função que realizam: Os caninos estão presentes na arcada dentária dos carnívoros porque realizam a função de rasgar a carne.

> *De acordo com a dieta de cada animal, se faz necessário um modelo de mordida diferente, por exemplo, um animal carnívoro necessita de dentição própria para rasgar a carne (canino) havendo então uma adaptação na mandíbula destes seres para facilitar a digestão deste alimento.* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

De forma semelhante, a origem das listras dos tigres é explicada pela função que exercem na estratégia de caça deste felino, por um estudante de uma população de estudantes universitários investigada por Ohlsson e Bee (1992 apud Ferrari e Chi, 1998):

> *As faixas do tigre são feitas para propósitos de predação, sem as faixas os tigres não iriam igualar-se bem ao seu meio (como camuflagem) e capacitá-los a capturar sua comida. Elas são feitas para sobrevivência.* (fala de estudante universitário retirada de Ferrari e Chi, 1998, p. 1234)

Esta atribuição de função, ainda que tenha um caráter etiológico, não se aproxima de uma explicação evolutiva darwinista, ou sequer evolutiva, já que a existência da estrutura não é atribuída a um processo evolutivo, a exemplo da seleção de variantes fenotípicas mais

---

[24] Tem sido reconhecida pela filosofia da biologia, a existência de duas abordagens epistemológicas da análise funcional, uma abordagem etiológica e uma abordagem sistêmica (Godfrey-Smith, 1993; Hull, 2002; Almeida, 2004; Nunes-Neto e El-Hani, no prelo). Segundo a abordagem etiológica, atribuir função é explicar a existência de um item organísmico (estrutura morfológica, mecanismo, processo, etc) que é caracterizado funcionalmente, é explicar o porque do traço funcional estar presente. Análises funcionais desta natureza, quando empregadas no âmbito da biologia evolutiva, evocam a seleção natural para dar conta de tais explicações. Esta abordagem pode ser exemplificada pela teoria das funções do filósofo Larry Wright ([1973]1998). A atribuição funcional sistêmica, por seu turno, apresenta outro tipo de objetivo explanatório, o de explicar as capacidades de um sistema, apelando às funções desempenhada pelos componentes nele contidos. Desta perspectiva, atribuir função a um item é descrever sua capacidade, a qual é identificada pelo papel que desempenha em uma análise de alguma capacidade do sistema que o contém. A teoria da análise funcional proposta por Cummins ([1975]1998) é representativa desta segunda perspectiva de conceber as explicações funcionais.

eficientes no desempenho da função, mas sim, à realização de uma finalidade. Trata-se de uma atribuição funcional etiológica não selecionista.

Em relação ao funcionalismo intra-orgânico, podemos dizer que a forma de pensar a adaptação desta segunda zona incorpora um dos aspectos do mundo orgânico ao qual o conceito darwinista de adaptação está relacionado que não é pressuposto no modo de pensar da zona anterior, a correlação funcional entre forma orgânica e condições de vida. Entretanto, na zona ajuste providencial, a correlação funcional entre forma e demandas ambientais é explicada em termos finalistas, como o resultado da realização de uma meta pré-determinada. Além do mais, a perspectiva darwinista encontra-se estruturada no reconhecimento de dois aspectos que caracterizam o mundo natural, os quais não são reconhecidos como tais na zona ajuste providencial: o fato das exigências ambientais impostas aos organismos está sempre em mudança, e o fato de que além de se relacionarem com o ambiente, os organismos se relacionam uns com os outros, de modo nem sempre harmônico, a exemplo da competição por recursos (Caponi, 2006). O pressuposto de um mundo ordenado, de maneira que tudo se encontre disposto de modo a assegurar um propósito em direção ao melhor estado possível, um dos compromissos ontológicos desta forma de pensar, coloca dificuldades para a construção da noção de luta pela sobrevivência, e para a perspectiva histórica a partir das quais a resposta darwinista ao problema da correlação funcional entre estrutura orgânica e condições de vida é formulada.

3.3. Perspectiva transformacional:

A principal diferença entre esta zona do perfil e a zona anterior é a introdução de uma perspectiva histórica, evolutiva, de explicar a diversidade das formas orgânicas. A adaptação não é interpretada como um estado se ser, mas sim como um processo de transformação da essência da espécie em direção a um estado ótimo de ajuste às condições ambientais. Este processo se dá através de mudanças simultâneas que ocorrem com cada um e com todos os membros individuais da espécie. Ou seja, as mudanças evolutivas (filogenéticas) são tidas como sendo resultado do acúmulo de mudanças ontogenéticas.

Abaixo reproduzimos a explicação de uma estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas para a diversificação dos bicos dos tentilhões de Galápagos que é representativa desta forma de pensar:

> *Por diferenciação morfológica, acúmulo lento de características propícias para manter a sua sobrevivência, da espécie, que normalmente é transmitida os seus descendentes, é o que chamamos de evolução.(...) os indivíduos estão em constante*

> *competição por fêmeas, alimentos, etc. Os que não se adaptam precisam buscar uma nova forma para se desenvolver, ou seja, ocorrem mudanças muito lentas que são cumulativas e por enquanto que não resultam em indivíduos completamente adaptados muitos morrem, porém quando a modificação se dá por completo, a exemplo da modificação morfológica do bico possibilitando se alimentarem de outros recursos".* (resposta dada à questão 9 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

As interpretações representativas deste setor do perfil podem variar no que diz respeito aos mecanismos que apelam para explicar como ocorrem estas transformações acumulativas e simultâneas nos membros individuais das espécies. Entre os mecanismos que podem ser evocados, encontramos a herança de caracteres adquiridos por uso e desuso, a ocorrência de modificações do material genético ao longo do tempo de vida do organismo que são herdadas pelos descendentes, ou a ação deliberada e/ou consciente dos organismos. Apresentamos, em seguida, exemplos de explicações que apelam para cada um destes três mecanismos, respectivamente. Estas explicações foram dadas por estudantes que cursavam o segundo semestre de um curso de graduação em Ciências Biológicas a questões do questionário relativas a diversificação das mandíbulas dos mamíferos e a origem do labelo modificado de uma espécie de orquídea que mimetiza a fêmea de uma espécie polinizadora de vespa (ver apêndice 2):

> *Os dentes mais importantes ficaram e se especializaram e os desnecessários foram perdidos e cada um se adaptou de acordo com ambiente (alimentação).* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

> *Através de sucessivas mutações, culminando numa forma que se relacionou muito bem com sua espécie polinizadora (...) Foram havendo mutações na pétala da flor, tornando-a mais apta a ser polinizada pela abelha.* (resposta dada à questão 3 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

> *[a característica] Surgiu a partir da necessidade da espécie reproduzir-se, provavelmente, essa espécie de orquídea não estava conseguindo se reproduzir, então a espécie usou esse mecanismo. (...) A espécie conseguiu mudar a sua morfologia, adaptando-se a necessidade de obter uma reprodução eficaz.* (resposta dada à questão 3 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Outro aspecto característico desta zona reside na idéia de que a transformação sofrida pelos organismos apresenta uma direção definida, isto é, todos os membros da espécie passam por mudanças orientadas numa mesma direção, e ainda mais, seguem uma mesma seqüência

de passos em sua evolução. A partir desta progressão linear, atinge-se um estado teleológico de ajuste ótimo às condições ambientais.

Ainda que essas interpretações transformacionais sejam de caráter evolutivo, elas ainda retêm o âmago do pensamento essencialista, como podemos ver na idéias de que a mudança tem lugar na espécie como um todo. A variação não é um aspecto central nesta perspectiva. Portanto, a visão tipológica e essencialista da espécie é um compromisso compartilhado entre esta zona e a zona anterior. Caso uma pessoa tenha acolhido a idéia de mudança evolutiva, mas está comprometida com um pensamento essencialista, ela provavelmente endossará perspectivas transformacionais.

Não é de se surpreender o fato de que a perspectiva transformacional seja muito comum entre os estudantes. Embora o essencialismo tenha sido suplantado na Biologia desde meados do século XIX, segundo Shtulman (2006), pesquisas em psicologia cognitiva fornecem evidências de que o mesmo está amplamente presente na forma de interpretar o mundo vivo de indivíduos de todas idades e de diferentes culturas.

Para autores como Mayr (1988; 2005) e Shtulman (2006), o pensamento tipológico ou essencialista impõe grandes dificuldades, tanto no plano sócio-cultural como no plano ontogenético, para a gênese de uma perspectiva não-transformacional, variacional darwinista de interpretar a mudança evolutiva. Segundo Mayr (2005) a quase universal aceitação do pensamento essencialista introduzido por Platão na filosofia consistiu um dos principais fatores para a hostilidade à teoria darwinista por filósofos e biólogos de sua época, uma vez que as variações na população eram vistas como degenerações do tipo ou meros acidentes. A introdução do pensamento populacional por Darwin – a visão de que não há dois indivíduos que sejam de fato idênticos numa biopopulação e que é esta variação que tem realidade – constitui para Mayr (1988) um passo revolucionário e fundamental para pensamento biológico.

Caponi (2005) concorda com Mayr no que diz respeito à importância do pensamento populacional, considerando-o "a própria condição de possibilidade" da biologia evolutiva (Caponi, 2005,p. 236). No entanto, Caponi considera que o verdadeiro eixo de ruptura entre o darwinismo e a biologia precedente não passa pela oposição entre pensamento populacional e pensamento essencialista, mas sim pela oposição entre o pensamento populacional e a perspectiva fisiológica que dominava a interpretação do fenômeno vida desde Aristóteles, passando por Lamarck, Geoffroy Saint-Hiliaire. De acordo com a interpretação deste autor, o apego à fisiologia fazia com que os proponentes das diversas teorias transformacionais vissem como foco privilegiado da investigação e registro dos fenômenos biológicos, o organismo

individual, e buscassem como causas que explicassem as mudanças evolutivas apenas forças e fatores que fossem atuantes e observáveis no organismo individual, fatores estes visíveis aos fisiologistas.

Os dados apresentados na literatura em concepções alternativas (Brumby, 1983; Bishop; Anderson, 1990: Bizzo, 1994) e dados obtidos por nós através de entrevistas e questionários, mostram que os estudantes confundem com freqüência adaptação fisiológica, que ocorre ao longo do ciclo e vida de um indivíduo, com adaptação evolutiva, e muitas vezes interpretam estas últimas através de uma analogia com as primeiras. Entre os alunos do ensino médio, por exemplo, adaptações evolutivas, como as cores e formas camufladas de insetos, foram interpretadas como ajuste dos organismos ao ambiente em que vivem, ao longo de sua vida, de forma análoga às mudanças de cor de camaleões. Trata-se de um erro categórico, uma vez que, são atribuídas propriedades ontológicas de um tipo de processo natural a outro (Ferrari e Chi, 1998).

Além destes dados, o fato de muitos estudantes do ensino superior considerarem as mutações como o fator causal primário da diversificação da forma, mostra que a tese defendida por Caponi (2005,p. 237) para o domínio sócio-histórico, de que as explicações transformacionais estão ancoradas no apego às causas próximas, as quais são "mais facilmente assimiláveis ao padrão newtoniano de *vera* causa", aplica-se também a gênese do conceito de adaptação no domínio ontogenético.

Por estas razões, consideramos que tanto o pensamento essencialista, como o foco no organismo individual e o apego às causas próximas consistem em compromissos ontológicos e epistemológicos que impõem dificuldades para o desenvolvimento de uma perspectiva variacional de interpretar o conceito de adaptação, que constitui a próxima zona do perfil conceitual.

No entanto, entre a perspectiva transformacional e a forma de pensar da zona anterior, há uma mudança na concepção da categoria ontológica a qual o conceito de adaptação pertence. Nas interpretações incluídas na zona da perspectiva transformacional, a adaptação, concebida como estado de ser ou propriedade de uma estrutura morfológica ou organismo na zona anterior, passa a ser descrita como um processo de mudança evolutiva. Tal operação epistemológica gera uma semente para o desenvolvimento da perspectiva darwinista.

3.4. Perspectiva variacional:

Esta zona é constituída por interpretações que concebem a adaptação como uma característica resultante de um processo de mudança evolutiva. Esta mudança evolutiva

resulta de um processo de propagação seletiva e fixação de variantes numa população em determinado regime seletivo. As explicações dadas por dois estudantes de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas para a diversificação dos bicos dos tentilhões de Galápagos e para resistência bacteriana a antibióticos, respectivamente, ilustram esta perspectiva:

> *Numa prole sempre vão existir pássaros com uma pequena gradação do tamanho dos bicos e outros fenótipos. O pássaro que tiver um bico que melhor se ajuste ao tipo de alimento presente naquele ambiente irá prosperar na reprodução, mandando informação genética desse bico para sua prole. Iniciando, assim, o processo de diferenciação que pode levar a formação de tamanhos de bicos diferentes.* (resposta dada à questão 9 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

> *Existem bactérias em um meio de cultura, por exemplo. Elas são seres muito pequenos que se reproduzem com facilidade. O grande número de replicações pode gerar a ocorrência de mutações em algumas bactérias, que por acaso apresentam resistência a um determinado antibiótico. Se este medicamento for lançado no meio, tais bactérias "resistentes" seriam selecionadas, pois não morreriam (diferente das outras), e continuariam se reproduzindo, originando uma nova linhagem.* (estudante do segundo semestre da licenciatura, resposta a questionário).

A base para distinguir essas duas últimas zonas é a distinção feita por Levins e Lewontin (1985) entre explicações transformacionias e variacionais na mudança evolutiva.[25] Nas explicações transformacionais, a evolução do sistema é resultante das transformações ocorridas em seus componentes individuais, ou seja, a mudança evolutiva é explicada por meio das transformações pelas quais cada indivíduo da população passa. Nas perspectivas variacionais, por sua vez, as mudanças num sistema são explicadas como uma conseqüência das mudanças nas proporções dos componentes do sistema, ou seja, a evolução biológica é concebida como o resultado das mudanças na proporção de organismos variantes na população. Organismos bem sucedidos em uma geração tendem a originar, através da reprodução, organismos com os mesmos traços fenotípicos variantes que os progenitores apresentam (ver Figura 4). Assim, enquanto a população muda de geração a geração, a herança exerce o papel de preservar a invariância nos traços manifestos nos organismos. Essa tensão entre mudança no nível da população e invariância no nível do organismo apresenta um papel central nas explicações variacionais.

---

[25] A respeito das diferenças entre explicações transformacionais, ver também Sober (1993) e Caponi (2005).

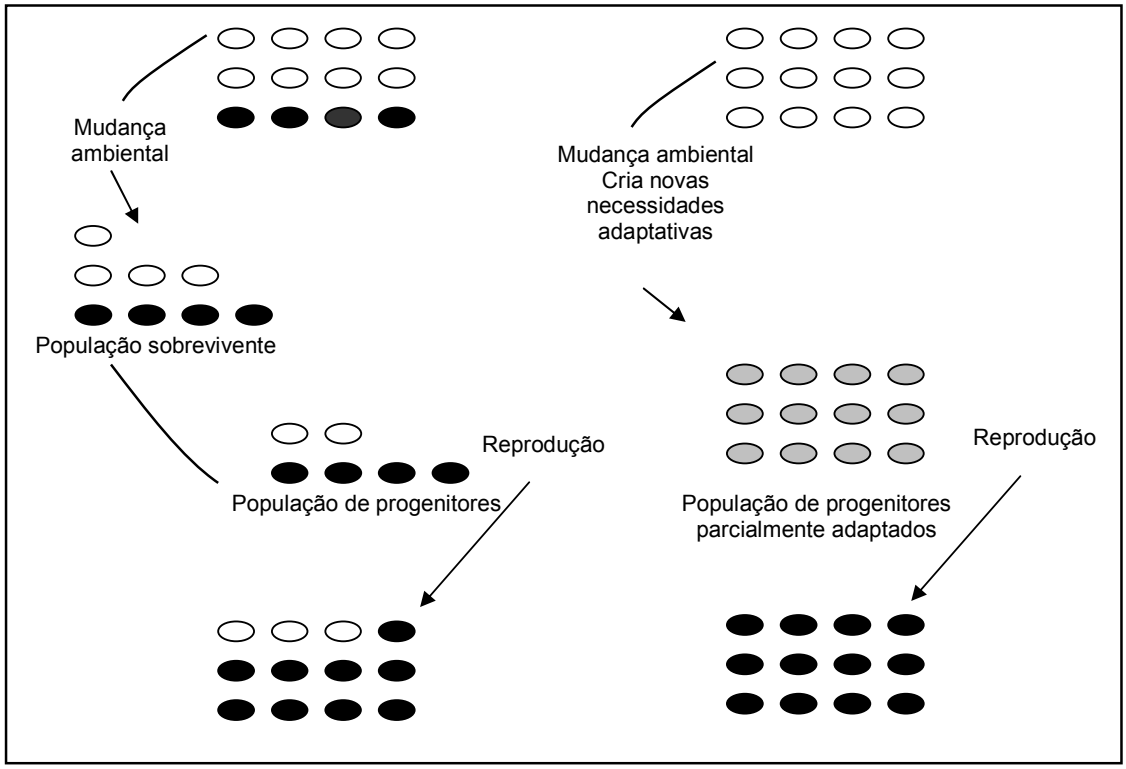


Figura 4: Representação esquemática de uma explicação variacional (à esquerda) e de uma explicação transformacional (à direita) para a mudança evolutiva de uma população, em decorrência de uma mudança ambiental. Cada elipse representa um indivíduo da população e as cores sinalizam estados diferentes de um caráter fenotípico.

Entre as variantes encontradas na população, as mais importantes para as explicações variacionais são aquelas que aumentam a probabilidade que seus portadores tenham sucesso na obtenção de recursos nas condições ambientais em que vivem. Afinal, estes recursos são a base para o aumento de probabilidade de que estes organismos sobrevivam por um tempo maior e tenham maior sucesso reprodutivo, e desse modo, forneçam uma maior contribuição para a próxima geração em termos de descendentes

Por este motivo um dos componentes das explicações variacionais para as adaptações deve ser a comparação entre a eficiência de variantes fenotípicas numa população. O fato de uma característica ter um efeito benéfico para o organismo não é suficiente para explicar sua origem adaptativa. Como argumenta Caponi (2002), é preciso que este efeito benéfico tenha sido responsável pela permanência desta característica na população em lugar de alternativas viáveis em termos físicos, químicos, morfológicos e fisiológicos. Segundo a análise de Caponi, um dos seus aspectos distintivos da estrutura da explicação selecional, é ser uma explicação da diferença. Nas explicações funcionais para a existência de características adaptativas próprias da forma de pensar do funcionalismo intra-orgânico que caracterizamos na primeira zona, o que está em questão é como uma estrutura ou comportamento funciona ou

atua de modo assegurar a capacidade do sistema a que pertence. No caso da explicação selecional, trata-se de explicar por que esta estrutura ou comportamento desempenha uma função **melhor** que alternativas viáveis, ou sob que pressões seletivas esta estrutura pode resultar em uma forma melhor que uma alternativa igualmente viável do pondo de vista morfológico, fisiológico ou filogenético (Caponi, 2002, p. 77).

Ainda que não apresentem propriamente a estrutura de explicação selecional tal como descrita por Caponi (2002), as explicações de estudantes do ensino superior de biologia para o cenário da diversificação das mandíbulas dos vertebrados ilustradas abaixo se diferenciam das explicações que representam o modo de pensar tanto da zona funcionalismo intra-orgânico e ajuste-providencial, e se aproximam da perspectiva variacional, exatamente, por fazerem referências à eficiência diferencial de tipos variáveis de dentições em determinados regimes seletivos. Além disso, as explicações abaixo, considerarem este fato uma explicação para a permanência de cada uma destas dentições em cada um dos grupos de vertebrados.

> *Partindo do pressuposto de que os três têm dieta alimentar diferente, pode-se inferir que os felinos que possuíam dentes mais afiados estavam mais aptos para a caça sendo assim selecionados naturalmente, a exemplo, das duas garras frontais, as quais servem para rasgar a carne; adaptações estas ocorridas também nos homens e herbívoros, entretanto, com divergências quanto à adaptação e logo, conseqüentemente, quanto ao formato e disposição dos dentes.* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

> *Os hábitos alimentares falam muito sobre estes organismos. Para hábitos que se aproximam mais do carnívoro, tendem a ser mais eficientes os dentes caninos e para hábitos que aproximam mais do herbívoro, tendem a ser mais eficientes dentes mastigadores (molares). Desta forma, a seleção natural, privilegiou aleatoriamente aqueles organismos que possuíam dentes mais eficientes para cada hábito alimentar.* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Nestes enunciados, os estudantes para explicarem a diversificação de uma estrutura orgânica partem de uma hipótese relativa aos problemas de sobrevivência que uma classe particular de organismos, no caso cada um dos grupos de mamíferos, enfrenta e, então, averigam como certas características que apresentam, no caso a morfologia dos dentes e sua disposição das mandíbulas, podem estar vinculadas a sua solução, ou melhor, como estas características se constituem em uma solução mais eficiente que suas alternativas. Este é para Caponi (2000, p. 50-51), em termos gerais, o modo darwinista de investigar a forma orgânica, o qual está ancorada no que designou de "presunción de adaptación", "a pressuposição de que uma estrutura permanece ou desloca a outra em decorrência de sua maior capacidade como

recurso adaptativo", que leva a indagação empírica de que fatores definem o maior êxito reprodutivo de seu portador. Esta indagação demanda portanto uma "análise ecológica" (Caponi, 2000, p. 43 e 50) de qual estrutura orgânica opera como fator adaptativo, em que ambiente particular e para qual classe particular de organismos.

Encontramos nesta zona, portanto, muitos dos compromissos ontológicos e epistemológicos das explicações darwinistas, como: o pensamento populacional, a idéia de que estruturas orgânicas apresentam um papel central na luta dos organismos para sobreviver e se reproduzirem em face às exigências postas pelo seu entorno ecológico, este último sempre em mudança, e uma perspectiva histórica de investigar a forma orgânica.

A caracterização que fizemos desta zona, até o momento, diz respeito aos temas da ontologia e, especialmente, do mecanismo causal, e nos permite identificarmos as mudanças mais fundamentais no processo de significação envolvido na gênese do conceito de adaptação desde as zonas anteriores à perspectiva darwinista, dita clássica (Levins e Lewontin, 1985; Lewontin, 2002). No entanto, o conceito darwinista de adaptação, desde a década de 1970 tem enfrentado grandes desafios, decorrentes da crítica ao "programa adaptacionista" (Gould e Lewontin, 1979). O debate entre os adaptacionistas e seus críticos não só gerou, como expôs, diferentes formas de significar o conceito de adaptação, internas à perspectiva variacional. A seguir caracterizamos duas destas perspectivas variacionais de interpretar este conceito, **abordagem adaptacionista** e **abordagem pluralista.** Estas duas abordagens de investigar a forma orgânica geram duas formas de interpretar o conceito de adaptação no que diz respeito mais especificamente ao tema epistemológico do papel da adaptação na causalidade da forma orgânica, em menor medida, a aspectos relativos ao fator causal da mudança evolutiva e à natureza da solução adaptativa (ver matriz epistemológica ilustrada no Quadro 1, p.159).

•Abordagem adaptacionista da forma orgânica:

A forma variacional de pensar o conceito de adaptação pode abrigar a perspectiva de que as adaptações constituem a grande maioria das características relevantes observadas nos organismos vivos, dada a utilidade óbvia e/ou a complexidade das mesmas, as quais foram moldadas pela seleção natural devido à aptidão biológica que conferem (ou conferiam) a seus portadores. Esta forma de pensar encontra-se fundamentada nos seguintes compromissos epistemológicos: (1) primazia da adaptação em relação a outros fenômenos evolutivos; (2) exclusividade das explicações adaptacionistas para origem e existência das formas orgânicas, função e comportamento; (3) supervalorização do poder causal, do poder explicativo e de predição da seleção natural. A seguir apresentamos exemplos deeste modo de pensar encontradas no domínio sociocultural, uma vez que se trata de um enunciado de um biólogo

evolutivo retirado de publicação acadêmica, e do domínio microgenético, dado que consiste em resposta a questionário por estudante do segundo semestre de um curso de licenciatura em ciências biológicas:

> *Em bases teóricas, todas as carcterísticas existentes nos organismos são adaptativas. Se elas não fossem adaptativas, então elas seriam eliminadas pela seleção e desapareceriam".* (Bock, 1967, p. 63 apud Gould: Vrba, 1982, p. 524).

> *Todas as características presentes num organismo de certa forma é uma adaptação, porque faz com que ele se diferencie dos outros organismos "driblando" a competição, que é uma barreira seletiva.* (resposta dada à questão 7 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Além destes compromissos, a abordagem adaptacionista da evolução da forma orgânica encontra-se geralmente vinculada à crença no poder da seleção natural como agente de otimização. Este compromisso ontológico pode estar relacionado a duas idéias diferentes. A primeira delas é o pressuposto de que há uma dependência lógica entre adaptação (característica moldada pela seleção natural) e adaptatividade (incremento de fitness), e é expressa na definição de adaptação encontrada no glossário de Futuyma (1992), um dos textos didáticos mais adotados em disciplinas de evolução do ensino superior:

> *"ADAPTAÇÃO Um processo de mudança genética de uma população, devido à seleção natural, pelo qual o estado médio de um caráter é aperfeiçoado com relação a uma função específica ou pelo qual se acredita que uma população se torna mais ajustada para alguma característica de seu ambiente. Também, uma adaptação: uma característica que se tornou predominante em uma população devido a uma vantagem seletiva proporcionada pelo seu aumento do desempenho de alguma função"* (Futuyma, 1992, p. 578. ênfase no original*)*.

A segunda maneira de entender a seleção natural como agente otimizador é atribuir à mesma um papel negativo, ou seja, o de eliminar as formas que não se encontram otimamente ajustadas. Esta idéia fundamenta a perspectiva de uma estudante de licenciatura em Ciências Biológicas a respeito do papel da seleção natural – o primeiro enunciado reproduzido abaixo – e a descrição do processo de adaptação feita em um livro didático do ensino médio – transcrito em seguida:

> *O aspecto negativo da seleção natural é importante para a manutenção da espécie sempre no ápice da adaptação, impedindo, assim, a perpetuação de mudanças que diminuem a perfeição da adaptação ao habitat da espécie. Já o aspecto positivo é um instrumento de transformação progressiva.* (resposta a uma atividade escrita de uma estudante do segundo semestre da licenciatura)

> *"A adaptação acontece progressivamente, através de modificações casuais ao longo das gerações, que são eliminadas, caso sejam nocivas, ou mantidas, se, de alguma forma, tornaram o organismo mais capacitado a sobreviver: é o ambiente que se encarrega desta seleção"* (Gainotti; Modelli, 2005, p. 212)

A tendência otimizadora de entender a natureza da solução adaptativa (ver matriz epistemológica, Quadro 1, p. 159) encontra-se associada à uma concepção do processo evolutivo à semelhança de um projeto de engenharia. Esta perspectiva tem informado o programa de pesquisa adaptacionista, fundamentando alguns de seus modelos causais e teste de hipóteses, em que as evidências e critérios para identificar uma adaptação se baseiam na projeção de um design ótimo para a realização de uma função e a comparação com o design atual da estrutura morfológica que a realiza. Este foi o critério utilizado por Williams (1992, p. 40 apud Lauder, 1996, p.59) para afirmar o caráter adaptativo das mãos humanas: *"a mão é uma adaptação para a manipulação porque está de acordo com o que um engenheiro esperaria,* a priori*, de um artefato de manipulação".*

No que diz respeito ao fator causal da mudança evolutiva, a abordagem adaptacionista da forma orgânica abriga dois tipos de interpretações. Uma delas pressupõe a alienação entre fatores internos e externos ao organismo e foi tipicamente assumido por abordagens darwinistas da adaptação ao longo da história (Lewontin 1985, 2002). Ela se encontra expressa na máxima de que o organismo soluciona problemas postos por um ambiente autônomo, o qual muda como conseqüência de eventos que são inteiramente independentes das atividades dos organismos. Mas as soluções disponíveis aos organismos, em termos genéricos, não são também resultantes de suas próprias atividades; elas surgem como uma conseqüência de forças internas que são autônomas e alienadas do organismo como um todo. Abaixo apresentamos uma citação retirada do mesmo livro didático que a anterior, na qual a metáfora de soluções para problemas pré-existentes é empregada para definir adaptação:

> *Cada organismo (e cada espécie) possui estruturas, funções e comportamentos que lhe permitem sobreviver, reproduzir-se e desfrutar os recursos do ambiente no qual vive; resumindo"resolver" da melhor maneira possível os "problemas" que o ambiente apresenta. Chamamos a isso de adaptação (Gainotti; Modelli, 2005;p. 213)*

Esta visão pode também resultar em uma perspectiva inteiramente externalista de adaptação, na qual é atribuído às condições ambientais o controle total do processo evolutivo. No entanto, diferentemente do papel atribuído ao ambiente na perspectiva transformacional, este controle não é exercido diretamente, mas indiretamente, ao estabelecer os regimes seletivos a partir dos quais os organismos variantes tenderão a ter maior ou menor sucesso. Abaixo apresentamos dois enunciados que exemplificam esta perspectiva, ambos respostas de

estudantes de um curso de licenciatura em ciências biológicas, a primeira cursava o segundo semestre e a segunda cursava o sétimo semestre, quando participaram da pesquisa:

> *O ambiente atua como um fator de evolução, selecionando as formas mais bem adaptadas ás condições do meio. No processo de seleção muitos indivíduos morrem por não estarem bem adaptados. Os que têm condições de sobreviverem são selecionados, reproduzem e passam essas características adaptativas para seus descendentes.* (resposta a questão 13 do quetionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Bológicas).

> *[Adaptação] Ocorre quando o ambiente "seleciona" indivíduos de uma população que estão mais capazes de sobreviver nesse ambiente.* (resposta a questão 7 do quetionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Bológicas).

- **Abordagem pluralista da evolução da forma orgânica:**

Outra perspectiva que pode vir a ser construída, uma vez que a forma variacional de pensar o conceito de adaptação já tiver sido significada, é uma visão plural do processo evolutivo. Nesta perspectiva, a adaptação é concebida como um dos fenômenos evolvidos na explicação da forma orgânica, ao lado de outros como a deriva gênica, o reaproveitamento de estruturas pré-existentes (exaptação), as restrições do desenvolvimento, estruturais (*spandrels*), e da história evolutiva. Em termos explicativos, diante de uma característica funcional, complexa ou conspícua, mantém-se a postura de não se afirmar de pronto sua origem adaptativa, mas considerá-la uma entre outras hipóteses a ser analisadas. Este tipo de postura foi adotada, por exemplo, por dois estudantes de licenciatura em ciências biológicas ao interpretarem o cenário acerca da origem da pétala modificada de uma espécie de orquídea que mimetiza a fêmea da vespa polinizadora, e o cenário relativo a diversificação dos tentilhões das Galápagos (ver apêndice 1), respectivamente:

> *Eu não posso responder essa pergunta sem ter informações sobre seus ancestrais, sobre as espécies próximas, que caso tenham a mesma característica, sobre as condições do ambiente na época e principalmente fatores genéticos como mutações em genes ou mutação intragênica.* (resposta a questão 9 do quetionário por estudante do sétimo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Bológicas).

> *Através de diferentes mutações que ocorreram normamente em populações. Outro fator é a deriva genética que também pode atuar selecionando um caráter montando uma nova população. E por se tratar de Ilhas, é importante salientar que isto pode ter ocorrido devido a efeito fundador que poderia ser um indivíduo que sofreu mutação e fundou a ilha. Vale ressaltar que muitos dos tentilhões ocupam nichos diferentes o que proporciona uma diferenciação no padrão das populações de tentilhões.* (resposta a

questão 9 do quetionário por estudante do sétimo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Bológicas).

Esta forma de pensar encontra-se fundamentada nos seguintes compromissos epistemológicos: (1) relativização do poder explicativo da seleção natural e (2) pluralismo de processos. O reconhecimento de que é preciso levar em conta outros processos e mecanismos que podem estar agindo de maneira alternativa, complementar ou sinérgica com a seleção natural, gera também novas perspectivas de entender a relação entre organismo e meio no processo evolutivo.

Este é o caso, por exemplo, da visão construcionista defendida por Lewontin (1985; 2002) segundo a qual o processo evolutivo é controlado por uma ação recíproca entre organismo e ambiente. Os organismos evoluem para resolver problemas imediatos postos pelo ambiente, mas através da construção de nichos adaptam o ambiente às suas necessidades e o modificam, e desta forma geram gradualmente novos problemas, à medida que evoluem. Desta perspectiva, os ambientes seletivos de organismos não são independentes destes organismos, mas os ambientes eles mesmos são produtos parciais das atividades anteriores ou atuais de construção de nicho. Portanto, um terceiro compromisso epistemológico que fundamenta a perspectiva pluralista de interpretar o conceito de adaptação consiste em pressupor a simultaneidade e/ou interdependência entre forças externas e internas ao organismo na causalidade da forma.

Esta interpretação em relação ao fator causal da diversificação da forma orgânica tende a ser rara entre as explicações dos estudantes, e mesmo, entre biólogos profissionais, a despeito de sua influência crescente nas últimas décadas. A proposta construcionista de Lewontin deu vez a um programa de pesquisa atualmente bastante ativo, que pretende construir uma teoria evolutiva estendida, a partir da incorporação da noção de construção de nicho, ao considerá-la um potente agente evolutivo, o segundo fator evolutivo mais importante, ao lado da seleção natural (Odling-Smee et al., 2003). O argumento dos seus proponentes é o de que a construção de nicho apresenta um papel positivo no processo evolutivo, por exemplo, ao introduzir um feedback na dinâmica evolutiva, em que os organismos através de suas atividades modificam a pressão de seleção que agem neles próprios, em seus descendentes e mesmo em populações relacionadas. Abaixo apresentamos um dos exemplos empíricos dados por Odling-Smee e seus colaboradores (2003) deste tipo de conseqüência da construção de nicho na evolução das minhocas, que segundo os autores teria sido também descrito por Darwin:

> *(...) Minhocas mudam dramaticamente o solo em que vivem em termos estruturais e químicos (...) como resultado da sua atividade, as minhocas afetam os ecossistemas ao contribuir para a gênese do solo, para a estabilidade dos agregados do solo, para a porosidade, aeração e drenagem do solo. (...)Todos estes efeitos tipicamente dependem da construção de nicho de muitas gerações de minhocas, conduzindo apenas de modo gradual a um melhoramento cumulativo do solo. Assim sendo, a maioria das minhocas atuais habitam ambientes locais seletivos que foram radicalmente alterados, não apenas pela geração de seus pais, mas por muitas gerações passadas de seus ancestrais construtores de nicho. Provavelmente, algumas características fenotípicas das minhocas, como a estrutura da epiderme, ou a quantidade de muco que secretam, co-evoluíram com sua construção de nicho através de muitas gerações. (Odling-Smee et al., 2003, p.11).*

Desta perspectiva, a evolução das estruturas, comportamentos e mecanismos fisiológicos funcionais de um grupo de organismos é concebida como um processo de co-evolução entre organismos construtores de nicho e seus ambientes.

A visão mais crítica e cética em relação ao poder causal da seleção natural também levou a ver a natureza das soluções adaptativas de modo diverso da tendência otimizadora da perspectiva adaptacionista. Em lugar de serem concebidas como *designs* ótimos, as adaptações são entendidas como estruturas, comportamentos ou mecanismos que "se mantêm prevalentes em conseqüência do *fitness* maior de seu design em relação aos problemas ambientais reais, enfrentados na história do organismo, em comparação com alternativas historicamente disponíveis" (Burian, 2005, p. 62).

Há também uma mudança na concepção do processo evolutivo: em lugar da metáfora da engenharia, esta concepção tem sido caracterizada pela metáfora da bricolagem e funilaria (Jacob, 1977; Meyer; El-Hani, 2005). A atividade de funilaria produz objetos funcionais a partir da fusão de sucata, materiais que já dispõem e que a princípio não apresentam atributos que respondam à função que irão exercer, mas as adquiri ao serem combinados com outros materiais em um sistema. Segundo a visão pluralista da evolução da forma, as novidades evolutivas podem ser produzidas a partir do reaproveitamento de estruturas pré-existentes, através da mudança de função de um sistema, ou da combinação de mais de um sistema em sistemas complexos. Antes mesmo, da crítica ao programa adaptacionista se intensificar, François Jacob já propunha este modo de entender o processo evolutivo:

> *Freqüentemente, sem nenhum projeto bem definido previamente, o funileiro dá a seus materiais inesperadas funções para produzir um novo objeto. De uma roda antiga de bicicleta, ele faz uma roleta; de uma cadeira quebrada a cabine de um rádio. De modo semelhante, a evolução fez uma asa de uma perna ou a parte do ouvido a partir de uma peça da mandíbula. (Jacob, 1977, p.1164)*

Como se pode concluir a partir da caracterização das quatro zonas do perfil e das formas de pensar internas à zona "perspectiva variacional", a constituição das zonas vai além de um processo de categorização, embora tipicamente envolva este procedimento (Mortimer, Scott; El-Hani, 2009). Estruturamos a caracterização das zonas a partir dos compromissos ontológicos e epistemológicos que fundamentam formas de pensar sobre a adaptação biológica, os quais não foram dados diretamente por declarações ou proposições escritas ou faladas, mas sim a partir de hipóteses constantemente reformuladas a medida que promovemos um diálogo entre as diferentes fontes de dados.

A despeito das zonas apresentadas acima terem sido individualizadas através de um conjunto determinado de compromissos ontológicos e epistemológicos, como podemos observar nos quadros 2 e 3 que se seguem, há um compartilhamento de compromissos entre as zonas.

A zona funcionalismo intra-orgânico compartilha o pressuposto de teleologia intra-orgânica como sendo um dos princípios organizadores da forma viva e o uso de atribuições funcionais para explicá-la com a zona ajuste providencial. A distinção é que no caso do ajuste providencial a atribuição funcional tem um caráter etiológico, e além da teleologia intra-orgânica, pressupõe também uma teleologia externa, a qual recebe maior ênfase como fator causal da forma orgânica.

A idéia de que os organismos e estruturas encontram-se adaptados de modo harmônico com as condições ambientais, mantendo-se uma ordenação no mundo natural, é compartilhado entre as zonas ajuste providencial e perspectiva transformacional. A distinção entre estas zonas é que no segundo caso, o ajuste é obtido por processos permanentes de transformações dos organismos em direção ao melhor estado de adequação às condições ambientais possível. Estes processos demandam algum tipo de mecanismo causal eficiente. Enquanto que no primeiro caso, o ajuste já é dado por uma teleologia imanente ou pela ação de agente externo criador.

A perspectiva transformacional é a zona que mais compartilha compromissos com as demais. Além dos compromissos compartilhados com a zona ajuste providencial, tem em comum com o modo de pensar da primeira zona, funcionalismo intra-orgânico, o foco de análise no organismo e nas causas eficientes. Com a perspectiva variacional, por sua vez, compartilha a perspectiva evolutiva de entender às adaptações.

A interpretação da adaptação como um *design* ótimo, por sua vez, está presente tanto no ajuste providencial, como em certa medida na perspectiva transformacional, e especialmente em um dos percursos discursivos da perspectiva variacional, a abordagem

adaptacionista da forma orgânica. No entanto esta interpretação está fundamentada em compromissos distintos em cada uma destas zonas. No caso do ajuste providencial, a idéia de design ótimo é concebida em termos de propriedade dos organismos de estarem perfeitamente ajustados às condições de vida de acordo com o princípio da economia natural, e graças à agência de um princípio organizador da natureza ou de um criador inteligente e benevolente. Na interpretação transformacional, o *design* ótimo é concebido como um estado teleológico de ajuste ótimo dos organismos às condições ambientais, conseqüência de um processo evolutivo linear e progressivo. Na abordagem adaptacionista de explicar a evolução da forma orgânica, o *design* ótimo é interpretado como a evidência de que uma estrutura ou comportamento funcional é uma adaptação, uma vez que representa a solução ótima para os desafios reais do ambiente, só podendo ter sua origem explicada de pela ação gradual e otimizadora da seleção natural.

Quadro 2: Caracterização epistemológica das zonas de um perfil conceitual de adaptação.

ZONAS	Compromissos ontológicos e epistemológicos distintivos	Compromissos que compartilham com outras zonas
Funcionalismo Intra-orgânico	• O fenômeno adaptação, enquanto adequação da forma ao entorno ecológico não é reconhecido como tal. •Teleologia intra-orgânica; •Suficiência das causas próximas para explicar o fenômeno vivo.	•Economia natural • Foco de investigação no nível do organismo; • Emprega atribuição funcional como estratégia explicativa
Ajuste Providencial	•Adaptação é concebida como um estado de ser, uma propriedade fixa do organismo ou grupo de organismos. •Teleologia intra-orgânica e teleologia externa; •Agência de uma força sobrenatural ou de outro tipo de força ordenadora da Natureza; •Harmonia e perfeição na relação estrutura orgânica e meio	•Economia natural •Pensamento essencialista; • Emprega atribuição funcional como estratégia explicativa; •Perfeição na relação funcional entre estrutura orgânica e condições de vida; •Otimização (*design ótimo*);
Perspectiva Transformacional	•Acúmulo de processos ontogenéticos explica mudanças filogenéticas; •Tendência de transformação da essência da espécie para alcançar maior complexidade ou ajuste às condições ambientais (implicando na idéia de progresso e alguma forma de pensamento teleológico);	•Economia natural •Pensamento essencialista; • Foco de investigação no nível do organismo; •Perfeição na relação funcional entre estrutura orgânica e condições de vida; •Otimização (aperfeiçoamento progressivo); • Perspectiva evolutiva de explicar adaptação;
Perspectiva Variacional	•Função darwiniana: pressuposto de que as estruturas orgânicas estão comprometidas com a luta pela sobrevivência, e respondem às exigências postas pelo entorno ecológico. •Pensamento populacional;	• Perspectiva evolutiva de explicar adaptação;

Quadro 3: Caracterização epistemológica de formas variacionais de significar o conceito

	Formas variacionais de significar o conceito	Compromissos distintivos	Compromissos compartilhados entre si	Compromissos compartilhados com outras zonas do perfil
ZONA "PERSPECTIVA VARIACIONAL"	**Abordagem Adaptacionista da forma orgânica**	• Primazia da adaptação em relação a outros fenômenos evolutivos; •Exclusividade das explicações adaptacionistas; • Independência lógica entre seleção natural e adaptatividade; • Supervalorização do poder causal e explicativo da seleção natural; •Alienação entre forças internas e externas ao organismo na causalidade da forma.	•Pensamento populacional;	•Perfeição na relação funcional entre estrutura orgânica e condições de vida; •Otimização (*design ótimo*);
	Abordagem Pluralista da forma orgânica	• Compromisso em considerar hipóteses não-adaptativas na explicação da forma; •Pluralismo de processos; •Relativização do poder explicativo da seleção natural; •Simultaneidade e/ou interdependência entre forças externas e internas ao organismo na causalidade da forma	•Pensamento populacional;	

As zonas do perfil conceitual não são equivalentes a diferentes significados tornados estáveis socialmente atribuídos ao conceito, mas a modos de pensar, ou contextos epistemológicos e discursivos em que estes significados emergem e são estabilizados. Assim, o compartilhamento de compromissos entre as zonas é coerente com o caráter dinâmico do modelo de perfis conceituais, que além de modelar a heterogeneidade do pensamento verbal, pretende modelar os processos de gênese destes modos de pensar e falar sobre um conceito em determinados contextos sociais de produção de conhecimento. No capítulo V, aplicaremos este modelo de perfil conceitual de adaptação para modelar os aspectos semânticos das

interações discursivas no contexto social do ensino de evolução em uma sala de aula do ensino médio. Antes, contudo, no capítulo IV, apresentaremos os fundamentos teóricos e metodológicos que orientaram a análise discursiva de episódios de ensino de evolução, realizada com este objetivo de avaliar o potencial deste modelo de perfil como ferramenta de análise de discurso em salas de aula de biologia.

CAPÍTULO IV:
Fundamentos teóricos e metodológicos para análise do discurso da sala de aula

4.1. A análise interpretativa do discurso na pesquisa em educação científica:

A análise do discurso produzido em sala de aula tem sido, recentemente, inserida na agenda de pesquisa no ensino de ciências, se constituindo em uma das linhas de investigação dos processos de ensino e aprendizagem, em decorrência da recente influência da psicologia sócio-cultural na área.

Nas décadas de 1980 e 1990, o ensino de ciências esteve fortemente orientado por abordagens construtivistas, pautadas numa visão cognitivista dos processos de aprendizagem. Conseqüentemente, por um longo tempo, as pesquisas na área estiveram focadas nos processos individuais de construção de conhecimento, dando origem ao que podemos chamar de movimento das 'concepções alternativas' (Gilbert; Swift, 1985) e posteriormente ao modelo de mudança conceitual (Posner e colaboradores, 1982). Desde o final da década de 1990, no entanto, em decorrência da influência de uma perspectiva sociocultural da aprendizagem, o ensino de ciências tem dado maior atenção à análise de discurso como um caminho para se compreender como os significados são gerados por meio dos diferentes modos de comunicação, interações sociais e uso da linguagem em sala de aula. Esta nova direção para a pesquisa em educação científica (Duit e Treagust, 1998) sinaliza o deslocamento do foco das pesquisas, antes voltado para a compreensão individual dos estudantes acerca de fenômenos específicos, para os processos de compreensão e apropriação do ponto de vista da ciência no espaço social da sala de aula.

Diferentes estudos têm apontado, sob variados pontos de vista, a importância de se investigar o discurso e outros mecanismos retóricos empregados na sala de aula de ciências (ver, por exemplo, Candela, 1999; Halliday e Martin, 1993; Kelly e Brown, 2003; Kress, Jewitt, Ogborn e Tsatsarelis, 2001; Lemke 1990; Mortimer, 1998; Mortimer e Scott, 2003; Ogborn, Kress, Martins e McGillicuddy, 1996; Roth, 2005; Scott, 1998; Sutton, 1992). Hicks (1995), por exemplo, argumenta que a aprendizagem de ciências não pode ser dissociada dos gêneros textuais e práticas discursivas que constituem as disciplinas científicas, e que deve ser concebida, portanto, como um processo estruturado por gêneros de discurso, formas de atividade e formas de estabelecer ligações semânticas entre eventos, objetos e pessoas. Com base neste argumento, Hicks sugeriu a incorporação de teorias e métodos de análise interpretativa do discurso pelas pesquisas na área de educação científica e matemática.

4.2. O diálogo entre as idéias de Vygotsky e Bakhtin como fundamento teórico e metodológico para análise do discurso em sala de aula:

O programa de pesquisa em perfil conceitual tem proposto a incorporação da caracterização epistemológica das zonas de perfis conceituais a um método de análise interpretativa do discurso da sala de aula (Mortimer, 2001; Amaral, 2004; Amaral; Mortimer, 2006). O método de análise de discurso adotado por este programa de pesquisa tem como base teórica uma abordagem sociocultural da mente fundada no diálogo entre as idéias de Vygotsky e Bakhtin construído por Wertsch (Wertsch, 1985; 1991; Wertsch e Smolka, 2001) e Mortimer e Scott (2003).

Wertsch (Wertsch, 1985; 1991) propõe uma abordagem sociocultural para investigação dos processos mentais humanos que tem como unidade de análise a *ação mediada*, em sua condição de essencialmente situada cultural, histórica e institucionalmente. Para tanto, Wertsch (1991) se vale da estratégia de estender o quadro teórico de Vygotsky acerca da mediação da atividade humana por signos através da incorporação de conceitos articulados na teoria enunciativa da linguagem de Bakhtin.

Segundo Wertsch (1985, 1991), além da confiança em um método genético ou evolutivo para investigar o funcionamento mental humano, a estrutura teórica da obra de Vygotsky é composta por mais dois temas: a afirmação de que as funções mentais superiores humanas têm sua origem na vida social, e a tese de que as ações humanas, tanto no plano social como no plano individual, são mediadas por signos e outras ferramentas semióticas.

Para Vygotsky (2001), todas as funções superiores têm como traço comum o fato de serem processos mediados, ou seja, de incorporarem em sua estrutura o emprego dos signos como meio fundamental de orientação nos processos psíquicos. Este idéia se concretiza, por exemplo, em sua análise sobre o papel do signo, ou palavra, no desenvolvimento do pensamento por conceitos:

> Como mostra a investigação, a questão central desse processo é o emprego funcional do signo ou palavra como meio através do qual o adolescente subordina ao seu poder as suas próprias operações psicológicas, através do qual ele domina o fluxo dos próprios processos psicológicos e lhes orienta a atividade no sentido de resolver os problemas que tem pela frente (Vygotsky, 2001, p. 169).

Com base em observações como estas, advindas dos estudos experimentais realizadas por ele e seus colaboradores, Vygostky constrói argumentos a favor de duas afirmações: (1) a transformação intelectual que se realiza no limiar entre a infância e a adolescência é causada, em termos, psicológicos, pelo emprego significativo da palavra; e (2) a chave para o estudo da formação de conceitos é o estudo do emprego funcional da palavra e de seu desenvolvimento, das múltiplas formas de aplicação qualitativamente diversas em cada fase etária. A distinção

fundamental entre o pensamento por complexo, fase genética que precede à formação do verdadeiro conceito, e o pensamento por conceito, por exemplo, reside na operação intelectual que é realizada por intermédio da palavra (Vygotsky, 2001, p. 227), especificamente, no que diz respeito à natureza da unificação e generalização de diferentes objetos em um grupo comum. No pensamento por complexos, objetos particulares são incluídos em um complexo com base em vínculos fortuitos e de natureza factual e concreta. Nesta fase do amadurecimento do conceito, a palavra desempenha a função de nome de família e unificação de grupos cognatos segundo a impressão obtida a partir dos objetos – função nominativa ou indicativa da palavra. No pensamento por conceitos, os vínculos que servem de base a generalização deixam de ser concretos e factuias, para serem abstratos e lógicos. Além disso, os objetos particulares abrangidos por um conceito se inserem na generalização com base em vínculos de um mesmo tipo, logicamente idênticos entre si (Vygotsky, 2001, p. 181). Neste caso, a palavra orienta a criança para a atenção arbitrária para determinados atributos dos objetos, e assume a função significativa ou semântica da palavra.

Estas teses sobre o papel do signo na formação de conceitos ilustram uma importante implicação do tratamento que Vygotsky dispensa aos recursos mediacionais, conforme nos chamam atenção Wertsch e Smolka (2001, p. 123): a incorporação destes recursos não torna a ação humana (incluindo a ação mental), simplesmente, mais fácil ou mais eficiente em um sentido quantitativo, mas resulta, inevitavelmente, em uma transformação qualitativa desta ação.

Quanto à afirmação de Vygotsky sobre a origem social do funcionamento mental humano, ela se encontra formulada de modo concreto em sua lei genética geral do desenvolvimento:

> Qualquer função no desenvolvimento cultural da criança aparece duas vezes, ou em dois planos. Primeiro, aparece no plano social e, em seguida, no plano psicológico. Primeiro entre as pessoas, como uma categoria interpsicológica e, depois, no interior da criança, com categoria intrapsicológica. (....) É evidente que a internalização transforma o próprio processo e altera sua estrutura e suas funções. As relações sociais ou as relações entre as pessoas embasam geneticamente todas as funções superiores e suas relações. (Vygotsky, 1981, p. 163).

Wertsch e Smolka (2001) analisam dois aspectos desta afirmação, cujas implicações, para os autores, não têm sido inteiramente avaliadas pela leitura da obra de Vygotsky pela psicologia ocidental. O primeiro deles é o fato de Vygotsky advertir que os processos internos não são simples cópias dos processos que ocorrem no plano social: em vez disso, a relação é de transformação genética e de formação de um plano interno de consciência. Não obstante esta advertência, o paralelo funcional entre os planos intramental e intermental, o qual emerge

do uso de recursos mediacionais semelhantes em ambos, é um princípio fundamental na abordagem vygostkyana do funcionamento mental humano. O segundo aspecto diz respeito a afirmação de que as relações sociais embasam geneticamente todas as funções superiores e suas relações. De modo que, mesmo quando efetuados pelo indivíduo isoladamente, os processos metais permanecem "quase sociais" (Vygotsky, 1981, p. 164).

Estes dois aspectos apresentam uma importante implicação para a concepção acerca da natureza dos processos mentais humanos pela psicologia ocidental contemporânea: eles apontam para "suposição de Vygotsky de que os processos mentais não ocorrem única ou mesmo fundamentalmente nos indivíduos" (Wertsch e Smolka 2001, p.125).

Mortimer e Scott (2003) procuram tornar mais claro o significado da primeira proposição vygotskyana acerca da relação entre os planos intrapsicológico e interpsicológico na formação das funções mentais superiores, e suas implicações para a compreensão da aprendizagem, da seguinte maneira:

> Simples, nós primeiro nos deparamos com idéias novas (novas, pelo menos, para nós) em situações sociais em que estas idéias estão sendo repassadas, repetidas entre as pessoas, delineando uma série de modos de comunicação, tais como discursos, gestos, modos de escrever, imagens visuais e atos. Vygostky refere-se as estas interações como existindo no plano social. (...) Na perspectiva de Vygostky, a aprendizagem envolve a passagem da construção das idéias em contextos de interações sociais para a compreensão individual, através de um processo de internalização. Os indivíduos entram em contato com idéias novas em situações sociais e iniciam um processo de comparação e verificação de suas próprias concepções e entendimentos com as idéias que estão sendo reproduzidas no plano social, nas idéias expostas por um professor em uma sala de aula, por exemplo (Mortimer e Scott, 2003: 10).

A descrição do processo de internalização feita por estes autores esclarece o papel que a linguagem exerce na aprendizagem, esta última concebida na perspectiva vygotskyana como uma função mental derivada da vida social. A linguagem e outros mecanismos semióticos construídos culturalmente fornecem os meios tanto para que as idéias circulem no plano intermental como para que as mesmas sejam interpretadas e internalizadas pelo pensamento individual. Dado que as formas de linguagem veiculadas nas interações sociais fornecem os meios para que o indivíduo possa pensar, se estivermos interessados em entender como a aprendizagem se dá na sala de aula de ciências, o primeiro passo consiste em examinar o uso da linguagem e os modos de comunicação esboçados nas interações entre alunos e professores ao falarem de fenômenos e idéias científicas (Mortimer; Scott, 2003, p.10).

Conforme argumentam Wertsch e Smolka (Wertsch, 1991; Wertsch e Smolka, 2001), as afirmações de Vygotsky sobre as relações sociais não foram completamente desenvolvidas

em sua obra. Os estudos empíricos realizados por Vygotsky e seus colaboradores estiveram quase sempre restritos às interações sociais de duplas ou de pequenos grupos, e seus escritos se concentraram nas questões relativas a estas relações sociais concretas. Para Wertsch e Smolka (2001, p. 126), esta é uma deficiência da abordagem de Vygotsky, um ponto em sua pesquisa que não preenche a pauta abrangente que ele propôs para uma abordagem sócio-cultural.

Em seus estudos a respeito do papel da mediação semiótica no desenvolvimento das funções mentais, a exemplo da formação de conceitos, Vygostky não analisou de forma elaborada como este processo se dá em diferentes ambientes sócio-culturais. De modo que não encontramos na obra de Vygotsky conceitos que nos permitam entender, por exemplo, como o lugar social dos sujeitos no espaço institucional da sala de aula interfere nos processos de enunciação e produção de significado.

Wertsch e Smolka (2001) propuseram que os conceitos de *enunciado*, *dialogia*, *linguagem social* e *gênero de discurso*, articulados na teoria enunciativa da linguagem do semiólogo soviético Mikhail Bakhtin (Volochinov, 1929/ 1992; Bakhtin, 1981; 1986; 2000), podem ampliar o quadro teórico de Vygotsky, ao delinear de maneira eficaz as conexões entre os processos intermentais e intramentais, de um lado, e os ambientes culturais, históricos e institucionais, de outro.

Assim como Vygotsky, Bakhtin enfatizou o papel da interação social na formação da consciência individual e o caráter dialógico do processo de compreensão. Bakhtin desenvolveu uma teoria da linguagem que toma como unidade de análise o enunciado dialógico, compreendido como um elo na cadeia dos atos de fala (Volochinov, 1929/1992, p.98). Para Bakhtin, qualquer enunciação é construída como uma resposta a enunciações anteriores, ao tempo em que também antecipa reações ativas da compreensão, estando em contato direto com enunciados alheios. Desta maneira, qualquer enunciação supõe alguma forma de contato entre duas ou mais vozes e, portanto, tem como partes essenciais a dialogia e a *polifonia*.

Como nos adverte Wertsch (1991), para que possamos entender melhor a afirmação de Bakhtin de que "cada enunciado deve ser entendido primeiramente como uma resposta a enunciados anteriores da esfera dada", e, conseqüentemente, o conceito de dialogia, é fundamental que tenhamos em vista a noção de *voz*. Voz, na perspectiva de Bakhtin, consiste na perspectiva, horizonte conceitual, intenção ou visão de mundo do sujeito falante. O enunciado sempre é expresso de um ponto de vista, portanto, só pode existir ao ser produzido por uma voz. Um aspecto importante desta noção diz respeito à idéia enfatizada por Bakhtin

de que a voz só existe em um meio social – "não há algo como uma voz que existe em total isolamento das outras vozes" (Wertsch, 1991, p.51-52).

Tendo em vista esta noção de voz, fica claro que a dialogia para Bakhtin tem um sentido bem mais abrangente que a idéia que associamos normalmente à palavra "diálogo", ela diz respeito ao encontro entre duas ou mais vozes, ou seja, perspectivas, pontos de vista. Segunda a análise de Wertsch (1991), Bakhtin esboçou vários exemplos de como este contato pode ocorrer. A comunicação verbal vocalizada diretamente entre pessoas, face-a-face, é apenas um dos modos com que os enunciados concretos de um falante entram em contato, ou *interanimam*, com os enunciados de outro. A paródia também era vista por Bakhtin como outro modo pelo qual os enunciados de um sujeito falante pode assumir uma orientação dialógica em direção aos enunciados de outro. A paródia consiste num processo em que uma voz transmite o que outra voz disse, mas o faz com uma mudança de acento (Bakhtin, 1984, p.199). Conforme analisam Wertsch e Smolka (2001, p. 128), a paródia é um caso particular da prática de uma voz assumir as palavras e expressões de outras. Nestes casos uma única voz concreta produz a enunciação, mas ao incorporar expressões de outra voz, essa segunda voz também é ouvida, resultando em uma enunciação polifônica.

O diálogo face-a-face e paródia são exemplos de uma orientação dialógica de enunciados de uma pessoa em direção aos enunciados de outra, que podem ocorrer dentro de uma mesma linguagem. Há, no entanto, duas outras formas de orientação dialógica: aquela entre linguagens sociais dentro de uma única linguagem nacional, e aquela entre duas linguagens nacionais em uma mesma cultura (Wertsch, 1991).

A linguagem social para Bakhtin é o discurso peculiar a um estrato social específico (profissional, grupo etário, etc) inserido num sistema social e num tempo dados. A tradição lingüística anterior a Bakhtin, aquela de Ferdinand de Saussure (1959), concebia o usuário individual da linguagem como um agente absolutamente livre, com habilidade de escolher qualquer palavra para implementar uma intenção particular. Partindo deste pressuposto, considerava-se que a linguagem como usada pela heterogeneidade de milhões de indivíduos com tal habilidade não era passível de ser estudada, "uma floresta caótica além da capacidade da ciência de domesticar". Segundo a noção de linguagem social de Bakhtin, os indivíduos falantes não têm tal liberdade. Ao construírem seus enunciados, os sujeitos sempre invocam uma linguagem social, a qual modela, restringe, o que a voz deste sujeito falante pode dizer. Com esta noção, Bakhtin conseguiu encontrar padrões de organização em lugar do caos visto pelos lingüistas da tradição de Saussure. Nas palavras de Bakhtin (2000, p. 304):

> o enunciado, em sua singularidade, apesar de sua individualidade e de sua criatividade, não pode ser considerado como uma combinação absolutamente livre das formas da língua, do modo concebido, por exemplo, por Suassure (e, na sua esteira, por outros lingüistas), que opõe o enunciado (a fala), como um ato puramente individual, ao sistema da língua como um fenômeno puramente social e prescritivo do indivíduo.

Os exemplos de linguagem social ou tipos de discursos sociais mencionados por Bakhtin são os dialetos sociais, os comportamentos de grupo característicos, jargões profissionais, linguagens genéricas, linguagens de grupos etários e gerações, linguagens tendenciosas, linguagens de autoridades de vários ciclos e de modas passageiras e linguagens que servem para propósitos políticos do momento (Bakhtin, 1981, p. 262).

Mortimer e Scott (2003) argumentam que a luz da noção de linguagem social proposta por Bakhtin fica claro que, uma vez que a ciência pode ser considerada um modo distinto de pensar e falar sobre o mundo natural produzido e tornado válido por uma comunidade científica, um requisito para que se aprenda ciências é ser introduzido na linguagem da comunidade científica. Portanto, na sala de aula de ciências, pelo menos três tipos de linguagens sociais deverão estar representadas: a linguagem científica, a linguagem social da ciência escolar e a linguagem cotidiana.

A linguagem social é uma das formas de estratificação da linguagem proposta por Bakhtin que permite estudarmos a heterogeneidade de categorias ou tipos de eventos discursivos, a segunda delas é o gênero de discurso. Os gêneros de discurso não são propriamente formas de linguagem, mas certos tipos, relativamente estáveis, de enunciados que são invocados pelos falantes em função das situações sociais de comunicação verbal, que obrigam o discurso interno a realizar-se numa expressão exterior definida. Em função da especificidade de uma dada esfera da comunicação verbal, das necessidades de uma temática, e do conjunto de parceiros (interlocutores), o locutor escolhe um gênero de discurso para realizar seu intuito discursivo.

O gênero de discurso é, portanto, caracterizado primariamente em termos de situações típicas de comunicação discursiva. Bakhtin forneceu uma lista do tipo de fenômenos que tinha em mente, quando reconheceu o gênero de discurso: comandos militares, gêneros cotidianos de felicitações e congratulações, conversas de salão sobre cotidiano e outros assuntos sociais e estéticos; gêneros de conversação de mesa; conversas íntimas entre amigos; e narrativas cotidianas.

Bakhtin (2000) reconheceu a extrema heterogeneidade e diversidade funcional dos gêneros de discurso, e a despeito de não ter construído uma tipologia sistemática dos gêneros de discurso, forneceu critérios para distinguir diferentes gêneros. O critério que mais

interessava a Bakhtin, segundo Wertsch e Smolka (2001), consistia na forma como as vozes entram em contato, indispensável para a compreensão da estrutura composicional do enunciado. Tendo em vista este critério, Bakhtin estabelece a distinção entre *discurso de autoridade* e *discurso internamente persuasivo*.

Como observa Wertsch (1991, p. 78), "o discurso de autoridade é baseado no pressuposto de que as enunciações e seus significados são fixos, não sendo passíveis de serem modificados ao entrarem em contato com novas vozes". A estrutura semântica do discurso de autoridade não permite interanimação com outras vozes. Um discurso internamente persuasivo, em contraste, é permeado por "contrapalavras", sendo resultante da negociação de significados com o discurso do outro. Ele apresenta uma estrutura semântica "aberta", que pode ser até mesmo capaz de revelar novas "maneiras de significar" (Bakthin, 1981, p. 346).

Wertsch e Smolka (2001) identificam na noção de *dualismo funcional* dos textos do semiólogo Lotman uma importante contribuição para uma melhor compreensão da visão de Bakhtin sobre a necessidade de termos em vista a maneira como diferentes vozes entram em contato na composição de enunciações.

A primeira das duas funções do texto reconhecidas por Lotman, denominada função unívoca do texto, é a de transmitir adequadamente significado, a qual "é melhor preenchida quando os códigos do falante e do ouvinte coincidem o mais completamente possível, e conseqüentemente, o texto tem um grau máximo de univocidade" (Lotman, 1988, p.34 apud Wertsch, 1998, p. 113). Lotman enfatiza, no entanto, que não devemos nos restringir à função unívoca do texto, mas sim incorporar estas noções em um sistema de tensões dinâmicas que envolvem outras tendências funcionais. Entre estas tendências, estaria a função dialógica do texto de gerar novos significados. Neste caso, a diferença entre a mensagem emitida e a recebida não se constitui em um defeito do canal de comunicação, mas é sim a essência mesma da função do texto como um "instrumento de pensamento" (Lotman, 1998, pp. 36-37 apud Wertsch, 1991, p.74). Embora ambas as funções sejam características de quase todos os textos, na maioria dos casos, uma ou outra função tende a predominar.

Wertsch e Smolka (2001) argumentam que Lotman oferece critérios úteis para a distinção entre gêneros de discurso. À semelhança da distinção entre discurso de autoridade e discurso internamente persuasivo, é possível identificarmos discursos em que a função unívoca está em primeiro plano e discursos em que a ênfase recai na função dialógica. Os primeiros são caracterizados por não apresentarem muito espaço para que a voz receptora possa influenciar a voz transmissora. Já os discursos baseados na função dialógica permitem uma interação entre as diferentes vozes postas em contato, permitindo gerar novos

significados. As enunciações das outras vozes são concebidas como “instrumentos de pensamento”, e não “como pacotes de informações não-transformáveis” (Wertsch; Smolka, 2001, P. 136).

Para Wertsch (1991), a abordagem bakhtiniana do fenômeno semântico presta grande contribuição a uma abordagem sociocultural da mente porque continuamente enfatiza a noção de que o enunciado e sua significação são inerentemente situados em contextos socioculturais. Segundo a teoria enunciativa de Bakhtin, a produção de qualquer enunciado envolve a apropriação de uma linguagem social e um gênero de discurso. Uma vez que estes tipos de discurso são sócio-culturalmente situados, a abordagem da mediação semiótica bakhtiniana resultante assume que a significação é intrinsecamente ligada a cenários históricos, culturais e institucionais. A noção de voz, por sua vez, é fundamental porque ela provê uma constante lembrança de que mesmos os processos psicológicos efetuados por um indivíduo isolado envolvem processos de natureza comunicativa.

Em nosso estudo, a noção de voz de Bakhtin tem sido fundamental porque é a partir dela que definimos algumas das importantes noções que empregamos para descrever os processos de compreensão e apropriação do ponto de vista escolar ao longo do discurso produzido em sala de aula. É a partir da noção de voz de Bakhtin e da noção de dualidade funcional do texto de Lotman (1988) que definimos nossa concepção dos processos de produção e negociação de significados, e as noções de univocidade e dialogicidade e instrumentos de pensamento.

Segundo Wertsch (1991), Bakhtin insiste em vários pontos que o significado só pode ter existência quando duas ou mais vozes entram em contato, quando a voz de um ouvinte responde a voz de um falante. Desta perspectiva, Bakhtin concebe o significado como um processo e não como uma entidade estática, o que torna esta perspectiva consistente com as concepções de conceito e de conceitualização que orientam o programa de pesquisa em perfis conceituais, descritas no capítulo I.

A partir desta perspectiva, temos considerado que há produção de significado, ou que ocorre significação, em torno de uma idéia, conceito ou modelo explicativo, quando novos significados, que foram gerados em uma situação de contato entre duas ou mais vozes no plano social da sala de aula, são arbitrariamente empregados pelos estudantes para elaborarem seus argumentos. Esta última ação é um indício de que tais significados foram organizados em elaborações próprias e internalizados pelos estudantes.

Este processo pode envolver ou ser precedido pela negociação de significados. O termo “negociação de significado” é utilizado em nossa análise com o mesmo significado

atribuído na idéia de "dualismo funcional dos textos" desenvolvida por Lotman. Refere-se ao movimento dialógico, em que numa situação de contato entre duas ou mais vozes, uma voz toma as enunciações de outras vozes como instrumento de pensamento, e assim, cria novos significados, em lugar de transmitir as informações de forma precisa e unívoca. Este processo pode ocorrer tanto no plano intramental como no intermental, ou dito de outra forma, tanto em termos da "fala interior" – no sentido vygotskiano – como em contextos de interações discursivas entre diferentes falantes num ambiente cultural e institucional particular, como é o caso da sala de aula.

Considerando a articulação entre as idéias de Vygotsky e as idéias de Bakhtin, brevemente esboçada nesta seção, podemos conceber a aprendizagem de ciência como a aquisição de uma nova forma de falar, advinda da socialização dos estudantes com o discurso da comunidade científica em sala de aula. Esta nova forma de falar provê, por sua vez, ferramentas para a atribuição de novos significados às explicações científicas acerca de fenômenos naturais e, portanto, uma nova forma de pensar os mesmos. A medida que as interações discursivas se processam no espaço comunicativo da sala de aula, são disponibilizados recursos léxicos, fraseológicos e gramaticais que auxiliam os indivíduos a negociarem novos significados gerados no contato entre diferentes perspectivas culturais, e a organizá-los em elaborações próprias.

Diante desta perspectiva, a investigação dos processos de ensino e aprendizagem implica no acompanhamento uma série de movimentos discursivos que ocorrem no espaço social da sala de aula, como por exemplo: o modo como o professor disponibiliza a linguagem científica no plano social da sala de aula, e através de que padrões de interação discursiva estabelecidos com seus alunos, as formas pelas quais as diferentes vozes entram em contato, "o movimento de apreensão de palavras alheias e transformação destas em palavras próprias" (Silva; Mortimer, 2005, p.6), a apropriação gradual da linguagem científica e o domínio do gênero de discurso da sala de aula de ciências pelos estudantes, a construção de univocidade em torno de significados tornados estáveis no plano intermental.

Pretendemos acompanhar estes movimentos discursivos ao longo de episódios de ensino de evolução através de uma análise do discurso que emprega de modo integrado, o perfil conceitual de adaptação, proposto no capítulo anterior, e os aspectos que compõem a estrutura analítica desenvolvida por Mortimer e Scott (2002; 2003) para analisar o discurso produzido em sala de aula de ciências. Os aspectos que compõem esta estrutura analítica serão apresentados em seguida.

4.3. Estrutura analítica para investigar o gênero de discurso da sala de aula:

A estrutura analítica proposta por Mortimer e Scott (2002; 2003) foi desenvolvida com base na interlocução entre as idéias de Vygostky e Bakhtin apresentada acima, e com a intenção de descrever o gênero de discurso das salas de aula de ciências. Esta descrição encontra-se estruturada em torno de três dimensões relativas à interação entre professor e alunos: *o foco de ensino, as abordagens comunicativas e as ações*. A *abordagem comunicativa* é considerada o elemento central da análise, dado que através dela compreendemos como são trabalhados, os focos de ensino, ou seja, as *intenções do professor* e o *conteúdo*, e por meio de quais ações, as *intervenções pedagógicas,* que resultam em certos *padrões de interação.* Portanto, a estrutura analítica é composta por cinco aspectos que são agrupados nas três dimensões anteriormente citadas, como descrito no quadro 4 abaixo:

Quadro 4: Aspectos da estrutura analítica desenvolvida por Mortimer e Scott (2002;2003)

Aspectos da análise	
I. Focos de ensino	1. Intenções do professor 2. Conteúdo
II. Abordagem	3. Abordagem comunicativa
III. Ações	4. Padrões de interação 5. Intervenções do professor

As intenções do professor correspondem às metas que orientam a seleção e planejamento de atividades que são propostas aos estudantes e que produzem um roteiro que dirige uma espécie de performance pública do professor no plano social da sala de aula. Mortimer e Scott (2002; 2003) propuseram uma lista destas intenções com base em observações de sala de aulas de ciências em que a interação entre professores e estudantes era significativa, e com base em noções de Vygotsky sobre internalização de processos mentais e na concepção dialógica da compreensão de Bakhtin.

Os autores identificaram três estágios nas seqüências de ensino em que determinadas intenções do professor propiciam a apropriação gradual e progressiva de significados pelos estudantes: a introdução de idéias científicas no plano social da sala de aula, o trabalho com as idéias científicas pelos estudantes sob orientação do professor, de modo a sustentar o processo de internalização do ponto de vista da ciência, e a aplicação do ponto de vista da ciência pelos estudantes, guiados pelo professor, que gradualmente lhes transfere a responsabilidade de usá-lo (Mortimer; Scott, 2003, p. 113-114). No quadro 5 apresentamos a síntese das intenções docentes que caracterizam estas três fases, como proposta por Mortimer e Scott (2003, p. 29):

Quadro 5: Intenções do Professor

•Criando um problema; •Explorando a visão dos estudantes; •Introduzindo e desenvolvendo a 'estória científica'; •Guiando os estudantes no trabalho com idéias científicas, dando suporte ao processo de internalização; •Guiando os estudantes na aplicação das idéias científicas, transferindo progressivamente para eles a responsabilidade por esse uso; •Mantendo a narrativa, sustentando o desenvolvimento da 'estória científica'.

Tais intenções estão relacionadas ao desenvolvimento da estória científica (*scientific story*) e apropriação do ponto de vista da ciência escolar pelos estudantes. Mortimer e Scott (2003, p.18) usam o termo "estória científica" para designar o ponto de vista da ciência tornado acessível aos estudantes no espaço social da sala de aula. Os autores se baseiam na idéia de Ogborn e colaboradores (1996) de que a ciência escolar oferece uma abordagem dos fenômenos naturais que se expressa em termos de idéias e convenções próprias da linguagem desta ciência, de modo a compor uma espécie de roteiro, semelhante a uma estória.

O segundo aspecto relativo aos focos de ensino diz respeito ao conteúdo do discurso. Este aspecto foi pensado em termos do conceito de linguagem social de Bakhtin. As categorias que o compõem dizem respeito ao contato estabelecido entre a linguagem cotidiana e a linguagem científica ao longo do desenvolvimento da estória científica em sala de aula. Basicamente, se encontra estruturado em termos de três aspectos da linguagem social da ciência escolar: descrição, explicação e generalização (Mortimer e Scott, 2003, p. 30).

A descrição envolve enunciados que se referem a um sistema, a um objeto ou a um fenômeno em termos de seus constituintes ou dos deslocamentos espaço-temporais desses constituintes. O conteúdo do discurso da sala de aula se dirige para explicações, quando são importados modelos teóricos ou mecanismos para se referir a fenômenos ou sistemas específicos. Por sua vez, quando os enunciados se referem a descrições e explicações que são independentes de um contexto específico, o conteúdo da sala de aula se volta para a generalização.

Mortimer e Scott (2002; 2003) propõem ainda uma distinção adicional: as descrições, explicações e generalizações podem ser caracterizadas como empíricas ou teóricas, em função da natureza dos referentes aos quais se aplicam. Caso se apliquem a referentes (constituintes ou propriedades de um sistema ou objeto) diretamente observáveis, as descrições, explicações e generalizações podem ser caracterizadas como empíricas, por outro lado, serão consideradas teóricas, caso se apliquem a referentes que não são diretamente observáveis, mas que são criados por meio do discurso teórico da ciência.

A segunda dimensão em que se encontra organizada a estrutura analítica de Mortimer e Scott diz respeito a duas dimensões que caracterizam a comunicação docente com os estudantes: se há interação entre a professora e os estudantes e se a professora leva em conta as idéias dos estudantes na construção de significados em sala de aula. A resposta a estas questões define dois eixos a partir dos quais a abordagem comunicativa pode ser caracterizada: interativa – não-interativa e dialógica – de autoridade.

O primeiro eixo diz respeito às interações face-a-face na sala de aula: quando há alternância de turnos de fala, considera-se que há uma abordagem comunicativa interativa, caso contrário, o discurso é considerado não-interativo (Silva; Mortimer, 2005)

O segundo eixo diz respeito a duas situações extremas que podem ocorrer numa sala de aula de ciências. Na primeira delas, diferentes pontos de vista, diferentes vozes, são considerados, possibilitando uma interanimação[26] de idéias. Neste caso estabelece-se uma abordagem comunicativa dialógica. No outro extremo, apenas um ponto de vista é considerado na interação entre professor e estudante, normalmente o da ciência escolar. Este segundo tipo de interação dá lugar a uma abordagem comunicativa de autoridade, na qual o professor só considera o que o estudante tem a dizer caso se aproxime do ponto de vista do discurso da ciência escolar, não havendo, portanto, interanimação de idéias.

Esta distinção entre as abordagens comunicativas dialógica e de autoridade se encontram fundamentadas na distinção que Bakhtin (1981) estabelece entre *discurso de autoridade* e *discurso internamente persuasivo* e na noção de *dualismo funcional* dos textos de Lotman (1988), discutidas na seção anterior.

Coerente com a noção de diferentes tendências funcionais do texto de Lotman (1988), é preciso ter clareza que o discurso do professor, em geral, pode se localizar em diferentes pontos entre os dois extremos do eixo dialógico – de autoridade, cujas características podem se combinar em diferentes proporções em momentos distintos em uma mesma aula. De modo que determinar se um discurso é de autoridade ou dialógico é uma questão de determinar que características predominam em um determinado momento (Silva; Mortimer, 2005).

---

[26] Para tornar mais clara a distinção entre os dois eixos a partir dos quais a abordagem comunicativa pode ser caracterizada, é importante esclarecer a distinção entre os termos interação e interanimação. O termo interação diz respeito a qualquer tipo de troca de turnos de fala entre pessoas que estão participando de um evento comunicativo. O termo interanimação, por sua vez, é usado para designar o contato entre duas ou mais vozes, no sentido bakhtiniano, em que uma voz se apropria de expressões e idéias da outra voz de modo a implementar o ponto de vista que sustenta, de modo que idéias advindas de diferentes vozes alimentam umas às outras. Portanto, interação e interanimação, além de apresentarem significados distintos, são logicamente independentes. É possível existir interação sem implicar em interanimação: apesar de haver troca de turnos de fala, eles representam a mesma voz, ou vozes diferentes, mas que, no entanto, não são passíveis de se influenciar uma pela outra. Do mesmo modo, pode haver interanimação de idéias em um único turno de fala de um sujeito falante, portanto, sem implicar em interação.

Scott, Mortimer e Aguiar (2006) nos apresentam um conjunto de características chaves que distinguem estas duas abordagens, identificadas a partir da aplicação da ferramenta em diferentes contextos de ensino de ciências. Além da abertura a mais de um ponto de vista, a abordagem dialógica pode ser identificada pelo grau variável de interanimação de idéias, pela ausência de fronteiras claras entre conteúdos e pela abertura para mudança de direção do discurso a medida que novas idéias são introduzidas. De modo inverso, na abordagem comunicativa de autoridade, não há interanimação de idéias, a direção do discurso é pré-determinada, e são estabelecidas fronteiras claras entre os conteúdos. Estas características da abordagem comunicativa estão relacionadas às posturas assumidas por professor e estudantes ao longo das interações, como ficará mais claro, após a apresentação dos aspectos relativos às ações, terceira dimensão das interações discursivas em sala de aula que compõe a estrutura analítica.

Os autores também argumentam que o eixo da abordagem comunicativa dialógica – de autoridade não deve ser entendido em termos de uma dicotomia. Estas abordagens se relacionam dialeticamente de tal forma que a abordagem de autoridade contém a semente para a abordagem dialógica e vice-versa (Scott; Mortimer; Aguiar, 2006, p. 623). A abordagem comunicativa dialógica estabelecida no momento em que o professor explora as idéias dos estudantes, por exemplo, gera o contexto para que problemas sejam criados, o que por seu turno gera uma demanda para que estes sejam resolvidos através da introdução de idéias científicas, a partir de intervenções de autoridade da professora. Por sua vez, estes momentos geram a oportunidade para a futura exploração e aplicação dialógica destas novas idéias pelos estudantes.

Uma seqüência de interação discursiva pode ser considerada dialógica ou de autoridade, independente do fato de envolver a participação de mais de uma pessoa ou de apenas uma pessoa. Deste modo, temos quatro classes possíveis de abordagens comunicativas, como mostrado na figura a seguir: interativo dialógica, interativo de autoridade, não-interativo dialógico, não-interativo de autoridade.

Estas diferentes abordagens comunicativas são construídas através de alguns padrões de interação entre professor e estudantes. Mortimer e Scott (2002:2003) apresentam duas categorias mais comuns de padrões de interação: (1) o padrão triádico I-R-A (Mehan, 1979), que envolve tríades de iniciação do professor, resposta do aluno e avaliação do professor, e (2) as interações não-triádicas em cadeia, como, por exemplo, o padrão I-R-F-R-F... em que F corresponde a um *feedback* oferecido pelo professor para que o aluno elabore melhor sua

resposta, ou ainda o padrão I-R-P-R-P-R..., em que P corresponde a qualquer ação discursiva do professor que permita o prosseguimento da fala do aluno.

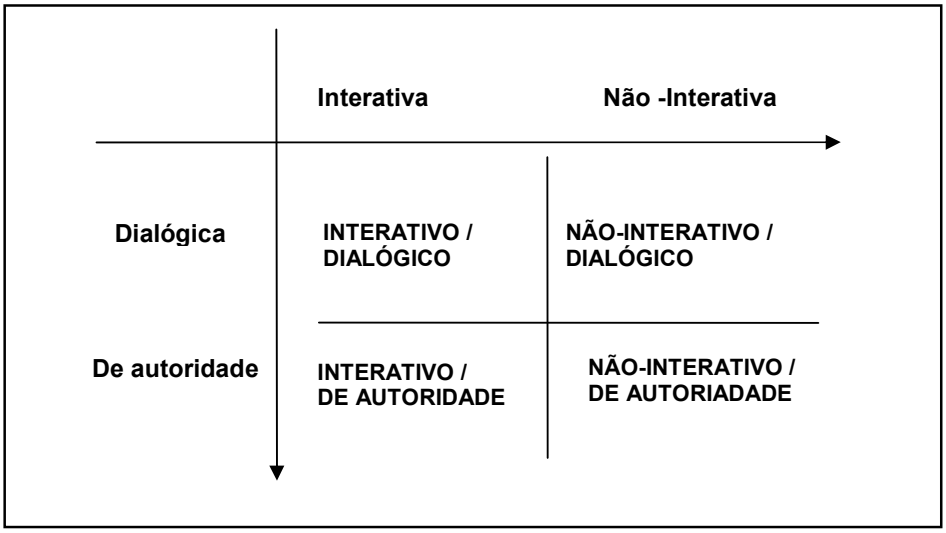


Figura 5: Quatro classes de abordagens comunicativas, segundo estrutura analítica de Mortimer e Scott. In: Amaral e Mortimer (2006, p.250)

Os padrões não-triádicos I-R-F e I-R-P podem constituir cadeias abertas quando não são finalizadas por uma avaliação, ou cadeias fechadas, quando são finalizadas por uma avaliação e/ou por uma síntese final, através da qual o professor produz um enunciado final para sintetizar os pontos principais ou o conteúdo do enunciado que foi produzido em uma seqüência de turnos de fala (Mortimer, et al. 2005).

Mortimer e colaboradores (2005) chamam atenção para a importância de termos em vista o tipo de iniciação ou questão formulada pelo professor, ou pelo estudante, uma vez que elas têm influência na natureza e duração das respostas, e no potencial de desencadear cadeias de interação em lugar de tríades I-R-A. Questões que demandam escolha – Os indivíduos numa população de tentilhões, eles são todos iguais? – por exemplo, tendem a gerar respostas curtas que são avaliadas prontamente pelo professor, dando origem a tríades I-R-A. De modo inverso, perguntas que demandam a explicação de um processo – Como se explica essa variação dentro de uma mesma população? – tendem a elicitar enunciados completos e a gerar cadeias de interação.

Estes autores propuseram uma expansão das categorias propostas na estrutura analítica original de Mortimer e Scott (2003) para permitir a produção de dados mais minuciosos, os quais, tratados com auxílio de softwares apropriados, podem vir a revelar padrões e/ou diferenças significativas entre salas de aula de ciências. Dentre as categorias que foram expandidas por esta proposta (Mortimer et. al. , 2005), consideramos útil adotarmos em nosso

estudo, os quatro tipos diferentes de iniciação, propostas com base no trabalho de Mehan (1974): (1) Iniciação de escolha – demanda ao respondente que concorde ou discorde com uma afirmação feita pelo perguntador; (2) iniciação de produto – demanda do respondente uma resposta factual, um nome, um lugar, uma data, uma cor; (3) iniciação de processo – demanda a opinião ou interpretação do respondente. No caso da sala de aula de ciências, correspondem normalmente às questões "Por que?", "Como se explica?", "Como acontece?" ou "O que ocorreu?", as quais demandam a descrição ou explicação de um processo ou cadeia de eventos; e (4) iniciação de metaprocesso – demanda dos estudantes que estabeleçam conexões entre iniciações e respostas, ou seja, os solicitam a formular as bases de seu pensamento.

O último aspecto da ferramenta que comentaremos são as intervenções do professor. Diz respeito às estratégias usadas pelo professor para orquestrar o discurso de modo a desenvolver a "estória científica" em sala de aula. Fundamenta-se no esquema proposto por Scott (1998) composto por seis intervenções pedagógicas: dar forma aos significados, selecionar significados, marcar significados chaves, compartilhar significados, checar entendimento dos estudantes e rever o progresso da "estória científica".

Essas ações docentes estão intimamente relacionadas com a abordagem comunicativa que se estabelece em sala de aula. Por exemplo, quando o professor assume uma postura neutra, a medida em que evita comentários avaliativos em relação às contribuições dos estudantes e permite que dêem prosseguimento sua fala, ele favorece que mais de um ponto de vista seja contemplado e, portanto, contribui para que se estabeleça uma abordagem comunicativa dialógica. No entanto, quando o professor seleciona significados ou marca significados chave, ao considerar em sua fala apenas a resposta de estudantes que mais se aproximam do ponto de vista da ciência escolar, e ignorar as demais respostas ou avaliá-las negativamente de forma sistemática, ele contribui para que apenas um ponto de vista seja contemplado, de modo que se estabelece uma abordagem comunicativa de autoridade.

4.4. Estrutura teórica para analisar explicações narrativas na sala de aula de ciências:

A construção de narrativas se mostrou uma estratégia enunciativa constantemente empregada pelos estudantes e pela professora na significação de explicações evolutivas para a diversidade orgânica, desde as primeiras análises que realizamos das interações discursivas ao longo da seqüência didática que investigamos. Deste modo, decidimos lançar mão de algum referencial teórico-metodológico que nos permitisse analisar esta estratégia de modo mais específico e sistemático.

Decidimos nos apoiar em elementos da estrutura teórica desenvolvida por Norris e colaboradores (2005) para identificar exemplos de explicações narrativas intrínsecas à ciência e avaliar propostas de uso dos mesmos no ensino de ciência. Esta estrutura analítica se organiza em torno de dois aspectos: os elementos que compõem uma narrativa e as características definidoras de uma explicação narrativa.

Os autores procuraram pontos consensuais encontrados em estudos teóricos sobre o discurso narrativo em áreas que tradicionalmente investigam o tema, como a literatura e a filosofia da história, e ainda trabalhos sobre a narrativa na ciência, e selecionaram oito elementos que caracterizam uma narrativa: narrador, receptor, eventos, tempo passado, agência, propósito, estrutura e apetite narrativo.

É consensual que o requisito básico para uma narrativa consiste em uma seqüência de eventos. É preciso, contudo, qualificar melhor as condições para que uma seqüência de eventos se constitua em narrativa. Tais eventos devem se referir a um mesmo objeto e devem estar relacionados uns com os outros de tal modo que, um evento anterior deve contribuir necessariamente para a ocorrência de um evento subseqüente no complexo de eventos. É central na narrativa a idéia de que os eventos levam à mudança de estado, de modo que uma seqüência de eventos delineia um processo de mudança em que um evento se transforma em outro.

Um aspecto destacado enfaticamente por Norris e colaboradores é o caráter retroativo da narrativa: entendemos o evento que inicia a série quando conhecemos o evento final, ou falando de outra maneira, o significado da narrativa é construído a medida que voltamos no tempo a partir de um efeito conhecido para entender suas causas (Cleland, 2002 apud Norris et.al. 2005, p. 539). Deste modo, eventos contingentes adquirem significado retrospectivamente, tendo em vista o que ocorreu na série.

O tempo também é considerado um elemento definidor da narrativa: é consensual que as narrativas dizem respeito ao passado. Os eventos de uma narrativa, imaginários ou não, ocorreram antes de serem narrados, e são únicos e irreprodutíveis. Veremos que este último aspecto relativo à singularidade é um dos elementos que restringe a legitimidade e a existência de explicações narrativas na ciência, restrita às chamadas ciências históricas.

A narrativa precisa de um narrador que transforma uma mera seqüência de eventos em uma unidade com significado. Para tanto o narrador deve exercer os seguintes papéis: estabelecer o ponto de chegada e o propósito da história a ser contada; escolher os eventos que ele percebe como aqueles que levam ao desenvolvimento do ponto de chegada e ao objetivo predeterminado; escolher a seqüência dos eventos a serem contados. Para tanto, é

preciso que ele conheça o que ocorreu. Um esforço extra do narrador é usar estratégias para manter o engajamento do receptor para com a narrativa. É preciso que a forma como a narrativa é construída desperte o desejo do receptor em querer saber mais acerca do que aconteceu, ou seja, que ele mantenha um "apetite narrativo" (Lodge, 1986).

Um elemento da narrativa que é muito importante em nossa análise é a agência. Segundo a revisão realizada por Norris e colaboradores (2005), não é consensual entre os analistas deste gênero textual a exigência de que a narrativa tenha agentes ou personagens, ou seja, de que eles sejam um elemento essencial na narrativa. Alguns autores a exemplo de Bruner retratam a narrativa como o gênero que lida com as vicissitudes das intenções humanas, e consideram, portanto, a existência de personagens sua marca. Para Polkinghorne, uma narrativa é construída para ligar ações humanas e eventos que afetam os seres humanos, e não para descrever a relação entre objetos inanimados. Alguns autores, por outro lado, defendem o requisito da agência de atores que causam ou vivenciam os eventos ocorridos, mas deixam claro que estes atores não precisam ser necessariamente humanos. Entre estes, Albbot (2002) defende que os atores podem ser substituídos por entidades. Tendo em vista as narrativas relativas à ocorrência de fenômenos naturais, a exemplo da "história de um átomo" ou a evolução de um sistema planetário, o autor argumenta a inadequação de continuarmos designando os agentes de personagens. Albbot (2002) propôs que nos detivéssemos, por exemplo, em uma narrativa que contasse a história de um planeta sendo desviado de sua órbita por um imenso asteróide. Neste caso, dado que o planeta e o asteróide são entidades inanimadas, incapazes de uma ação voluntária, não é apropriado falarmos em personagens.

A este respeito Norris e colaboradores (2005), colocam que é fundamental investigar se narrativas como estas propostas por Albbot, ou ainda àquela que narra a história de um átomo de carbono proposta por Levi (1984), apresentam o mesmo efeito narrativo na memória, interesse e compreensão, que as narrativas em que a agência têm um papel essencial. Para os autores esta é uma questão crucial para a pesquisa sobre o uso de narrativas explicativas no ensino de ciências, uma vez que a maioria dos textos produzidos com esta intenção, ou neste contexto, deverão apresentar uma agência semelhante a proposta por Albbot (2002), e/ou se constituir em textos híbridos, compostos por gêneros narrativos e não narrativos.

Norris e colaboradores (2005) deixam claro que estes oito elementos não constituem uma lista de condições necessárias e suficientes para uma narrativa. Antes, servem de parâmetro para avaliarmos em que extensão ou grau, um ato verbal é uma narrativa, uma vez que apresente estes elementos.

Para nosso estudo, a descrição destes elementos nos auxiliará no exame da construção de narrativas por estudantes e pela professora, no que diz respeito à participação destes atores no papel de narrador. Será possível, também, identificarmos possíveis mudanças nas narrativas elaboradas ao longo dos episódios de ensino analisados no capítulo V, no que diz respeito à estrutura da seqüência de eventos narrados e no tipo de agência.

A segunda dimensão da estrutura teórica desenvolvida por Norris e colaboradores (2005) é resultante do enfrentamento de uma questão polêmica e inevitável para a análise do uso de narrativas explanatórias no ensino de ciências: Existem explicações narrativas no âmbito da ciência? Ou dito de outra forma: As explicações narrativas tem legitimidade na ciência?

Os autores enfrentam esta questão analisando as críticas à supremacia do modelo dedutivo-nomológico proposto por Hempel e Oppenheim (1948) na causalidade das ciências naturais. De acordo com este modelo, explicações causais para um fenômeno particular são possíveis quando regularidades empíricas, na forma de uma lei geral, conectarem a ocorrência deste fenômeno com um conjunto particular de condições antecedentes. A partir da década de 1960, vários autores, entre eles o próprio Hempel (1966), começaram a reconhecer que o conceito de explicação científica precisava ser expandido, sob o argumento de que, caso contrário, grande parte das discussões modernas seriam consideradas fora do domínio das explicações consideradas legítimas (Rescher, 1962 apud Norris et al., 2005). Em decorrência desta crítica, foram propostos e analisados outros tipos de explicação científica, a exemplo da explicação estatística (Hempel, 1966), a explicação funcional (Nagel, 1961), e a explicação pragmática (van Fraassen, 1980).

Segundo a análise de Norris e colaboradores (2005), dentre as críticas realizadas ao modelo dedutivo-nomológico, encontra-se a defesa de historiadores acerca da legitimidade de uma explicação genética ou narrativa a qual relata a história que conduz a explicação de um evento. No campo das ciências naturais, autores como Goudge, Roque e Cleland, argumentam que existem campos do conhecimento cujo interesse se volta para a explicação de eventos particulares, únicos e não recorrentes, para os quais o modelo dedutivo-nomológico não é aplicável. As perguntas germinais que levam a avanços no conhecimento das designadas ciências históricas, a exemplo da paleontologia, arqueologia, geologia, astronomia e a biologia evolutiva, são aquelas que dizem respeito a eventos particulares, a exemplo de: “Como foi formada a lua, o satélite terrestre?” “Porque os neandertais que viveram na região que hoje equivale a Espanha se tornaram extintos?” “Como as dolomitas italianas se formaram?” “Como morreram os dinossauros cujos registros fósseis foram encontrados em

Alberta?" (Norris et. al. 2005, p. 552). Para responder a estas questões, tornando inteligíveis os fenômenos particulares aos quais se referem, é preciso detalhar uma série de eventos particulares, contingentes e casualmente ligados em uma seqüência inteligível de eventos. Em síntese, é preciso construir uma narrativa coerente e conectada.

Ao longo do enfrentamento da questão da legitimidade da explicação narrativa na ciência, Norris e colaboradores (2005) levantaram uma série de requisitos e características da explicação narrativa, a qual, naturalmente, deve apresentar elementos tanto da narrativa como da explicação. Segundo o sumário proposto pelos autores (Norris, et. al., 2005, p. 550), a explicação narrativa apresenta as seguintes características: explica um evento a partir da narrativa de eventos que levam à sua ocorrência; cita eventos únicos como a explicação para outros eventos; dispõe alguns eventos como causa de outros; busca unificação (mas não apresenta conexões dedutivas) ao mostrar como o evento a ser explicado é constituído de uma série inteligível de eventos; raramente sustentam predições, mas ao contrário, se apóiam na retroação para indicar como o presente é uma conseqüência do passado.

Esta caracterização nos ajudará a identificar e avaliar o uso de narrativas no discurso da sala de aula para explicar fenômenos relativos a diversificação e adaptação da forma orgânica.

4.5. Análise Microgenética: uma abordagem metodológica inscrita na matriz histórico-cultural de interpretar processos humanos.

Nossa abordagem metodológica para investigar os processos de significação das explicações darwinistas ao longo das interações discursivas em sala de aula é a análise microgenética. Segundo Mortimer (2000b), a análise microgenética tem sido uma importante ferramenta nos estudos dos processos de aprendizagem na tradição sócio-cultural. Ela é definida por Wertsch e Hickman (1987) como uma abordagem metodológica que envolve o acompanhamento minucioso da formação de um processo psicológico, em que são detalhadas as ações dos sujeitos e as relações interpessoais dentro de um curto espaço de tempo. Segundo Wertsch (1985, p.55), este tipo de análise pode ser concebida como um "estudo longitudinal de curto-prazo", que permite identificar transições genéticas, entre elas a passagem do funcionamento intersubjetivo para o intra-subjetivo.

Góes (2000) apresenta uma análise crítica da definição proposta por Wertsch e Hickman, com o intuito de tornar clara a distinção entre a análise microgenética vinculada à matriz histórico-cultural e outras abordagens analíticas que se baseiam em detalhes, a exemplo da abordagem microetnográfica. Segundo a análise desta autora, a definição acima

prioriza como indicações criteriais, a transição genética e a questão da curta duração dos eventos estudados. Góes argumenta que o critério de curta duração não constitui um critério em si e por si, ele é decorrente da necessidade de serem feitos recortes que permitam o exame de minúcias indiciais, e é neste sentido que a análise é *micro*. Quanto ao primeiro critério citado, a autora o considera um "apontamento apropriado", uma vez que a relação entre os processos inter-subjetivos e intra-subjetivos é fundamental para a matriz sócio-cultural, e devem, portanto, constituir-se em um esforço de investigação. No entanto, Góes (2000, p. 15) argumenta que a transição genética não é "um critério diferencial suficiente do plano da microgênese", uma vez que há mais de uma visão genética dos processos humanos, e neste caso, é preciso distinguir um enfoque psicogenético de um enfoque sociogenético, por exemplo. A análise microgenética ao se vincular a matriz sócio-cultural, é sociogenética, e deve busca "relacionar eventos singulares com outros planos da cultura, das práticas sociais, dos discursos circulantes, das esferas institucionais".

Ao fazer estas ressalvas, Góes conclui que a definição proposta por Wertsch (Werstch, 1985 e Wertsch; Hickman, 1987) não salienta, deixando subtendido, o vínculo fundamental da análise microgenética com o exame das dimensões semiótica, histórica e cultural, dimensões das quais o próprio Wertsch não descuida em sua obra.

Em seguida, Góes faz uma breve análise dos estudos que têm sido realizados no Brasil tendo como referência esta definição proposta por Wertsch (1985), e recorre a Rojo (1997) para argumentar que o uso da análise microgenética para investigações de processos interativos tem seguido três diferentes vertentes: (1) cognitivista – focaliza o plano intrapessoal durante eventos interativos –, (2) interacionista – examina as relações interpessoais como condição para a formação do funcionamento intrapessoal –, (3) e enunciativa-discursiva – não dissocia interação, discurso e conhecimento. A autora se posiciona em relação a estas três vertentes, ao considerar que a terceira apresenta maior congruência com a matriz sócio-cultural, tendo em vista seu caráter promissor no que diz respeito ao estabelecimento de relações do funcionamento de sujeitos com eventos interativos e práticas sociais.

As pesquisas que recorrem à teoria da enunciação de Bakhtin (1986) para compor o estudo da microgênese da formação de sujeitos nas relações sociais, e que têm a atenção dirigida à construção de conhecimento em espaços educativos, como aqueles realizados por Smolka (1997), Rojo (2001) e por Mortimer e colaboradores (Mortimer; Machado, 1997; 2001), são identificados por Góes (2000, p. 17) como vinculados à perspectiva enunciativa-discursiva. Para a autora estas pesquisas apresentam as seguintes características: examinam

os processos do ponto de vista do fluxo das enunciações; destacam as práticas sociais, levando em conta a posição de poder dos sujeitos, as imagens dos interlocutores e os gêneros discursivos; dão ênfase a dimensão semiótica e intersubjetiva dos acontecimentos; e ao caráter mais compreensivo-interpretativo das discussões.

Em nosso estudo buscamos adotar uma abordagem microgenética que segue a vertente enunciativa, tal como descrita por Rojo (2001) e Góes (2000). Procuramos aplicar o perfil conceitual de adaptação, de modo integrado à estrutura analítica de Mortimer e Scott (2002; 2003) para estudar de forma minuciosa, os processos de significação do ponto de vista da ciência escolar, momento a momento, ao longo do fluxo de enunciação entre professora e estudantes, em uma sala de biologia do ensino médio, no contexto do ensino da teoria darwinista de evolução.

Como observa Mortimer (2000b), uma questão crucial para aplicação deste tipo de análise consiste na escala do fenômeno a ser analisado. Nossa unidade de análise consiste em episódios de ensino e aprendizagem, definidos como um conjunto de enunciados que criam o contexto para a emergência de um ou mais significados relacionados à aprendizagem de um determinado conceito ou aspecto importante do conceito (Amaral; Mortimer, 2006).

4.6. Procedimentos metodológicos para produção de episódios de ensino, nossa unidade de análise:

Os estudos da dinâmica discursiva em sala de aula demandam a coleta de material empírico na forma de registros de observação em vídeo. Esta necessidade levanta algumas questões teórico-metodológicas a serem enfrentadas pela pesquisa na educação científica que, adotando uma perspectiva sociocultural, se debruça na análise do processo de negociação de significado nas interações sociais da sala de aula. Destacaremos aqui duas das questões identificadas por Martins (2006): a natureza dos dados e a construção dos dados a partir do registro em vídeo.

Martins argumenta que a gravação em vídeo de situações de sala de aula, não pode ser vista como um registro fiel das interações observadas, mas sim reveladora de um olhar, e não como os dados em si, mas como uma etapa na construção dos mesmos. Estes últimos são construções resultantes da interação entre investigadores e os cenários teóricos e empíricos de pesquisa, não podendo, portanto, ser acessados objetivamente, de forma independente do observador. A autora faz uma ressalva de maneira a deixar claro que não se trata de uma defesa idealista, não se trata de dizer que as interações observadas não possuem características particulares, externas à subjetividade do pesquisador. A intenção de Martins é argumentar que não podemos perder de vista que o processo de construção de dados a partir do registro de

observação é um processo em si de produção de sentido, o qual demanda a explicitação dos interesses do pesquisador desde o momento da formulação das perguntas de pesquisa até as fases finais da apresentação dos resultados.

Foi justamente por compartilhar com a posição expressa por Martins que usei a expressão "*produção de episódios de ensino*" para designar esta seção. O registro em vídeo de interações em situações de sala de aula é meramente um material empírico que só se constitui em dados quando o investigador promove o diálogo deste material com seus interesses e focos de estudo e com os cenários teórico e empírico da pesquisa.

Nas seções anteriores deste capítulo buscamos deixar claro o cenário teórico da pesquisa que orientam nosso olhar para as interações discursivas da sala de aula. Nesta seção pretendemos apresentar como estes aspectos e o cenário empírico da pesquisa dialogaram com os registros obtidos em vídeo desde a etapa da organização dos dados, transcrição do material gravado, até à delimitação e seleção de episódios para análise.

O cenário empírico da pesquisa, e nossa relação com o mesmo, será apresentado de forma mais detalhada no capítulo V, quando descreveremos o contexto em que a seqüência didática investigada foi elaborada e aplicada. Neste momento, nos limitaremos a informar que foram realizados registros em vídeo em uma seqüência de aulas sobre a teoria da evolução por seleção natural com uma turma de estudantes do ensino médio de uma escola pública[27]. Foi gravado um total de cinco horas e trinta minutos de interações discursivas em sala de aula. Foram obtidos registros de imagem e áudio a partir de duas câmaras, uma câmara fixa posicionada a frente da turma, no canto direito, conforme ilustrado na representação do espaço físico da sala de aula (Figura 6), e outra câmara posicionada ao fundo e no meio da sala. Esta segunda câmara era operada pela pesquisadora, de modo a captar imagens da professora e de alguns dos estudantes a medida que participavam das interações discursivas.

A primeira aproximação com estes registros de vídeo foi realizada através da confecção de mapas de eventos, ou mais especificamente, mapas de atividades, uma estratégia sugerida pela etnografia interacional (Gee; Green, 1998; Amaral, 2004; Amaral; Mortimer, 2006).

[27] Esta seqüência de aulas é distinta da seqüência de aulas de onde foram retirados dados para a primeira etapa da pesquisa de constituição das zonas de perfil conceitual, tanto no que diz respeito à organização didática dos temas abordados, quanto à comunidade escolar na qual foi desenvolvida. Trata-se de uma turma do terceiro ano da formação geral de uma escola pública do município de Feira de Santana, do turno noturno.

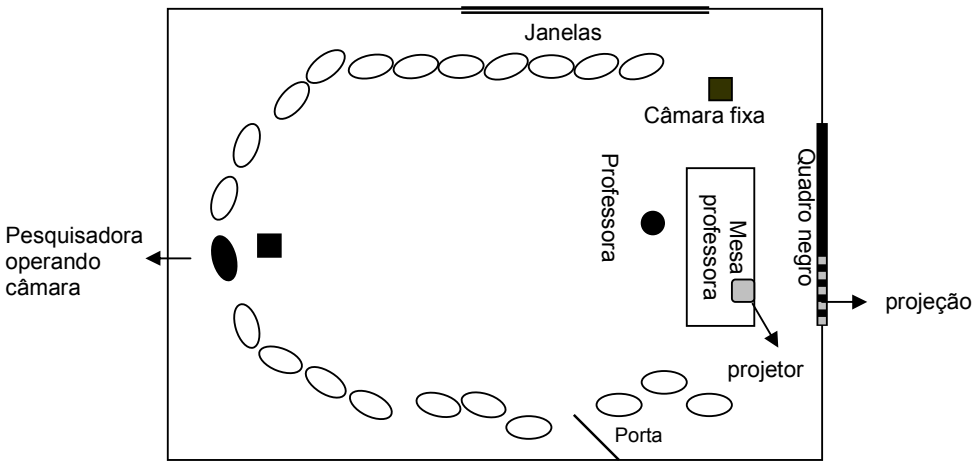


Figura 6: Organização espacial e social da sala de aula, durante a seqüência de aula do ensino médio analisada, e o posicionamento das câmaras de vídeo.

Segundo Amaral e Mortimer (Amaral, 2004; Amaral e Mortimer, 2006), a etnografia interacional pode ser considerada uma abordagem etnográfica dos processos coletivos de aprendizagem que combina análise de discurso e etnografia. Procura-se investigar como são constituídas as oportunidades de aprendizagem para os diferentes estudantes ao longo das interações verbais e não-verbais entre os participantes. Este processo demanda o entendimento de como a vida na sala de aula é construída discursivamente (Castanheira, 2004). Portanto, é preciso que a dinâmica da vida social da sala de aula possa ser caracterizada, o que no entendimento da etnografia interacional, pode ser obtido a partir de estratégias de organização de dados em níveis múltiplos (Amaral; Mortimer, 2006), a exemplo da elaboração de mapas de eventos que identificam e mapeiam as ações das pessoas através de tempos e atividades.

Em nosso estudo, adotamos a metodologia proposta por Amaral e Mortimer (Amaral, 2004; Amaral; Mortimer, 2006) para a confecção de mapas desta natureza, designados mapas de atividades por estes autores. Para cada uma das aulas, confeccionamos um mapa em que dispusemos em uma coluna o tempo gasto em cada uma das atividades realizadas, as quais foram especificadas na segunda coluna. Desse modo foi possível estimar a relevância que cada atividade tem no contexto de cada aula, e avaliar que tipo de abordagem das idéias em sala de aula é privilegiado. Na terceira coluna foram dispostos os temas centrais discutidos nos diferentes segmentos da aula. E na quarta coluna foram relacionadas às ações dos

professores e dos estudantes ao longo das atividades. Reservamos ainda uma quinta coluna para fazer comentários gerais sobre engajamento dos estudantes nas atividades (ver Figura 7 e 8). A ordenação dos itens em cada coluna obedeceu, de um modo geral, a uma ordem cronológica dos acontecimentos ao longo da aula.

Tempo	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
2min	Introdução à aula: esclarecimentos sobre a presença da Câmara e participação na pesquisa			Estudantes fazem comentários sobre a presença da câmara.
5 min	Exploração das idéias dos alunos acerca do termo "evolução" * **Possível EPISÓDIO 1.1**: *Evolução é transformar* (03:17 a 07:30)	Significado do termo evolução no contexto da Biologia	Professora faz questões aos estudantes. Estudantes interagem respondendo às questões da professora.	
4 min	Exploração das idéias dos estudantes sobre a origem da diversidade da vida. * **Possível EPISÓDIO 1.2**: *Cada ser se adapta a cada ambiente* (07:30 a 11:00)	Explicações para origem da biodiversidade.		
4 min	Orientações para a atividade em pequenos grupos	Introdução à história do pensamento evolutivo.		Estudantes ficam um pouco de receio de serem filmados nos pequenos grupos. Outros, no entanto, reclamam porque não estão sendo filmados. O grupo escolhido era composto pelos estudante 1, 2 e 8. Foi dado muito pouco tempo para os estudantes fazerem a atividade.
12:30 min	Leitura dos textos dentro dos pequenos grupos	Implicações e aplicações do pensamento evolutivo Darwinista.	Estudantes passam bom tempo lendo o texto, para depois discutir. (12 minutos lendo). A professora vai aos grupos dá orientações sobre a atividade, mostrando as questões que acompanham o texto.	
6min	Discussão das questões em pequenos grupos * **Possível EPISÓDIO 1.3**: Discussão pequeno grupo (28:23 – 30:26; 00:00-03:00)	*Grupo analisado: Origem do HIV e dificuldades para produção de vacina		

Figura 7: Esboço de mapa de atividade referente a primeira aula. Na segunda coluna podemos observar as indicações de trechos que poderiam se constituir em unidades de análises (episódios de ensino).

Os mapas de atividades foram elaborados à medida que os registros em vídeo das aulas eram assistidos. Além das informações obtidas com a observação da gravação em vídeo, as observações feitas durantes as aulas e registradas em caderno de campo ajudaram a compor os mapas. Para cada aula, foi confeccionado um primeiro esboço do mapa em que foram registrados o tempo de cada atividade, o tema e as ações dos participantes, e indicados os trechos da aula que poderiam vir a se constituir em episódios de ensino para análise, segundo nossos critérios de seleção e delimitação de episódios. Para cada um destes trechos foram realizadas transcrições detalhadas das interações discursivas entre professores e alunos ocorridas neste momento da aula. Após análise criteriosa do material transcrito, foram definidos e delimitados os episódios de análise, e então, reformulado o mapa de atividade definitivo, indicando-se exatamente o momento da aula em que ocorreu o episódio de ensino a ser analisado.

Na Figura 7 mostramos o primeiro esboço do mapa de atividade referente à primeira aula da seqüência didática pesquisada, no qual aparecem as marcações de trechos que no primeiro exame dos registros em vídeo foram considerados "candidatos" a episódios de ensino. Na Figura 8 apresentamos um segmento do mapa de atividade definitivo desta mesma aula, no qual é indicado, na primeira coluna, o momento da aula em que foi produzido o único episódio de ensino selecionado para análise, após exame criterioso das transcrições das seqüências de turnos de fala referentes aos trechos indicados no primeiro mapa de atividade.

Tempo	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
2 min	Introdução à aula: esclarecimentos sobre a presença da Câmara e participação na pesquisa			Estudantes fazem comentários sobre a presença da câmara.
5 min	Exploração das idéias dos alunos acerca do termo "evolução"	Significado do termo evolução no contexto da Biologia	Professora faz questões aos estudantes. Estudantes interagem respondendo às questões da professora	
4 min (3:30 min)	Exploração das idéias dos estudantes sobre a origem da diversidade da vida. **EPISÓDIO 11**: *Cada ser se adapta a cada ambiente.*	Explicações para origem da biodiversidade.	Professora faz questões aos estudantes. Estudantes interagem respondendo às questões da professora	
4 min	Orientações para a atividade em pequenos grupos			
18:30 min	Leitura e discussão dos textos dentro dos pequenos grupos	Introdução à história do pensamento evolutivo. Implicações e aplicações do pensamento evolutivo Darwinista.	Estudantes passam bom tempo lendo o texto (12 min), para depois discutir. A professora vai aos grupos dá orientações sobre a atividade, mostrando as questões que acompanham o texto.	Estudantes ficam com um pouco de receio de serem filmados nos pequenos grupos. Outros, no entanto, reclamam porque não estão sendo filmados.

Figura 8: Segmento do mapa de atividade definitivo referente à primeira aula. Podemos observar que, dentre os três trechos da aula indicados como momentos de interações discursivas que poderiam gerar unidades de análise no mapa da figura 3, apenas um deles foi selecionado e delimitado como episódio de ensino a ser analisado.

A construção do mapa de atividades, além de cumprir esta função inicial de orientar a localização de unidades de análise no material empírico contido nos registros em vídeo, permitindo a produção de dados, desempenha outros papéis ao longo da pesquisa. Os mapas de atividade são úteis para a contextualização dos episódios na cadeia de ações e atividades estabelecidas no espaço social da sala de aula, e na cadeia maior de enunciados aí produzidos, de onde foram retirados. Como poderá ser observado no capítulo seguinte, a partir dos dados dispostos no mapa é possível realizarmos uma caracterização tanto do momento em que o episódio é produzido, quanto do momento precedente, no que diz respeito ao conteúdo do

discurso da sala de aula e ao contexto pedagógico a que se refere. Acreditamos, portanto, que a confecção dos mapas de atividade contribui para aumentar o grau de generalização dos resultados da pesquisa, uma vez que constituem uma estrutura básica para a comparação de dados no interior da seqüência de aula, e entre diferentes seqüências didáticas.

As transcrições das interações discursivas foram realizadas utilizando-se um código de sinais que expressam pausas e entonações nas falas dos participantes. Sempre que foi considerado relevante, foram acrescidas observações, entre parênteses, a respeito de gestos e outros dados não-verbais, a exemplo de referências a ilustrações e materiais didáticos que tiveram importante papel na interação. Os episódios foram organizados na forma de seqüências de turnos de fala. Para garantir o anonimato dos sujeitos participantes da pesquisa, foram atribuídos números aos estudantes para designá-los, "estudante 1", "estudante 2" , e assim por diante.

Foram selecionados episódios que tratavam da significação do conceito de adaptação e/ou de modelos explicativos para as mudanças adaptativas, de modo a dar uma idéia de como essa significação ocorreu ao longo de toda a seqüência. A delimitação dos episódios, ou seja, o corte na seqüência de turnos que os compunham, foi realizada tendo em vista as mudanças de conteúdo do discurso e as estratégias enunciativas da professora. Para tornar mais inteligíveis estes dois últimos critérios de corte, reportaremos ao recorte dado no conjunto de 77 turnos de fala que deu origem aos episódios 3.1 e 3.2, analisados no capítulo seguinte (ver páginas 266 e 271). Entre os turnos de fala 1 e 46, o discurso da sala de aula esteve focado na descrição e na explicação empírica e teórica de um fenômeno, qual seja, a mudança de composição fenotípica de uma população fictícia de pássaros. No turno 46, no entanto, a professora realizou uma estratégia enunciativa com o intuito de mudar a direção do discurso para o conteúdo de generalização, ao solicitar aos estudantes que relacionassem o referido fenômeno com o conceito darwinista de adaptação. Em função desta mudança no conteúdo do discurso, foram recortados dois episódios: "*O bico tem uma relação com o tipo de alimento: os bicos menores não conseguiam pegar sementes maiores"* – turnos de fala 1 a 46 – e o *"A gente pode relacionar a adaptação com a permanência desta característica vantajosa para população* – turnos de fala 46 a 77.

CAPÍTULO V:

Aplicação do perfil conceitual de adaptação na análise do discurso de uma sala de aula do ensino médio.

Neste capítulo, apresentaremos uma análise de episódios de ensino retirados de uma seqüência didática de ensino de evolução, na qual empregamos a caracterização das zonas do perfil conceitual de adaptação de modo integrado à estrutura analítica do discurso desenvolvida por Mortimer e Scott (2002, 2003). O perfil conceitual foi empregado para modelar a significação de explicações darwinistas para a diversificação da forma orgânica, no contexto do ensino médio de biologia. Pretendemos através dessa análise avaliar em que medida este modelo de perfil de adaptação nos auxilia na caracterização da interanimação de formas de pensar e modos de falar sobre a origem e diversidade das espécies ao longo de interações discursivas em sala de aula.

Os episódios de ensino foram retirados de uma única seqüência didática para o ensino da teoria da evolução por seleção natural, aplicada a uma turma do terceiro ano do ensino médio de uma escola da rede pública de ensino do Estado da Bahia. A seguir, faremos uma caracterização do contexto no qual esta seqüência didática foi desenvolvida e aplicada. Após esta caracterização, apresentaremos os episódios de ensino selecionados na forma de um conjunto de turnos de fala, assim como a análise discursiva de cada um deles. Ao longo desta análise, destacaremos o papel desempenhado pelo perfil conceitual de adaptação na modelagem da dimensão cognitiva do discurso.

5.1.Contexto pedagógico

A instituição de ensino onde se deu a pesquisa se localiza na cidade de Feira de Santana, um município do interior da Bahia, que dista 108 Km da capital, Salvador. Feira de Santana é a segunda cidade mais populosa do estado, com cerca de 580.000 habitantes, e se situa num dos principais entroncamentos rodoviários do Nordeste brasileiro.

Com cerca de três mil alunos, a instituição funciona nos três turnos, oferecendo os cursos de Formação Geral, Ensino Médio, Ensino Fundamental, 2º ciclo (6ª a 9ª séries) e também a Educação de Jovens e Adultos (EJA). Constitui um dos maiores estabelecimentos de ensino público estadual da cidade de Feira de Santana, sendo uma instituição importante na história social e educacional do município (Reis, 2005). Foi o primeiro instituto de educação fundado no estado da Bahia para a formação de professores para o magistério de 1° grau, tem serviu de modelo de currículo e planejamento para outras instituições no município e cidades

circunvizinhas, desde sua fundação em 1927. A história desta instituição, portanto, é fundamentalmente, ligada à história da carreira profissional da professora primaria no Estado da Bahia, desde a sua ascensão até a proletarização e perda de prestígio social (Santos, 1989; Cruz, 2000; Reis, 2005). Na década de 1990, passou a oferecer o curso de formação geral, e diminui a oferta de vagas para o magistério. Essa mudança levou ao crescimento da heterogeneidade de gênero, cultural, social, econômica e religiosa do alunado que participa atualmente dessa comunidade escolar (Reis, 2005, p. 34).

A turma investigada era da 3ª série do ensino médio regular, do turno noturno, e tinha em média 22 alunos freqüentando regularmente as aulas, 16 do sexo feminino e 6 do sexo masculino, com faixa etária entre 17 a 23 anos. Estes estudantes buscam a escola para obter maiores chances de inserção no mercado de trabalho, e a maioria já exerce atividade no comércio da cidade durante o dia. Pertencem a um grupo social e geração cujos pais não tiveram acesso ao ensino formal. O principal meio de acesso às informações é a televisão, não possuem o hábito da leitura, e muitos deles têm formação religiosa evangélica.

Na visão da professora que participou da pesquisa, o número reduzido de estudantes é justificado pela grande evasão que freqüentemente ocorre na escola pública noturna. Entre as dificuldades enfrentadas pelo ensino noturno, em relação às demais modalidades, a docente destaca: a sobrecarga e o cansaço de alunos e professores, devido às suas atividades diárias, a escassez de tempo para realização de atividades extra classe, a falta de investimento e redução do tempo das aulas, fatores que comprometem, freqüentemente, o desenvolvimento satisfatório das atividades.

A professora responsável pelas aulas ministradas tem mais de 10 anos de experiência e é muito respeitada e admirada pelos estudantes em função da qualidade do seu trabalho pedagógico. Apresenta um papel bastante atuante na comunidade escolar como um todo, tendo assumido por diversas vezes papéis ligados mais diretamente à gestão escolar, como a de articuladora de área, responsável por mobilizar e coordenar os colegas do ensino de biologia, química e física para a elaboração coletiva do planejamento pedagógico.

Além do trabalho na escola, exerce o cargo de bióloga numa universidade estadual, trabalhando em projetos educativos de extensão ligados a um laboratório de pesquisa em entomologia, e orientando a realização de monografias por alunos de um curso de especialização em educação ambiental e da licenciatura em ciências biológicas.

Um aspecto notável de seu trabalho pedagógico no ensino médio é o empenho em realizar integralmente os objetivos planejados para cada aula, evitando que assuntos fiquem pendentes, para serem tratados em aulas posteriores. Esta atitude está relaciona a uma postura

política desta professora, a saber, de não deixar de cumprir o programa da disciplina que foi acordado no projeto político pedagógico da escola, o que, para ela, é uma condição para manter a qualidade de ensino em meio às adversidades que caracterizam o ensino noturno. Em suas aulas, ela procura tanto explorar as idéias dos estudantes como alcançar seu objetivo de ensino, de promover o entendimento da ciência escolar.

A professora mantém um relacionamento muito próximo com a pesquisadora, em decorrência de ter sido orientada por ela na realização de uma pesquisa para obtenção do título de especialista em Educação Ambiental para a Sustentabilidade, no período entre 2004 e 2005, além de realizar diversas atividades profissionais em colaboração com a pesquisadora, a exemplo da co-orientação de alunos de um curso licenciatura em ciências biológica na realização de seus estágios curriculares na escola básica (estágio supervisionado). Atualmente, ambas participam de uma comunidade de prática, a ComPratica, a qual reúne pesquisadores, pós-graduandos e graduandos ligados ao Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências (IB-UFBA) e professores de biologia em serviço e em formação inicial, e foi planejada de modo a promover a construção de projetos de pesquisa-ação situados na sala de aula e de curto termo (El-Hani; Greca, 2009). A interação entre os participantes desta comunidade deu origem a um projeto que visa à construção e ao teste de seqüências didáticas que tratem de conteúdos trabalhados no ensino médio de biologia, no contexto de pesquisa-ação conduzida na sala de aula, o qual conta com o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB). A participação neste projeto é mais uma das atividades profissionais em que a professora e a pesquisadora estão envolvidas e trabalham em colaboração.

Estes fatores favoreceram a participação da professora na pesquisa e a elaboração coletiva e dialogada da seqüência didática, realizada através de reuniões semanais ao longo de um período de seis meses. O planejamento da seqüência didática foi fruto, portanto, de um diálogo entre os objetivos de investigação da pesquisadora e as preocupações pedagógicas da professora.

A partir deste diálogo, foram definidos três eixos orientadores: (1) o desenvolvimento de estratégias que diminuíssem as rejeições *a priori* ao ensino de evolução, decorrentes do fato de ser visto como uma ameaça à visão de mundo de grupos culturais aos quais pertencem muitos estudantes, a exemplo das Igrejas evangélicas; (2) a implementação de uma abordagem que tornasse o ensino de evolução significativo do ponto de vista da aplicação deste conhecimento em situações do cotidiano, ligadas à cidadania; (3) a promoção da

compreensão da teoria da seleção natural através da significação do conceito darwinista de adaptação (Sepúlveda; Reis; El-Hani, 2009; Reis; Sepúlveda; El-Hani, 2010).

A seqüência didática foi estruturada em quatro momentos: (1) introdução ao pensamento evolutivo, suas implicações para o pensamento ocidental e aplicações sociais; (2) construção do problema da diversificação da forma orgânica e introdução dos princípios que estruturam a teoria da seleção natural; (3) Apresentação formal da teoria darwinista da evolução: descendência comum, seleção natural e conceito de adaptação, e especiação; (4) Aplicação da teoria da seleção natural na interpretação de problemas sócio-científicos.

Estes momentos foram organizados em torno de uma seqüência de sete encontros com periodicidade semanal de 60 minutos cada. Foi gravado um total de cinco horas e trinta minutos de interações discursivas.

5.2. Análise dos Episódios

Foram selecionados episódios das sete aulas especificados no quadro 6, de modo que, em conjunto, pudessem narrar o desenvolvimento da "estória científica" em sala de aula. Nas seções seguintes, apresentaremos a análise dos treze episódios selecionados, situando-os no contexto das atividades desenvolvidas durante a aula em que foram produzidos, conforme disposto no Quadro 6.

Procuramos interpretar os episódios no que diz respeito: (1) às intenções da professora e ao conteúdo do discurso; (2) à abordagem comunicativa e aos padrões de interação; (3) às formas de pensar e modos de falar sobre a diversidade orgânica que se interanimam ao longo das interações discursivas; (4) às perspectivas de significar o conceito de adaptação – as zonas do perfil de adaptação – que estão sendo negociadas; (5) às linguagens sociais que são empregadas (cotidiana e da ciência escolar).

AULA 1: Introdução ao pensamento evolutivo

No primeiro momento desta aula, a professora teve a intenção de explorar as idéias dos estudantes acerca do tema "evolução biológica". Foi discutido o significado que os estudantes atribuíam ao termo "evolução" no contexto da biologia, e em seguida, foram apresentadas questões que a biologia pretende responder com a idéia de evolução.

Em um segundo momento, realizou-se uma atividade em que se pretendia antecipar os possíveis conflitos entre as idéias darwinistas e as visões de mundo dos estudantes, assim como investir no reconhecimento da importância da teoria darwinista da evolução para a humanidade, em termos culturais e na melhoria da qualidade de vida. Foi oferecido aos

estudantes um conjunto de 5 textos que versavam sobre: (1) a recepção da obra "A Origem das Espécies" pela sociedade inglesa vitoriana; (2) as aplicações modernas das idéias darwinistas; (3) o impacto da teoria darwinista no pensamento ocidental; (4) a biografia de Darwin e a construção de sua teoria; e (5) a importância de estudar a biologia evolutiva (os textos se encontram no apêndice 3). Cada um dos textos foi lido e discutido em pequenos grupos. Em seguida, a discussão de cada grupo foi relatada e sistematizada para toda a turma.

Quadro 6: Conjunto de episódios selecionados para análise.

AULA 1: Introdução ao pensamento evolutivo	**Episódio 1.1**.: *Cada ser se adapta a cada ambiente.*
AULA 2: Introdução à teoria da seleção natural através do exemplo dos tentilhões das Galápagos	**Episódio 2.1:** *Teve que se adaptar para sobreviver, e isso teve a mudança dos bicos*. **Episódio 2.2***: Estamos concordando aqui que nas populações vão existir variações* **Episódio 2.3:** *Vão crescendo os bicos e as novas gerações vão vir com bicos maiores***.** **Episódio 2.4:** *Então, o que eu falei tá errado; porque disse que era genético.*
AULA 3: Realização do "Jogo dos Clipsitacídeos"	**Episódio 3.1:** *O bico tem uma relação com o tipo de alimento, os bicos menores não conseguiam pegar sementes maiores***.** **Episódio 3.2:** *A gente pode relacionar a adaptação com a permanência desta característica vantajosa para população***.**
AULA 4: "Evolução: Explicando o Mecanismo da seleção Natural"	**Episódio 4.1:** *O descendente dele já vai vir com essa alteração do bico.* **Episódio 4.3.:** *Na verdade, alterou a vegetação, alterou também o fator genético***.**
AULA 5: Descendência comum, mecanismo da seleção natural e especiação	**Episódio 5.1:** *De um foi para dois, de dois se reproduziu e já formou quatro, de quatro se reproduziu e formou oito...* **Episódio 5.2.:** *Será que as proteínas da alimentação não contribuíram para que o bico dos pássaros se desenvolvesse?*
AULA 6: "Seleção Natural e Especiação/ Aplicação da Seleção Natural a Problemas Sócio-científicos"	**Episódio 6.1:** *Ela sofreu variação e uma evolução para conseguir sobreviver àquele antibiótico.*
AULA 7: Aplicação da seleção natural para explicar o desenvolvimento de resistência a inseticidas por pragas agrícolas	**Episódio 7.1:** *Resistiu o que nasceu vermelho, e aí começou/ vermelho com vermelho/ e tá aqui hoje.*

Nesta discussão, alguns estudantes, a exemplo das estudantes 16, 21 e 12, procuraram explicitar que compartilhavam dos desconfortos e das reações contrárias que a sociedade vitoriana apresentou às idéias darwinistas, na época de sua divulgação. Elas o fizeram de modo tranqüilo, analisando as razões que levaram a estes desconfortos, sem assumirem,

contudo, uma postura de ataque em relação às idéias darwinistas. Na análise do texto que versava sobre o papel do pensamento darwinista na compreensão da origem e das dificuldades no controle da pandemia da AIDS, os estudantes 1 e 3 empregaram a idéia de que os organismos mudam ao longo do tempo para explicar as dificuldades no desenvolvimento de vacinas contra os vírus da AIDS e da gripe.

Os estudantes, de um modo geral, tiveram grande participação nas interações discursivas. Pelo menos, dez estudantes tiveram um engajamento ativo na aula.

No mapa apresentado no quadro 7, é possível ter uma idéia de como foram distribuídas as atividades ao longo da aula, assim como do contexto em que foi produzido o episódio de ensino que selecionamos para análise.

Quadro 7: Mapa de atividades da 1° aula, *Introdução ao pensamento evolutivo*

Tempo	**Atividade desenvolvida**	**Principais temas**	**Ações dos participantes**	**Comentários**
2 min	Introdução à aula: esclarecimentos sobre a presença da filmadora e da participação na pesquisa			Estudantes fazem comentários sobre a presença da filmadora. Por exemplo, sugerem que a professora veio toda arrumada, só para aparecer bem na filmagem.
5 min	Exploração das idéias dos alunos acerca do termo "evolução"	Significado do termo "evolução" no contexto da Biologia	Professora faz questões aos estudantes. Estudantes interagem respondendo às questões da professora	
4 min (3:30 min)	Exploração das idéias dos estudantes sobre a origem da diversidade biológica. **EPISÓDIO 1.1:** ***Cada ser se adapta a cada ambiente.***	Explicações para a origem da diversidade biológica.	Professora faz questões aos estudantes. Estudantes interagem respondendo às questões da professora	
4 min	Orientações para a atividade em pequenos grupos			
18:30 min	Leitura e discussão dos textos dentro dos pequenos grupos	Introdução à história do pensamento evolutivo. Implicações e aplicações do pensamento evolutivo Darwinista.	Estudantes passam bom tempo lendo o texto (12 min), para depois discutir. A professora vai aos grupos dar orientações sobre a atividade, mostrando as questões que acompanham o texto.	Estudantes ficam com um pouco de receio de serem filmados nos pequenos grupos. Outros, no entanto, reclamam porque não estão sendo filmados.

Tempo	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
30 min	Discussão em sala de todos os textos. (apêndice 3)	Reações negativas ao pensamento darwinista após lançamento de *Origens*. Polêmicas em torno da origem do homem, de sua descendência de primatas. Biografia de Darwin Darwin e pensamento evolutivo. "Significado de charges sobre Darwin e suas idéias, publicadas em 1859" (apêndice 3): Desconfortos causados pela teoria darwinista da evolução na sociedade vitoriana. Origem do HIV e dificuldades para a produção de vacinas	Professora orienta a discussão dos textos a partir do relato dos pequenos grupos. Os estudantes socializam o que foi discutido nos pequenos grupos, de acordo com a solicitação da professora, e discutem questões que surgem na sala como um todo.	O tempo para a discussão com toda a sala foi insuficiente. Isso levou a professora a não trabalhar muito as idéias dos estudantes e não fazer avaliações e sínteses a partir destas idéias. Ela deixa questões em aberto e passa para outros grupos. É visível a ansiedade da professora e a pressa em tratar dos assuntos de cada texto, em função do tempo da aula. No entanto, foi o momento na seqüência que levou à participação do maior número de estudantes. Muitos dos estudantes que participaram nesta aula passaram a não ter participação ao longo das outras aulas.

Legenda: Na primeira coluna, estipulamos o tempo em minutos de duração das atividades realizadas em sala de aula, as quais são listadas na segunda coluna. O Tempo identificado entre parênteses diz respeito à duração do episódio de ensino que foi selecionado para análise.

Selecionamos para análise um episódio referente ao primeiro momento da aula, quando a professora apresentou o fenômeno da diversidade da vida como uma das questões a serem respondidas pelas teorias da evolução.

Episódio 1.1.: *"Cada ser se adapta a cada ambiente"*

1. **Professora:** E aí eu pergunto/ A gente percebe né/ vocês conhecem como estudantes de biologia/ da diversidade/ da BIODIVERSIDADE/ do número de organismos que tem na Terra. E aí, eu pergunto/ por que esses seres vivos se apresentam em TAMANHA diversidade? Por que são tão diversos/ esses organismos?
2. **Estudante (não identificada):** Ai meu Deus do céu!
3. **Professora:** Destes organismos unicelulares com variações incríveis/ do reino plantae/ animais/ Por que existe essa variação? E por que é que apresentam tamanhos e formas tão variáveis? Vocês imaginam/ por que que isso ocorre?
4. **Estudante 11**: Fenômenos da natureza.

5. **Professora**: Fenômeno da natureza. Fala alguma coisa a mais que diz respeito a este fenômeno da natureza.
6. **Estudante 11**: Rapaz/ minha mente aqui agora/ professora/

((risos))

7. **Professora:** Sim. Mas quando você fala/ você se expressou é porque você quer dizer algo. Quando você fala fenômeno/ o que é que você quer dizer? É o que assim?
8. **Estudante 11**: Rapaz/
9. **Professora:** Vamos lá! Mais alguém? A pergunta que eu falei/ Por que os seres vivos se apresentam com tamanho e formas tão variados?
10. **Estudante 1**: São espécies diferentes.
11. **Professora**: São espécies diferentes. E por que eles apresentam/
12. **Estudante 2**: Porque um precisa do outro para viver/ professora.
13. **Professora**: Oi?
14. **Estudante 5**: Qual é a pergunta?
15. **Estudante 3**: É, se o mundo fosse perfeito/ o céu não seria azul/ o mar não seria verde/ e a gente não beberia água.
16. **Estudante 16**: Por que os seres vivos se apresentam em tamanha diversidade? ((repete em voz alta a questão da professora para o estudante 5))
17. **Professora:** Por que é tão diverso isso? Por que essa biodiversidade é tão diversa. Um organismo pode ser completamente diferente em termos de forma e tamanho do outro?
18. **Estudante 1:** Porque cada um se adapta ((coloca tônica na última sílaba)) ao seu ambiente/ seu habitat.
19. **Professora:** Como?
20. **Estudante 1:** Cada pessoa/ cada ser se adapta/
21. **Professora:** Se adapta ((corrigindo a pronúncia da palavra)) ao seu?
22. **Estudante:** Se adapta a cada/
23. **Professora:** A cada ambiente. Certo/ a depender da adaptação a cada ambiente/ ele vai apresentar ou não essa variação/ seria isso?
24. **Estudante 1:** Sim.
25. **Estudantes:** Professora/ ele quer falar.
26. **Professora:** Sim/ diga estudante 5.
27. **Estudante 5:** Em relação a genética.
28. **Professora:** Em relação a genética? ((Vai ao quadro e registra a idéia do estudante 5)).
29. **Estudante 11:** Interessante.

((risos))

30. **Professora:** O estudante 5 contribuiu/ dizendo que esta variação pode estar relacionada a?
31. **Estudante não identificada:** A genética. Com certeza.
32. **Professora:** A genética. Graças a Deus/ algumas coisas estão ficando ((sorrindo)). É importante a gente ver que alguns conteúdos trabalhados depois a gente vê que consegue ter um retorno/ né? Que mais gente? Então/ isso tem a ver com a genética/ com espécies diferentes/ Então/ olha só/ ao longo deste trabalho a partir de hoje a gente vai estudar evolução para tentar responder/ eu acredito que a gente consiga responder/ alguns destes questionamentos que eu estou colocando para vocês. Então/ essas perguntas que eu fiz/ a evolução ela responde. O processo evolutivo na Biologia/ a evolução biológica/ ela responde a algumas destas perguntas que eu acabei de colocar para vocês. Então/ a partir de hoje a gente vai fazer este trabalho de entender um pouco mais quem foi quem trouxe essa idéia de evolução/ para ver como é que isso ocorre.

Neste episódio, a professora teve a intenção de explorar as idéias dos estudantes acerca da origem da diversidade biológica, ao tempo em que introduzia a noção de evolução. Ao longo das interações discursivas, a professora apresenta uma descrição teórica da diversidade orgânica à luz de conceitos como biodiversidade, organização celular e classificação taxonômica. Ao longo desta descrição, ela tenta dirigir o discurso para a necessidade de propor uma explicação científica para o fenômeno da diversidade biológica.

No primeiro turno de fala, a professora estabelece a perspectiva a partir da qual este fenômeno deve ser interpretado. Antes de fazer a pergunta "Por que esses seres vivos se apresentam em tamanha diversidade?", ela faz a seguinte afirmação: "vocês conhecem **como estudantes de biologia**/ da diversidade/ da BIODIVERSIDADE" – dando ênfase, através de uma mudança de entonação, a este último termo, um vocábulo próprio da linguagem social da biologia. Deste modo, a professora situa os estudantes num determinado grupo social de falantes, estudantes de biologia, e invoca a linguagem social que deve ser usada, buscando restringir, deste modo, o discurso ao ponto de vista da ciência escolar.

No turno de fala 2, uma estudante, a qual não conseguimos identificar, mostra-se surpresa com a questão, o que mostra que este é um problema sobre o qual ela nunca havia pensado, ou, ao menos, sobre o qual não pensa com freqüência.

No turno 3, a professora expande a questão feita no turno 1, acrescentando mais dados, com o intuito de dar sentido ao problema da diversidade orgânica. De início, a sua descrição usa conceitos da biologia, relativos à organização celular e a grupos taxonômicos, e, em seguida, emprega uma linguagem mais próxima à linguagem cotidiana, fazendo referência a tamanhos e formas variados.

O estudante 11, entre os turnos 4 e 8, a despeito de empregar um termo próprio das ciências naturais, ao mencionar o conceito de fenômeno, permanece fazendo uso da linguagem social do cotidiano, parecendo não ver a diversidade orgânica como algo que demanda explicação e/ou considerar suficiente explicá-la meramente por sua classificação como um fenômeno natural. A professora interage com este estudante entre os turnos 3 a 8, através de um padrão I-R-P-R-P-R, e no turno 9 encoraja outros estudantes a apresentarem novas contribuições. Nesta iniciação, a professora procura qualificar novamente o problema da diversidade, usando desta vez apenas elementos mais próximos à linguagem cotidiana.

No turno 10, a estudante 1 responde evocando também um termo próprio da biologia, ao referir-se ao conceito de espécie. Ao fazê-lo, ela continua descrevendo teoricamente o fenômeno, o que já havia sido feito pela professora em sua primeira iniciação. A professora aceita a resposta da estudante, mas faz uma nova iniciação. A razão para esta nova iniciação é

sugerida pela forma da pergunta que ela propõe ("por que eles apresentam"). A professora busca estimular os estudantes para que sugiram uma explicação para a origem e existência da diversidade, algum mecanismo de diversificação dos organismos, algo que a estudante 1 não havia feito em sua resposta.

O estudante 2, no turno 12, responde apresentando uma explicação comprometida com uma perspectiva providencial de interpretação da adaptação, apoiada no princípio de economia natural, a saber, a idéia de que a diversidade orgânica pode ser explicada pelo fato de que cada ser vivo tem uma função a cumprir para com outros seres vivos aos quais se vincula. Cada espécie precisa da outra para viver, dentro de uma ordem estável e harmônica no mundo natural.

O turno de fala seguinte pode se tratar de uma brincadeira satírica e/ou pode indicar que o estudante 3 não vê sentido na questão colocada pela professora. Adotando esta última interpretação, podemos dizer que ele considera a questão da diversidade orgânica algo dado, que não demanda explicação, assim como outros fenômenos observados na natureza, como a cor do céu, do mar e a necessidade de os seres vivos beberem água. Este tipo de reação, como argumentam Mortimer e Scott (2003, p. 15), traduz a dimensão do desafio de ensinar e de aprender ciências. Do ponto de vista da linguagem cotidiana, não está claro por que um grande número de eventos e fenômenos, que motivaram, ou motivam, a elaboração de modelos explicativos que estruturam o conhecimento científico, merecem uma explicação. Muitos dos fenômenos naturais, como a diversidade orgânica, a adaptação, a queda livre dos corpos, só têm existência, como problemas a serem resolvidos, do ponto de vista da ciência, ou seja, na linguagem social da ciência. Assim, o primeiro desafio, ao ensinar determinado modelo científico, pode residir na construção dos próprios fenômenos como problemas a serem explicados.

Esta interpretação do enunciado do estudante 3 é coerente com a reação do estudante 11, no turno 4, e com o fato de não haver nenhuma tentativa dos estudantes de explicar as razões pelas quais os seres vivos se apresentam em "tamanha diversidade", desde o momento que a professora colocou esta questão pela primeira vez, até o turno de fala 18, excetuando-se a fala do estudante 2 no turno 12.

A professora ignora as falas dos estudantes 2 e 3, nos turnos 12 e 15, pelo fato de estas falas não contribuírem para o desenvolvimento da estória científica. Paralelamente às respostas dos estudantes 2 e 3, o estudante 5 indaga, no turno 14, qual teria sido a pergunta da professora, e a estudante 16 o responde, no turno 16, repetindo literalmente a primeira questão feita pela professora no turno 1, o que indica que os estudantes estão engajados na aula.

No turno 17, a professora faz, então, uma nova iniciação, em resposta também à solicitação do estudante 5. A estudante 1 apresenta uma explicação através da qual, pela primeira vez na seqüência didática, um termo relacionado à adaptação (adaptar-se) é disponibilizado no plano social da sala de aula e empregado na explicação da existência da diversidade orgânica.

Este é um passo importante para a construção do conceito de adaptação. Na perspectiva vygotskyana, a palavra tem um papel constitutivo no pensamento (Vygotsky, 2001). A palavra é o meio material a partir do qual o significado é mediado. Assim, o primeiro passo para o ensino de um conceito é a introdução da palavra que o simboliza. Ao disponibilizar-se a palavra em diferentes e relevantes contextos, inicia-se um processo de negociação, e o significado potencial da palavra pode ser desenvolvido, eventualmente levando-a a ser vinculada a um significado histórico estável. Neste caso, o termo é utilizado pela estudante com o significado de processo.

A partir do turno de fala 18, a professora seleciona a estudante 1 como uma interlocutora privilegiada, estabelecendo, entre os turnos 17 a 24, uma cadeia de interação I-R-P-R-A/I-R-A/I-R[28]. As trocas lingüísticas entre professora e estudante do turno 18 ao início do turno 23 produzem uma explicação para a origem da diversidade orgânica na qual um organismo individual é agente de seu próprio processo de adaptação ao ambiente. Neste contexto discursivo, o termo "adaptar-se" é empregado como sinônimo de um processo ativo, que, possivelmente, pressupõe uma base teleológica (Mayr, 2009 [2001], p. 183).

A despeito de constituir um modo de falar próprio da perspectiva transformacional, ao colocar o organismo como protagonista da adaptação, o enunciado produzido pela estudante 1 contribui para a construção da perspectiva da ciência escolar, de caráter variacional, ao estabelecer uma relação entre adaptação e origem da diversidade, assim como uma perspectiva processual, histórica, na elaboração da explicação. A tentativa de explicar os fenômenos da adaptação e da diversidade de modo unificado é um dos aspectos que esteve no centro da formulação da teoria da seleção natural por Darwin (Maynard Smith, 1969, p.82; Lewontin, 1978, p.157; Caponi, 2006, p. 31).

No turno 23, a professora remodela o enunciado da estudante 1, produzindo um enunciado em que a adaptação não mais figura como um ato protagonizado pelo organismo, mas no qual a relação entre este fenômeno e a diversificação das espécies é reafirmada. Esta

[28] É possível que em um mesmo turno de fala ocorram dois passos interativos. Por exemplo, em um mesmo turno de fala pode ser feita uma avaliação seguida de uma iniciação. Neste caso usaremos a seguinte notação A/I.

idéia é tornada disponível para toda a turma, através de um seqüência confirmatória com a estudante 1.

Após este diálogo com a estudante 1, a professora nomeia no turno 26 o estudante 5 para responder à questão inicial, dado que vários estudantes lhe chamaram a atenção para o fato de que o colega desejava falar (turno 25). O estudante 5 cita a genética (turno 27), idéia que a professora aceita, registra no quadro e a disponibiliza para a turma, fazendo uma iniciação de produto (turno 30): "O estudante 5 contribui dizendo que esta variação está relacionada a?". No turno 32, a professora faz uma síntese em que confirma que a explicação para a diversidade biológica está relacionada com a genética. Sem mencionar o conceito de adaptação, finaliza, concluindo que a idéia de evolução biológica traz respostas à questão da origem da diversidade e que o estudo da evolução deverá trazer respostas não só para esta como também para outras questões que foram colocadas no início da aula.

É importante chamar a atenção para um aspecto lingüístico nos enunciados da professora. O termo variação é usado ora para designar variação morfológica *lato sensu,* como no turno de fala 3, ora como sinônimo de diversidade ou diversificação, como no caso do turno 23. Como veremos, o uso indiscriminado do termo variação com os sentidos de diversidade ou diversificação de espécies, ou ainda mudança, pode ser um dos fatores responsáveis pela confusão que os estudantes tendem a fazer entre as noções de variação intrapopulacional, a presença de variantes fenotípicas em uma população, e variação inter-específica, a diferenciação entre espécies. Esta confusão teve papel importante na seqüência didática analisada, como ficará claro mais abaixo.

A abordagem comunicativa estabelecida neste episódio é de natureza interativa de autoridade. A professora propõe desde o primeiro turno de fala que os estudantes interpretem a existência da diversidade orgânica a partir do ponto de vista da biologia. Ao longo das interações, ela ignora falas que se distanciam do desenvolvimento da "estória científica", como é o caso das falas dos estudantes 2 e 3 nos turnos 13 e 15. Ela aceita apenas idéias mais próximas do discurso da ciência escolar e/ou que tenham relação com o desenvolvimento da "estória científica", como o conceito de espécie, a idéia de que a genética é um fator a ser considerado nas explicações da forma orgânica e o conceito de adaptação. Entre estas noções, apenas o conceito de adaptação foi explorado através de trocas lingüísticas entre a professora e a estudante 1. Aparentemente de modo contraditório a esta atitude, a professora não contempla este conceito na síntese que faz no último turno de fala do episódio. No entanto, é preciso ter em vista que, neste momento, ela estava mais preocupada em introduzir a idéia de evolução e argumentar a favor de seu papel fundamental na resposta a questões sobre o

mundo natural que a biologia pretende responder do que em desenvolver o significado do conceito de adaptação.

Há uma simetria entre esta abordagem comunicativa de autoridade e a estrutura de interação que a professora estabelece em sala de aula. Entre os quatro estudantes (1, 2, 3 e 5) que tentam apresentar suas idéias, entre os turnos de fala 12 a 18, a professora elege apenas a estudante 1 como interlocutora privilegiada, com quem estabelece um pequeno diálogo, com duração de 8 turnos de fala. Com exceção da estudante 1, a professora estabelece uma estrutura diádica[29] de interação desta natureza apenas com o estudante 11, no início do episódio, com duração de 6 turnos de fala. Os demais estudantes que participam ativamente da aula respondem às solicitações feitas a toda turma pela professora, como é o caso de dois estudantes não identificados (turnos 2 e 31). Há ainda estudantes que se dirigem ao professor, ou aos demais colegas, sem serem solicitados. É o caso dos estudantes 2 e 3, que respondem à questão da professora dirigida à estudante 1 (turnos 12 e 15), do estudante 5, que faz uma iniciação, e da estudante 16, que responde ao estudante 5. A Figura 9 nos permite visualizar esta estrutura de interação.

Em termos das perspectivas de significação do conceito de adaptação, podemos dizer que há neste episódio uma negociação entre as perspectivas de ajuste providencial e transformacional, tais como descritas na segunda e na terceira zonas de nosso modelo de perfil conceitual de adaptação.

A fala do estudante 2 (turno 12) pode ser interpretada em termos de compromissos ontológicos e epistemológicos presentes na zona providencial, como a noção de que há uma harmonia na natureza e a tendência de interpretar a existência da diversidade orgânica a partir do princípio da economia natural. A estudante 1, ao empregar a expressão "se adaptar" da forma como o faz, na proposição de uma explicação da diversidade orgânica, introduz um modo transformacional de falar sobre a mudança adaptativa. É apresentada a idéia de que a diversidade de vida tem origem em algum tipo de processo, denominado pelo termo "adaptar-se", protagonizado por organismos individuais, em decorrência da relação com seu ambiente.

O quadro 8 apresenta uma síntese das formas de pensar e modos de falar negociados neste episódio, bem como dos aspectos discursivos envolvidos neste processo.

---

[29] Estamos usando o termo diádica para designar estrutura de interação em que a professora estabelece trocas de turno de fala, pequenos diálogos, com um único estudante, em contraposição a uma interação mais coletivizada (Rojo, 2001). Esta interação diádica entre a professora e um estudante em particular pode se dar segundo um padrão de interação I-R-A, produzindo tríades, no que diz respeito ao modo como a professora gesta à interação com este estudante, ou produzir interações não-triádicas em cadeia I-R-P- R-R ou I-R-F-R-P-R.

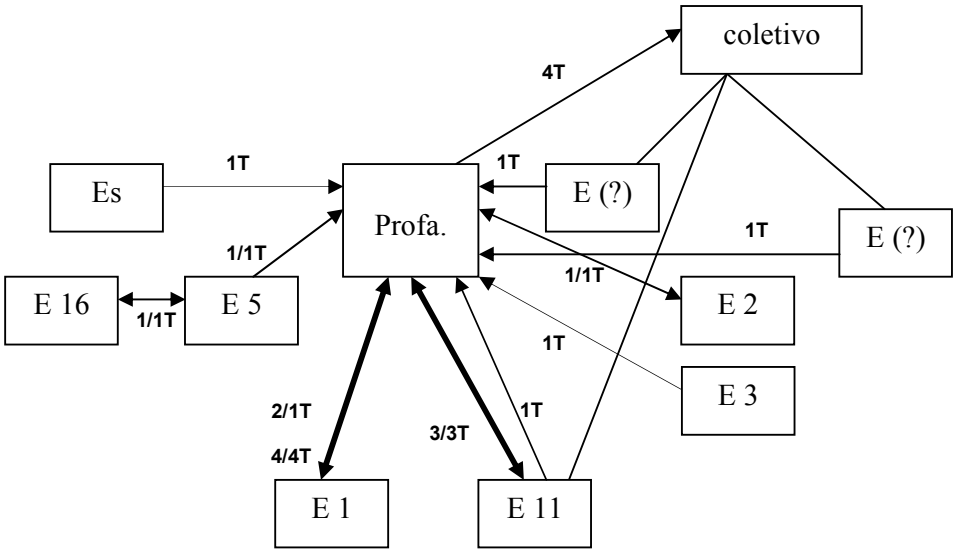


Figura 9: Diagrama da estrutura da interação em sala de aula ao longo do episódio 1.1. Estão representados nas caixas de texto a professora e os estudantes que participaram ativamente da interação. A caixa de texto "coletivo" representa um interlocutor coletivo virtual ao qual a professora se refere ao fazer questões gerais para toda a turma ou afirmações e instruções em que usa o dêitico "a gente". As linhas que saem da caixa de texto "coletivo" indicam os estudantes que responderam a este tipo de iniciações da professora. As setas com duas pontas representam as trocas interativas entre dois interlocutores, ao lado das quais é indicada a quantidade de turnos de fala trocados entre os sujeitos. Quando se trata de interações professor/ estudante, o numerador representa os turnos de fala da professora e o denominador os turnos de fala do estudante. As setas com ponta simples representam turnos de fala para os quais não houve resposta do interlocutor. Neste esquema, demos destaque às seqüências de díades entre a professora e estudantes que foram selecionados como interlocutores privilegiados, aumentando a espessura das setas que representam esta interação. (adaptado de Rojo, 2001, p. 96).

Quadro 8: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio de ensino 1.1.

Intenções da professora	Explorar Idéias dos estudantes: Explicações para a origem da diversidade orgânica. Introduzir a idéia de evolução
Conteúdo do discurso	Descrição e explicação teórica
Abordagem comunicativa	Interativa/de autoridade
Padrões de Interação	(1-8) I-R-P-R-P-R-P-R (9 -11) I-R-A (11-16) I-R-P-R* (17-24) I-R-P-R-A / I-R-A / I-R** (26-32) I-R-P-R-I-R-S
Formas de pensar	•Diversidade biológica como fenômeno dado que não demanda explicação (estudante 3). • Diversidade biológica explicada em termos do princípio da economia natural (estudante 2) • Adaptação como processo de ajuste ao ambiente (estudante1)

Modos de falar	• Organismo individual é protagonista de processo de ajuste (*cada um se adapta*) às condições. (Estudante 1 - modo de falar transformacional)
Perspectivas de significação do conceito	Negociação entre compromissos ontológicos e epistemológicos, e modos de falar, da zona ajuste providencial e modos de falar da zona transformacional.
* No meio desta cadeia, há uma troca interativa entre estudante 5 e estudante 16, que se coloca como paralela as interações que estão ocorrendo entre a professora e os outros dois estudantes. ** Turno de fala 25: Iniciação estudantes	

AULA 2: ***Introduzindo a teoria da evolução por seleção natural através do exemplo dos tentilhões das Galápagos***

O primeiro momento desta aula foi destinado à abordagem histórica do desenvolvimento da idéia de evolução, através da leitura de um texto introdutório de um livro didático de biologia para o ensino médio (Silva Júnior; Sasson, 2005, pp. 198-199). O texto apresenta o surgimento das idéias evolutivas, designando-as pelo termo original, *transformismo*, colocado em oposição ao *fixismo*. Após a leitura pela professora, foi realizada uma discussão com base em questões propostas também pelo livro didático. A professora orientou os estudantes a responderem coletivamente às questões, apenas buscando informações que estavam no texto, sem dar muito espaço para que os estudantes se colocassem em relação aos modelos explicativos descritos e às informações ali presentes.

Durante esta discussão, ocorreram episódios que indicaram conflitos entre o conhecimento religioso de alguns estudantes e a descrição escolar do pensamento evolutivo. A estudante 16 reagiu à informação do texto acerca da distinção entre o tempo de existência da Terra conforme proposto pela Bíblia e pela ciência. Ao final da discussão a este respeito, esta estudante levantou a polêmica sobre a plausibilidade do Big Bang. A professora comentou rapidamente sobre o status do Big Bang como modelo explicativo da ciência para a origem do universo e reprimiu o debate iniciado pela estudante 16. Os demais estudantes não reagiram às colocações da estudante 16, nem tampouco às considerações da professora.

A informação sobre a idade da Terra e sua importância para as teorias evolutivas foi, de qualquer modo, disponibilizada no plano social da sala de aula. No entanto, pelo modo como surgiu e foi tratada a polêmica em relação ao tempo bíblico e ao tempo geológico, é possível que esta última noção não tenha sido devidamente apropriada pelos estudantes.

Como podemos observar no mapa de atividades desta aula (quadro 9), a discussão do texto teve a duração de dez minutos, após os quais a professora deu início a uma nova atividade, a apresentação e análise do caso da diversificação dos tentilhões das Galápagos.

Através da leitura de um roteiro de discussão (ver apêndice 4) e exposição de transparências, a professora descreveu empírica e teoricamente o fenômeno, ao tempo em que fez questões aos estudantes para que elaborassem modelos explicativos para interpretá-lo.

Durante a discussão do roteiro, a estudante 16 fez uma intervenção que não foi considerada na transcrição dos episódios, uma vez que era inaudível e não dizia respeito ao conteúdo. No entanto, esta intervenção parece importante no que diz respeito aos aspectos emocionais e afetivos envolvidos no processo de significação. Embora tenha ficado inaudível, as reações posteriores dos demais estudantes e da professora deixam claro tratar-se de uma brincadeira, mas que pode ser um indicativo de rejeição da estudante 16 ao tema e/ou ao trabalho pedagógico proposto, a qual é manifestada através da atitude de fazer brincadeiras que causem distúrbios na aula. A reação da professora é coerente com essa hipótese. Em resposta à intervenção da estudante 16, ela riu, assim como os demais estudantes, e sem graça, disse que até mesmo se perdeu no que estava falando no momento. Houve, de fato, uma quebra no fluxo da discussão.

Mortimer e Scott (2003, p. 16), analisando o papel da emoção no processo de significação à luz do trabalho de Arruda e colaboradores (2001), consideram comportamentos deste gênero indicativos de uma rejeição do estudante ao tópico apresentado. Os autores também prevêem mais três tipos possíveis de respostas emocionais dos estudantes à aula, além da rejeição: engajamento passivo, engajamento ativo e iniciativa própria do estudante. Podemos considerar que, nesta aula, a estudante 16 apresentou a resposta de rejeição, as estudantes 1 e 6 e os estudantes 3 e 5 se engajaram ativamente, e o estudante 2 tomou iniciativas de buscar maiores informações e esclarecimentos, além daqueles oferecidos e requeridos pela professora. Não foi possível dimensionar o número de estudantes que estiveram engajados passivamente.

Foram selecionados para análise quatro episódios de ensino contíguos, de modo tal que os turnos de fala foram numerados de modo corrido, de um episodio a outro. Os referidos episódios foram produzidos ao longo do que consideramos o segundo momento da aula, com duração de cerca de 35 min, em que foram desenvolvidas atividades relativas a análise do caso relativo a diversificação dos tentilhões de Galápagos. Após terem sido fornecidas uma série de informações a respeito da distribuição geográfica das espécies de tentilhões no arquipélago, da relação entre a morfologia dos bicos e hábitos alimentares destes pássaros – tipos de recursos alimentares e estratégias para exploração – e sobre a diversidade de condições ambientais encontradas em cada ilha, a professora solicitou aos estudantes que

formulassem explicações para a diversidade morfológica dos bicos e para a origem das treze espécies encontradas em Galápagos.

Quadro 9: Mapa de atividades da 2° aula, *Introduzindo a teoria da evolução por seleção natural através do exemplo dos tentilhões das Galápagos*

Tempo	Atividades desenvolvidas	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
3 min	Leitura do texto de livro didático de biologia do ensino médio (Silva Júnior, C. & Sasson, S, 2005).	Oposição Fixismo x Transformismo Teologia Natural Explicação do registro fóssil por Cuvier Noção de Tempo geológico Desenvolvimento do pensamento evolutivo: Lamarck e Darwin	Professora lê texto em voz alta para os estudantes, que acompanham a leitura.	
10 min	Discussão de questões propostas como atividade de discussão do texto	Oposição Fixismo x Transformismo Idade da Terra: tempo bíblico e tempo geológico.	Professora lê questões propostas pelo roteiro e solicita que os estudantes as respondam, de acordo com informações disponibilizadas pelo texto. Estudantes respondem às questões.	Há indícios de conflito entre visão religiosa e descrição escolar do pensamento evolutivo. Estudante 16 levanta polêmica sobre tempo bíblico e tempo geológico, bem como sobre modelo do Big Bang
12 min	Exposição do cenário da Irradiação adaptativa dos tentilhões das Galápagos	Endemismo Distribuição das espécies de tentilhões no Arquipélago Ancestralidade comum Relação entre hábito alimentar e tamanho dos bicos.	Professora lê o roteiro e apresenta diapositivos, acrescentando informações.	Figuras apresentadas: 1. Localização do arquipélago. 2.Irradiação adaptativa dos tentilhões a partir de ancestral do continente. 3.Figura com crânios de tentilhões: diferenças no bico e relações com hábito alimentar. 4.Observações de Darwin sobre os tentilhões. 5.Fotos das ilhas, mostrando condições ambientais diferentes.

Tempo	Atividades desenvolvidas	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
9 min (5:46min) (3:11min)	Discussão do primeiro bloco de questões do roteiro: Como se explica diversidade morfológica dos bicos entre os tentilhões?; Como se explica a diversidade de espécies nas ilhas? **EPISÓDIO 2.1:** ***Teve que se adaptar para sobreviver, e isso teve a mudança dos bicos.*** **EPISÓDIO 2.2*****: Estamos concordando aqui que nas populações vão existir variações***	Modelos explicativos para a variação morfológica dos bicos dos tentilhões e para origem da diversidade destes pássaros nas ilhas. Introdução da idéia de ancestralidade comum. Introdução da noção de variação intrapopulacional	Professora lê questões do roteiro. Estudantes procuram desenvolver modelos explicativos.	Professora estabelece que os modelos explicativos devem ser pensados a partir da perspectiva evolutiva.
	Leitura de roteiro com Informações sobre populações de tentilhões das Galápagos e estudos conduzidos pelos Grant (Grant;Grant,1995)	Variação fenotípica Eficiência das variantes na obtenção de recursos Características hereditárias	Professora apresenta informações para os estudantes sobre populações naturais de tentilhões com base na leitura de roteiro.	
6 min	Discussão da terceira questão do roteiro: Previsão do que ocorre em populações diferentes de tentilhões em situação de seca nas ilhas. **EPISÓDIO 2.3:** ***Vão crescendo os bicos e as novas gerações vão vir com bicos maiores***	Dinâmica de populações diante de mudanças ambientais Introdução da noção de sobrevivência e reprodução diferencial Conceito de hereditariedade Herança: Os organismos apresentam características hereditárias e não hereditárias. As unidades hereditárias transmissíveis mantêm sua identidade de geração a geração.	Professora lê questões do roteiro. Estudantes procuram desenvolver modelos explicativos	

Tempo	Atividades desenvolvidas	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
3 min (2min)	Conclusão da aula **EPISÓDIO 2.4:** ***Então, o que eu falei tá errado; porque disse que era genético***	Fatores responsáveis pela produção de variabilidade na população: variabilidade genética e mutação	Professora procura tirar dúvidas dos estudantes e sistematizar o que foi trabalhado. Estudantes 2 e 6 verificam plausibilidade das idéias apresentadas por eles ao longo da aula. Professora dá instruções de como responder às questões do roteiro em casa.	

Foram selecionados para análise quatro episódios de ensino contíguos, de modo tal que os turnos de fala foram numerados de modo corrido, de um episodio a outro. Os referidos episódios foram produzidos ao longo do que consideramos o segundo momento da aula, com duração de cerca de 35 min, em que foram desenvolvidas atividades relativas a análise do caso relativo a diversificação dos tentilhões de Galápagos. Após terem sido fornecidas uma série de informações a respeito da distribuição geográfica das espécies de tentilhões no arquipélago, da relação entre a morfologia dos bicos e hábitos alimentares destes pássaros – tipos de recursos alimentares e estratégias para exploração – e sobre a diversidade de condições ambientais encontradas em cada ilha, a professora solicitou aos estudantes que formulassem explicações para a diversidade morfológica dos bicos e para a origem das treze espécies encontradas em Galápagos.

Episódio 2.1: ***Teve que se adaptar para sobreviver e isso teve a mudança dos bicos.***

1. **Professora:** Diante dessas informações/ como vocês explicam as diferenças nos bicos dos tentilhões das Ilhas Galápagos?
2. **Estudante 1:** Devido alimento/ se alimentarem/ se alimentavam conforme o clima da/
3. **Estudante 2:** Conforme o que eles se alimentavam.
4. **Estudante 1:** E também devido/ a cada ilha tinha suas aves/ seus animais/ Então eles se adaptaram/ os indivíduos diferentes em cada ilha/ por causa disso. Devido aos alimentos que eles se alimentavam/ devido também ao clima/ porque cada ilha tinha um clima/ então cada ilha tinha uma espécie de vegetação que eles se alimentavam. Então/ devido a essa variação.

5. **Professora:** E? / Tá. Mais alguém? Diga/ estudante 3. Como é que você explica a diferença nesses bicos?
6. **Estudante 3:** De acordo com o/ tipo de alimentação que eles usavam para sobreviver e de acordo com habitat dele.
7. **Professora:** Certo. De acordo com o ambiente que eles habitavam/ e com a alimentação/ está explicada a diferença dos bicos. Não é isso? Ok. No continente encontramos apenas uma espécie de tentilhão/ enquanto nas ilhas são encontradas TREZE espécies diferentes deste mesmo gênero de pássaro. O que explica essa diversidade de pássaros/ do grupo dos tentilhões nas Ilhas? Hein? O que é que explica/ gente? Ô/ no continente a gente tem uma espécie de tentilhão/ tá? E nas ilhas a gente tem TREZE espécies diferentes. O que explica a diversidade desse grupo de pássaros dos tentilhões/ O que explica a diversidade? A gente ter no continente apenas uma espécie e nas ilhas a gente ter TREZE espécies? O que está explicando? Diga.
8. **Estudante 3**: Os demais não se adaptam /ao continente. Digamos que o tipo de alimentação que o do continente se alimenta/ os outros não conseguem se alimentar.
9. **Professora**: Sim. Mais alguém? O que está explicando no continente só ter uma e lá a gente ter treze? /Como é que isso ocorre?
10. **Estudante 4**: Porque o hábito alimentar dele é diferente ao dos outros pássaros?
11. **Professora:** O hábito alimentar é diferente? Como é que isso ocorria? A gente está trabalhando na perspectiva da evolução. E aí o que é que acontece? A gente viu que/ um dos pontos da teoria da evolução é o ancestral comum. Não é verdade? E aqui está trazendo a informação no texto de que provavelmente a espécie do continente ((aumenta tom de voz, enquanto estudante 3 tenta falar algo)) é o ancestral dessas treze espécies/ tá? Isso ajuda a melhorar/
12. **Estudante 3:** Ô professora/ digamos que a do continente não tem uma boa evolução/ né? Não se evolui/
13. **Professora:** No continente não teria uma boa evolução. O que seria uma boa evolução/ Estudante 3?
14. **Estudante 3:** Não se adapta a outros tipos de/
15. **Professora:** O que é que ocorreu?
16. **Estudante não identificado:** A capacidade de se adaptar.
17. **Professora:** A capacidade de se adaptar.
18. **Estudante não identificado:** Ao seu novo ambiente.
19. **Professora:** A capacidade de se adaptar ao ambiente. Se a gente trabalha com a idéia de um ancestral comum. O que é um ancestral comum? É uma espécie que origina/ que está ali a partir de outras. Como é que a gente pode explicar isso. O que é que ocorreu? Se essas treze são originadas do ancestral comum/ como é que isso pode ter/
20. **Estudante 2:** Do continente foi lá para as ilhas/
21. **Professora:** Sim.
22. **Estudante 2**: E acabou ele se adaptando lá. E lá ele/
23. **Professora:** Sim. Do continente/ a ocupação vai para as ilhas ((gesto que auxilia a idéia de migração)) e chegando lá/ o que é que ocorre?
24. **Estudante 2:** Ele teve que se alimentar/ então ele vai/
25. **Estudante 1:** É como tem aquela teoria que os ancestrais antes não existia/ não tinha garfo...
26. **Estudante 2:** Ele vai se adaptando/
27. **Estudante 1:** Os dentes eram bem parecidos com o canino devido a alimentação porque eles tinham que rasgar e com o passar do tempo/ eles foram manuseando/

talheres e tal/ como não tem mais necessidade de se alimentar daquele jeito/ então os dentes foram mudando com o passar do tempo e chegando nos nossos.

28. **Professora:** Certo. E voltando aos pássaros ((risos)).
29. **Estudante 1:** Então/ é que ele mudou do continente/ ele teve que aprender/
30. **Professora:** Ele saiu do continente para a ilha/ a população foi para lá. Chegando lá/ ele encontrou?
31. **Estudante 2:** Os alimentos/
32. **Professora:** Alimentos diferentes. Está mostrando aí/ que nas ilhas a gente encontrava aí uma diversidade grande de alimentos e de ambiente/ né? E aí?
33. **Estudante 2:** E aí teve que se adaptar para sobreviver.
34. **Professora:** Tiveram que se adaptar para sobreviver.
35. **Estudante 2:** E isso teve a mudança dos bicos.
36. **Professora:** Certo. E aí já traz/ E aí já traz um pouco da letra c ((lê pergunta do roteiro)). O que é que poderia explicar as similaridades entre as espécies da ilha e as espécies encontradas no continente. O que é que explica essa similaridade? É justamente esta idéia que a gente está colocando aqui de ancestral comum. Tá?

Neste episódio, a professora teve duas intenções, explorar as idéias dos estudantes sobre a origem e diversidade da forma orgânica e introduzir e desenvolver a "estória científica", ao apresentar conceitos e princípios que estruturam uma explicação darwinista para este fenômeno. As interações entre professora e estudantes foram relativas à explicação teórica para a diversificação dos bicos dos tentilhões das Galápagos.

O episódio começa com uma iniciação da professora, na qual ela solicita aos estudantes que expliquem a diversidade morfológica dos bicos dos tentilhões. Os estudantes 1 e 2 interagem, citando alguns fatores envolvidos na explicação do fenômeno. Estas respostas não são avaliadas pela professora, que dá prosseguimento à interação, encorajando outros estudantes a emitirem sua opinião (turno 5). O estudante 3 responde a esta iniciação. No turno seguinte, a professora aceita a resposta do estudante 3 e faz uma síntese, integrando elementos das respostas dadas pelos três estudantes. Portanto, neste segmento do episódio (turnos 1 ao 7), a comunicação entre professora e estudantes gera uma cadeia de interação I-R_1-R_2-R_1-P-R-S.[30]

O modo de falar sobre a diversidade dos bicos dos tentilhões das Galápagos dos estudantes 2 e 3, neste segmento do episódio, apresenta uma marca lingüística própria da perspectiva do ajuste providencial, a saber, o uso dos termos "conforme" e "de acordo" para estabelecer uma relação de adequação necessária entre a estrutura morfológica, o bico, e a realização de uma atividade vital do organismo, a exploração de um recurso alimentar.

[30] Quando mais de um estudante responde à mesma iniciação da professora, usaremos a seguinte notação para sinalizar este tipo de interação: o número que designa cada um dos estudantes será subscrito ao símbolo R. Neste caso, por exemplo, a iniciação da professora foi respondida pela estudantes 1 e pelo estudante 2, dando origem a uma cadeia I-R_1- R_2-R1-P....

Embora a estudante 1 também utilize o termo “conforme” em seu primeiro turno de fala, ela o faz para relacionar às condições ambientais ao modo como esta atividade vital é realizada pelos organismos. No turno 4, a estudante 1 relaciona a diversidade morfológica dos bicos, em termos causais, às condições ambientais diversas encontradas nas ilhas, a exemplo da disponibilidade de recursos alimentares variada, em virtude da diferença no clima e na vegetação de cada ilha. Podemos dizer que a estudante 1 apresenta uma tendência de perceber o papel da relação entre os organismos e seu entorno ecológico na explicação da diversificação da forma orgânica, um compromisso importante para o desenvolvimento de uma perspectiva variacional (darwinista) de interpretação da adaptação.

Neste mesmo turno de fala, essa estudante disponibiliza o termo “adaptação” no plano social da sala de aula. O termo é usado na forma de verbo, “se adaptar”, no tempo passado, o que denota a idéia de um processo que ocorreu. Temos, portanto, um primeiro ensaio de uma perspectiva evolutiva de interpretação da diversidade orgânica. No entanto, assim como no episódio anterior, o termo adaptação continua sendo empregado com o sentido de processo ativo de ajuste dos organismos ao ambiente.

No turno 7, a professora faz nova iniciação: propõe que os estudantes pensem na explicação para a diversidade de espécies de tentilhões das Galápagos tendo em vista que apenas uma espécie destes pássaros é encontrada no continente sul-americano. O estudante 3 propõe uma explicação utilizando o termo “adaptação”, disponibilizado anteriormente pela estudante 1 (turno 8). Neste contexto, no entanto, a expressão “se adaptar” é empregada no tempo presente e denota uma condição de um grupo de organismos de estar ajustado às condições ambientais, no caso, de os pássaros possuírem um hábito alimentar ajustado aos recursos do ambiente. A resposta do estudante é ignorada pela professora, que solicita novas contribuições (turno 9). A estudante 4 apresenta um ponto de vista semelhante ao estudante 3, mas de maneira hesitante (turno 10). No turno 11, a professora avalia negativamente a resposta da estudante e faz uma nova iniciação.

É importante atentar para alguns aspectos lingüísticos relativos aos enunciados da professora, que podem ter dificultado o desenvolvimento de uma perspectiva evolutiva, neste primeiro segmento, entre os turnos 1 e 10. A professora formulou as perguntas (nos turnos 1, 5, 7 e 9) de maneira que não foram introduzidos recursos léxicos e fraseológicos que dirigissem o discurso dos estudantes na direção daquela perspectiva. As questões mais freqüentes foram: “Como é que se explica?” e “O que é que explica...”. Esta forma de formular a questão dirige o foco para causas próximas, de caráter mecanicista ou para a descrição de fatores explicativos. Distanciando, assim, o foco sobre causas remotas. O

fenômeno da diversificação orgânica foi descrito pelos termos “diversidade” e “diferenças entre”, os quais não denotam a idéia de sucessão de eventos ou de realização de processos, como o fazem, por exemplo, o uso dos termos “diversificação”, ”diferenciação”. “evolução”, “surgimento”, e as indagações “Como surgiu?” ou “O que é que ocorreu?”.

A partir do turno 11, estas e outras estratégias enunciativas são utilizadas pela professora com intuito de guiar o discurso em direção a um ponto de vista mais próximo daquele da ciência escolar, a interpretação de que a adaptação constitui o resultado de um processo evolutivo que ocorre no nível da população. A professora estabelece neste turno três premissas a serem consideradas pelos estudantes na elaboração de seus modelos explicativos: (1) os modelos devem pressupor a idéia de evolução; (2) a noção de ancestralidade comum é fundamental para uma explicação evolutiva; e (3) a espécie do continente pode ser considerada um ancestral comum dos tentilhões das Galápagos.

Entre os turnos 11 a 19, a professora interage, através de um padrão triádico I-R-A, com o estudante 3 e outro estudante não identificado, avaliando negativamente suas contribuições, as quais apresentam um ponto de vista característico do ajuste providencial, na tentativa de interpretar a adaptação. A avaliação negativa da professora está relacionada ao fato de que esta é uma interpretação divergente da perspectiva evolutiva e variacional da ciência escolar. Estes estudantes produzem enunciados em que evolução e adaptação figuram como uma propriedade ou capacidade dos organismos de se ajustarem às condições ambientais: “ter uma boa evolução”, “[ter] a capacidade de se adaptar”.

No turno 19, a professora faz maiores esclarecimentos sobre o significado da noção de ancestralidade comum e dá pistas de como ela pode ser usada para explicar a origem da diversidade dos tentilhões das Galápagos. Em seguida, ela insiste na questão “O que ocorreu?”, indagação que sugere a existência de uma cadeia de eventos, a partir dos quais os estudantes podem construir uma narrativa.

Os estudantes 2 e 1 acatam a proposta da professora e começam a propor um modelo explicativo mais próximo ao esperado por ela, através da construção de narrativas. A primeira destas narrativas foi construída entre os turnos de fala 19 a 26, ao longo das interações entre a professora e o estudante 2, através de uma cadeia I-R-P-R-A/I-R-I-R-P-R-P-R.

O papel de narrador é compartilhado entre o estudante 2 e a professora. A professora estabelece o propósito e o ponto de chegada da narrativa – explicar a diversidade de tentilhões das Galápagos e a diversificação da espécie ancestral em treze espécies. O estudante 2 inicia a seqüência de eventos e define a agência. A professora faz uma intervenção no turno 23, de modo a interferir na ordem dos eventos que havia sido escolhida pelo estudante 2.

O estudante 2 propõe, entre os turnos 20 e 22, que a espécie ancestral foi para as ilhas e "acabou se adaptando lá", e começa a anunciar outro evento subseqüente. A intervenção da professora muda a ordem em que o evento de "adaptação" ocorre. A narrativa passa, então, a ter a seguinte seqüência de eventos: o pássaro ancestral foi para o continente, chegando lá ele teve que se alimentar, e então ele foi se adaptando. Esta operação, importante para a significação do conceito em direção a uma perspectiva evolutiva, é esquematizada na Figura 10. O termo adaptação, antes empregado para designar um fenômeno auto-explicativo, ou um processo que explicaria a diversificação da forma orgânica, passa a figurar como um fenômeno resultante de algum outro evento ou processo. Nesta narrativa, a adaptação resulta da necessidade do pássaro de se alimentar.

O significado atribuído ao termo adaptação – processo resultante de uma necessidade do organismo – e o tipo de agência da narrativa – o organismo é protagonista do processo de adaptação – produzem um modo de falar que revelam uma negociação em direção à perspectiva transformacional.

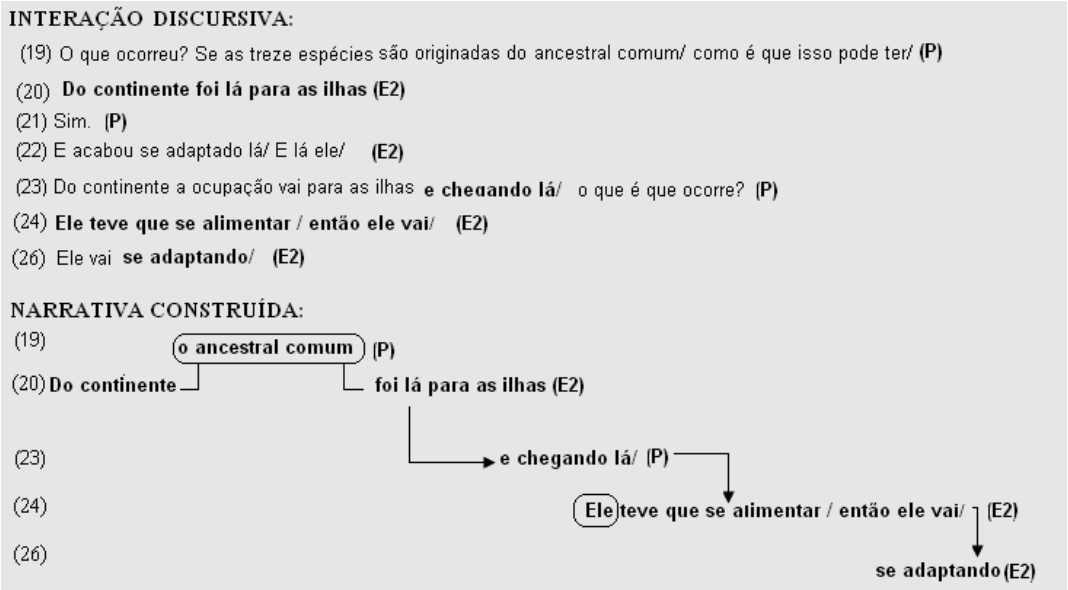


Figura 10: Construção de narrativa pelo estudante 2 em interação com a professora, entre os turnos de fala 19 e 26 do episódio 2.1, para explicar a origem da diversidade de tentilhões das Galápagos. Primeiro, são apresentadas as trocas de turnos de fala através das quais é construída a narrativa. Os números entre parênteses à esquerda indicam os turnos de fala, as letras entre parênteses do lado direito indicam a autoria do enunciado. Os eventos que compõem a narrativa estão destacados em negrito. Em seguida, apresenta-se uma reconstrução da narrativa resultante da interação discursiva. As setas indicam a ordem em que os eventos ocorrem, e o agente da narrativa encontra-se circulado. O esquema representa o papel exercido pela professora (P) e pelo estudante (E2) na construção da narrativa.

Nos turnos 25 e 27, a estudante 1 constrói uma narrativa com tema e propósito diferentes daqueles sugeridos pela professora. O propósito da narrativa é criar uma analogia entre a situação interpretada pelo estudante 2, a diversificação dos bicos dos tentilhões, e a mudança na morfologia da arcada dentária humana ao longo da evolução de nossa espécie. Neste caso, a estudante 1 assume, sozinha, o papel de narradora.

A narrativa é composta pela seguinte seqüência de eventos: nossos ancestrais foram manuseando talheres, deixaram, então, de comer de outra forma, ou seja, rasgando a carne, e os dentes foram, então, mudando até chegarem à morfologia atual. Nesta narrativa, há dois agentes, a espécie humana e os dentes. Em contraste a narrativa anterior, não são os organismos que protagonizam a mudança adaptativa, mas a estrutura morfológica da espécie que **sofre** a mudança: *"os dentes foram mudando com o passar do tempo"*.

Outro aspecto importante em relação à explicação narrativa da estudante 1 reside no fato de se tratar de uma construção híbrida, em que a narrativa é enriquecida com explicações de outra natureza. É o caso, por exemplo, da explicação funcional para a morfologia dos dentes ancestrais: *"Os dentes eram bem parecidos com o canino devido a alimentação porque eles tinham que rasgar..."*

No turno 28, a professora solicita que os estudantes voltem a desenvolver a narrativa para o problema inicialmente proposto e, entre os turnos 29 e 35, é construída uma terceira narrativa pelos estudantes 1 e 2 e pela professora, a qual estabelece um padrão triádico de interação I-R-A.

No que se refere ao papel de narrador, a professora estabelece o propósito da narrativa. A estudante 1 estabelece a agência e o evento inicial. A professora faz intervenções na tentativa de mudar a agência e a ordem de eventos sugerida pela estudante 1. E, por fim, o estudante 2 constrói a seqüência de eventos, a partir dos desafios e apoios oferecidos pela professora. A participação dos estudantes 1 e 2 e da professora na construção da narrativa se encontra esquematizada na Figura 11.

No turno de fala 30, a professora, ao avaliar a resposta da estudante 1, procura mudar o agente da narrativa proposto pela aluna, "ele", o pássaro ancestral, para a "população"de pássaros ancestrais. No entanto, na iniciação seguinte, ela usa novamente o pronome "ele", o qual é adotado pelo estudante 2, no turno de fala 33. No turno de fala 34, a professora faz nova tentativa de mudar o agente da narrativa, ao parafrasear a resposta do estudante 2 usando o verbo "ter" na terceira pessoa do plural. A despeito destas estratégias, o estudante 2 persiste em colocar como agente da narrativa o pronome "ele".

Há, no entanto, algumas mudanças em relação à narrativa anterior sobre o mesmo tema, construída pelo estudante 2 e pela professora. A conexão entre os eventos de "chegar às ilhas" e de "ter de se alimentar" ou de "ter de se adaptar" (ver Figura 10) é melhor qualificada, ao se introduzir o evento em que o pássaro ancestral encontrou uma diversidade de recursos no arquipélago (ver Figura 11). Este acréscimo é possibilitado pela avaliação da professora no turno 32. Nesta segunda narrativa, de modo diferente da primeira, o ponto final é a diversificação dos bicos, e não a adaptação dos pássaros à ilha. Outro aspecto importante é que os pássaros figuram como protagonistas das ações de migrar, de encontrar alimentos diferentes e de se adaptar, mas não protagonizam a mudança dos bicos, a qual figura como uma ocorrência conseqüente do processo de adaptação, este sim protagonizado pelos pássaros.

A narrativa resultante desta interação tem a seguinte seqüência de eventos: o pássaro ancestral migra do continente para as ilhas (E1), encontra uma diversidade de alimentos e ambientes diferentes (P; E2), se adapta para sobreviver e ocorre a mudança dos bicos (E2). Desse modo, as interações discursivas estão se movendo, ao longo do episódio, em direção à estória científica.

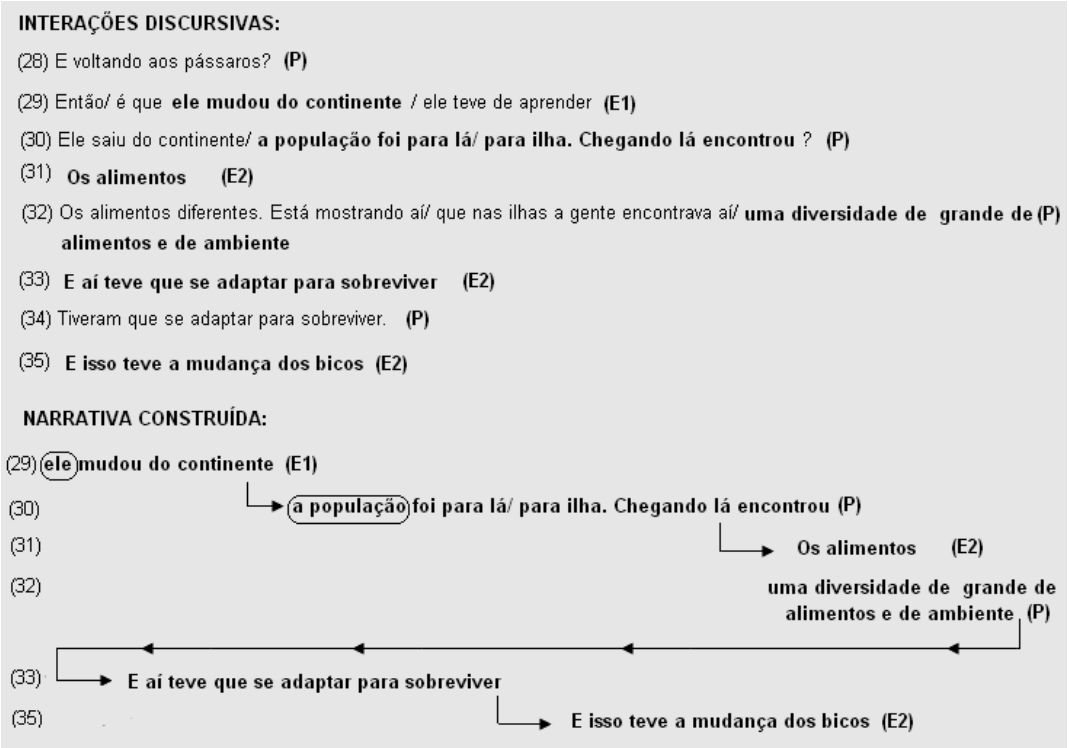


Figura 11: Construção de uma explicação narrativa transformacional para a diversificação dos bicos dos tentilhões, através da interação discursiva entre professora (P), estudante 1 (E1) e estudante (E2), ao longo de um trecho do episódio 2.1. (ver legenda da figura 10).

O episódio finaliza com um turno de fala não-interativo e de autoridade da professora, no qual ela estabelece que o conceito de ancestral comum explica um dado empírico observado, qual seja, a similaridade morfológica entre a espécie de tentilhão do continente e as treze espécies destes pássaros encontradas nas ilhas Galápagos.

Apesar de a professora encorajar, no início do episódio, os estudantes a apresentarem seus modelos explicativos, sem fazer avaliações, permitindo de fato que mais de um ponto de vista fosse disponibilizado no plano social da sala de aula, não podemos dizer que se estabeleceu uma abordagem comunicativa dialógica neste episódio, uma vez que estes pontos de vista não foram propriamente considerados e desenvolvidos. No turno 11, a professora estabeleceu os rumos a partir dos quais os estudantes deveriam desenvolver suas explicações e, a partir deste momento, empregou estratégias para dirigir o discurso para um ponto de vista mais próximo da ciência escolar, ao desconsiderar ou avaliar negativamente idéias mais próximas à perspectiva do ajuste providencial, ao tempo em que selecionava idéias que favoreciam o desenvolvimento de uma explicação evolutiva para a diversificação da forma orgânica. Portanto, a abordagem comunicativa que predominou neste episódio é de natureza interativa e de autoridade.

Em termos do processo de significação do conceito de adaptação, podemos concluir que houve uma negociação em torno dos compromissos ontológicos e epistemológicos que fundamentam a forma de pensar identificada na zona ajuste providencial, em direção ao desenvolvimento de uma perspectiva transformacional de interpretação da adaptação, esta última caracterizada na terceira zona de nosso modelo de perfil.

No início do episódio (turnos 1-19), predomina a interpretação do conceito de adaptação como estado de ser dos organismos de se encontrarem ajustados às condições ambientais, um compromisso ontológico próprio da zona ajuste providencial. O uso das expressões “conforme”, “de acordo” e “capacidade de se adaptar” são marcas lingüísticas que indicam esta perspectiva (turnos 3, 6, 17). Ocorre, no entanto, uma mudança na forma de pensar e falar sobre adaptação no plano social da sala de aula, no que diz respeito ao caráter ontológico deste conceito. À medida que os estudantes 1 e 2 adotam a noção de ancestralidade comum e se propõem a interpretar a diversificação dos tentilhões das Galápagos a partir da construção de narrativas, o termo adaptação passa a denominar um processo gradual de mudança. O uso da expressão “vai se adaptando” (turno 26) é uma marca lingüística deste novo modo de significar o conceito na explicação da diversidade orgânica. Este novo compromisso ontológico propicia o desenvolvimento de uma perspectiva evolutiva de interpretação da origem e diversificação da forma orgânica, um compromisso epistemológico

compartilhado pelas zonas transformacional e variacional do perfil conceitual, que já havia emergido no turno de fala 4 da estudante 1.

Os seguintes aspectos discursivos e epistemológicos promoveram o desenvolvimento desta perspectiva evolutiva: (1) a introdução do conceito de ancestralidade comum e a ação docente de marcá-lo como uma idéia chave; (2) estratégias enunciativas da professora que propunham a construção de uma narrativa; (3) a proposição, pela estudante 1, de uma analogia entre o caso estudado e a explicação para a modificação da arcada dentária humana a partir da mudança de hábitos alimentares ancestrais; e (4) a construção de narrativas pelos estudantes 1 e 2 a partir de desafios e apoios dados pela professora.

Logo no início do episódio (turno 4), a estudante 1 disponibilizou uma semente para o desenvolvimento de um compromisso epistemológico distintivo da zona variacional, o foco nas relações dos organismos com seu entorno ecológico. No entanto, este ponto de vista não foi explorado. Além disso, a perspectiva evolutiva de interpretação da adaptação e o foco nas relações dos organismos com seu entorno ecológico são compromissos epistemológicos necessários, mas não suficientes, para que a zona variacional possa emergir e ser significada.

Ao final do episódio, os estudantes se encontra compromissados com a noção de que a diversidade orgânica é explicada por uma mudança evolutiva dirigida, que ocorre nos organismos individuais de uma espécie, i.e., uma perspectiva transformacional de compreensão da adaptação evolutiva. O modo de falar associado a esta forma de pensar é caracterizado por enunciados em que os organismos são os agentes da mudança evolutiva e têm como marca lingüística o uso recorrente da expressão "[ele, o organismo] teve de se adaptar".

No quadro 10, apresentamos uma síntese dos aspectos que se interrelacionaram no processo de significação do conceito de adaptação durante este episódio.

Quadro 10: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.1.

Intenções da professora	Explorar Idéias dos estudantes: Explicações para a diversidade de bicos dos tentilhões das Galápagos Introduzir e desenvolver a "estória científica": introduzindo a noção de descendência comum, perspectiva evolutiva.
Conteúdo do discurso	Explicação teórica
Abordagem comunicativa	Interativa/ de autoridade
Padrões de Interação	(1-7): I-R_1-R_2-R_1-P-R_3-S (7-19): Tríades I-R-A (19- 28): I-R-P-R-A/I-R_2-R_1-R_2-R_1-A (28-36): Tríades I-R-A
Formas de pensar	•(1-19) Adaptação como propriedade ou estado de ser do organismo •(19-36) Adaptação como processo de mudança evolutiva

Modos de falar	•(1-19) Afirmação da relação de adequação necessária entre estrutura morfológica e atividade vital do organismo. Termos e expressões recorrentes: *Conforme, de acordo, tem capacidade de adaptação.* •(19-36) Narrativa em que organismos ou grupos de organismos são protagonistas de uma transformação em direção ao ajuste às necessidades de sobrevivência. Expressões recorrentes:*"vai se adaptando", "teve que se adaptar"*
Perspectivas de significação do conceito	Negociação em torno de compromissos da zona ajuste providencial em direção ao desenvolvimento de compromissos da zona transformacional

O segundo episódio selecionado na segunda aula é contíguo ao anterior e foi delimitado por representar uma mudança no processo de significação do ponto de vista da ciência escolar para a explicação da adaptação. No episódio anterior, o foco do discurso foi a construção de univocidade em torno da significação de uma perspectiva evolutiva. No episódio que segue, a professora emprega estratégias enunciativas com a intenção de dirigir o discurso para a busca de um mecanismo evolutivo, através do qual a mudança adaptativa ocorre.

Episódio 2.2*: Estamos concordando aqui que nas populações vão existir variações*

36. **Professora:** Então/ se a gente trabalha com essa idéia ((a de descendência comum))/ o que é que ocorre? A população do continente/ ela vai nas ilhas/ chegando lá/ ela vai encontrar condições ambientais diferentes/ conseqüentemente/ condições de alimento diferentes. E aí? Como é que ocorre isso aí?
37. **Estudante2:** Como é que ocorre a transformação desses bicos?
38. **Professora:** Sim ((entonação e fisionomia que deixa claro discordância com os termos usados pelo estudante)). Como é que ocorre essa coisa de SURGIR treze espécies diferentes a partir de uma que estava lá/ de uma só? Como é que vocês acham que isso ocorre?/ As espécies numa população/ elas são IGUAIS?
39. **Estudante 2:** Não.
40. **Professora:** A população do tiziu[31] lá do continente/ eles são todos iguais?
41. **Estudante 2**: Não.
42. **Professora:** Apresentam o que?
43. **Estudante 3:** Apresentam características iguais...
44. **Estudante 2:** Apresentam características diferentes.
45. **Professora:** Apresentam características iguais e características diferentes. Sim/ e daí? Isso favorece/ o que? Isso favorece o que?
46. **Estudante 5:** Por que aparece/ iguais e diferentes?
47. **Professora:** Então a gente tem/ por exemplo/ numa população/ VARIAÇÕES. Já que a gente está concordando aqui que na/ nas populações vão existir VARIAÇÕES/ né? Por exemplo/ tamanho de bicos diferentes. O que é que ocorre? Aí/ vamos mostrar isso aqui para retomar/ Dois pesquisadores/ Rosemary e Peter Grant/ passaram 30

[31] Este termo esta sendo usado como sinônimo de tentilhão. Trata-se de um regionalismo, pois se refere ao nome popular de uma espécie de ave passeriforme do mesmo grupo taxonômico dos tentilhões (fringilídea) que ocorre no Brasil.

> ANOS estudando o comportamento das populações destes pássaros e/ entre suas descobertas/ destacam-se TRÊS DADOS / Vamos lá? Então/ eles passaram 30 anos nessas ilhas/ somente estudando estes pássaros/ tá? Eles concluíram que/ hum/ Pequenas variações nas medidas do bico podem resultar na capacidade ou não de comer determinado tipo de semente. Então/ a gente tem na população/ o que? Uma variação no tamanho nas medidas do bico. Aves com bicos menores gastam mais tempo manipulando sementes duras do que aves dos bicos maiores/ pois quanto maior a força do bico/ menor o tempo de manipulação. (...) E a terceira informação/ o tamanho do bico é uma característica HERDADA/ ou seja/ pais com bicos grandes produzem filhotes com bicos grandes e vice-versa.

O episódio começa com uma iniciação da professora em que, após repetir parte da narrativa proposta no episódio anterior pelos estudantes 1 e 2, sugere que o discurso se dirija para a descrição de um mecanismo através do qual se deu a mudança evolutiva pressuposta nesta narrativa, ao fazer a questão "Como é que ocorre isso aí?".

O estudante 2 faz, no turno seguinte, uma questão, tentando esclarecer o evento ao qual a professora quis se referir, sugerindo que seria a transformação dos bicos. No turno 38, a professora avalia a resposta do estudante 2, parafraseando a pergunta dele, de modo a substituir o evento de transformação dos bicos pelo evento do surgimento das treze espécies de tentilhões a partir da espécie ancestral do continente, dando ênfase ao verbo "surgir", através de mudança na entonação e modulação da voz.

Neste mesmo turno de fala, a professora faz nova iniciação de escolha: "As espécies numa população, elas são iguais?". A entonação ao pronunciar o termo "iguais" induz os estudantes a responderem negativamente, como esperado por ela, o que faz de fato o estudante 2 (turno 39). Nos turnos 40 e 42, são feitas perguntas desta mesma natureza pela professora, para as quais o estudante 2 fornece as respostas esperadas (turnos 41 e 44), que apenas completam a retórica da professora. No turno 43, o estudante 3 responde à questão de maneira inesperada pela professora. No entanto, em lugar de explorar a resposta deste estudante, a professora, entre os turnos 45 e 47, parafraseia as respostas dadas pelos estudantes 2 e 3, que apontavam para características iguais e diferentes, de modo a significar a presença de variações fenotípicas na população.

É preciso chamar a atenção para um deslize cometido pela professora no uso da terminologia no turno de fala 38, que pode ter influenciado o processo de significação dos estudantes. Em lugar de perguntar se os indivíduos em uma população são iguais, ela perguntou se as "espécies numa população são iguais?". Poderia ser apenas uma troca acidental de termos, a qual passaria despercebida. Mas como coloca em jogo os conceitos de espécie e de população e os significados biológicos destes conceitos provavelmente não se

encontram estabilizados na forma de pensar dos estudantes, e dada, ainda, a importância que assumem para a compreensão do pensamento darwinista, podemos inferir que este é um deslize com implicações no processo de produção de significados pelos estudantes ao longo das aulas.

No turno de fala 45, a professora fez uma iniciação em que questionava qual a implicação da constatação de que há características diferentes dentro da população. Ao fazê-lo, usou um termo distintivo do modo darwinista de narrar a mudança adaptativa, na linguagem social da ciência escolar, a saber, o termo "favorecer" – "Isso favorece o que?".

A professora não obteve, contudo, resposta para esta questão. No turno seguinte, o estudante 5, tendo notado o problema da oposição entre as respostas dos estudantes 2 e 3, perguntou sobre a razão para aparecer tanto características iguais como diferentes na população.

A professora não contempla, propriamente, a questão do estudante, e produz um enunciado final em que sistematiza o conceito de variação intrapopulacional, o qual buscou impor nos turnos de fala anteriores. Para dirigir os estudantes a aceitarem o pressuposto de que existem variações fenotípicas nas populações naturais, a professora apelou para a autoridade da ciência, apresentando dados empíricos de pesquisadores que dedicaram boa parte da vida ao estudo de populações naturais de tentilhões.

Um aspecto lingüístico importante da descrição empírica e teórica que a professora faz da variação fenotípica nas populações de tentilhões, através da apresentação dos dados destes pesquisadores, reside no uso de comparativos de superioridade e inferioridade na descrição da eficiência das variantes na exploração de diferentes tipos de sementes: *"Aves com bicos menores gastam mais tempo manipulando sementes duras do que aves dos bicos maiores/ pois quanto maior a força do bico/ menor o tempo de manipulação"*. Este é um aspecto característico do modo de falar da narrativa variacional para a mudança adaptativa.

Uma estratégia enunciativa utilizada neste turno de fala que também merece atenção é o uso do dêitico "a gente". Através desta estratégia, a professora pretende construir um contrato de intersubjetividade em torno da noção de variação fenotípica nas populações naturais, incluindo os estudantes em um coletivo virtual do qual, na verdade, nem todos fazem parte, pelo menos não ainda: "*Então, **a gente** tem, por exemplo, numa população, variações. Já que **a gente** está concordando aqui que nas populações vão existir variações...*".

Através desta estratégia, das seqüências de interação baseadas em iniciações de escolha e produto (turnos 38 a 44) e da atitude de ignorar intervenções que contrariam ou atrapalham e dispersam o desenvolvimento do ponto de vista da ciência escolar, a exemplo da

iniciação do estudante 5 (turno 46), a professora estabelece uma abordagem comunicativa de autoridade. Neste episódio, não há inter-animação de idéias e o discurso se encontra todo centrado na introdução de noções que fundamentam a perspectiva darwinista escolar de interpretar a adaptação, como, por exemplo, a variação intrapopulacional e o princípio da herança.

A despeito de haver trocas de turnos de falas, a estrutura de interação estabelecida em sala de aula dá à abordagem comunicativa um caráter mais próximo ao pólo não-interativo. No diagrama que representa esta estrutura de interação (Figura 12), podemos ver mais claramente que, dos seis turnos de fala da professora, apenas um está envolvido em uma interação diádica com estudantes (troca de turno com estudante 2, representado pela seta dupla). Os demais (cinco turnos) são enunciados que se dirigem a um interlocutor coletivo. Entre estes turnos de fala, três são iniciações de produto e escolha, cujas respostas apenas têm a função de completar o argumento que se pretende desenvolver (turnos 38, 40, 42), e um deles é um turno de fala bastante longo, em que é feita uma síntese final do ponto de vista da ciência escolar (turno 47). Apenas três estudantes se engajam ativamente, fornecendo, na maior parte das vezes, respostas monossilábicas, e já esperadas pela professora, para questões de caráter instrucional. Quando um estudante se dirige à professora sem solicitação prévia, como é o caso do estudante 5, ele não é aceito como parceiro na interação com a mesma.

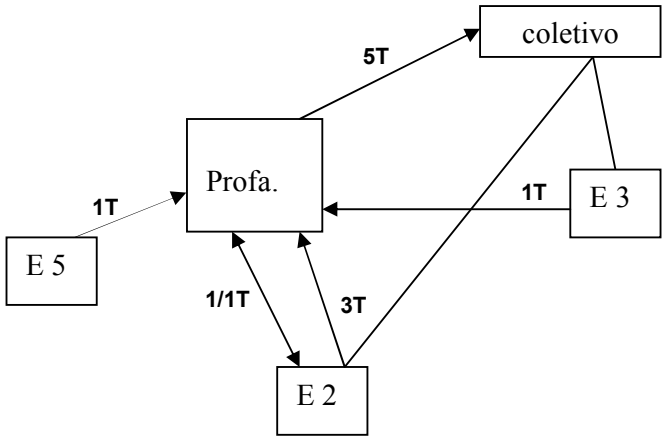


Figura 12: Diagrama da estrutura de interação em sala de aula, ao longo do episódio 2.2. (ver legenda da figura 9).

No que diz respeito às perspectivas de significação do conceito de adaptação, não há propriamente uma negociação de significados, mas sim um esforço da professora para dirigir o discurso rumo ao estabelecimento de consenso em torno de aspectos epistemológicos que

distinguem as zonas correspondentes às perspectivas transformacional e variacional, mais especificamente, o pensamento populacional.

Neste episódio, a professora emprega as seguintes estratégias para introduzir o modo de pensar da zona variacional: (1) estabiliza o compromisso com a perspectiva evolutiva de explicar a diversidade morfológica dos bicos dos tentilhões, ao relacioná-la com o surgimento de novas espécies; (2) direciona a discussão para outro patamar, o de analisar qual mecanismo promove a mudança evolutiva, ao enfatizar a questão da forma "Como isso ocorre?"; e (3) através de um discurso de autoridade e não-interativo, introduz o conceito de variação intrapopulacional e o princípio da herança.

No quadro 11, são apresentados de forma sistematizada os aspectos que caracterizaram o discurso da sala de aula ao longo deste episódio.

Quadro 11: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.2.

Intenções da professora	Introduzir e desenvolver a "estória científica": introduzindo o conceito de variação intrapopulacional e princípio da herança.
Conteúdo do discurso	Generalização teórica: as populações naturais apresentam variação fenotípica. Descrição teórica: o formato e tamanho dos bicos dos tentilhões é uma característica herdada.
Abordagem comunicativa	Não-interativa de autoridade
Padrões de Interação	(36-38) I-R-A (38-45) I-R-I-R-I-R_3-R_2-A/I-R-S
Formas de pensar	Estabelecimento do pensamento populacional
Modos de falar	• Fator interno à população *favorece* a mudança evolutiva. • Uso de comparativo de superioridade e inferioridade (*quanto menor*; *quanto maior*), na análise da eficiência de variantes fenotípicas.
Perspectivas de significação do conceito	Estabelecimento de compromissos epistemológicos da zona variacional.

O próximo episódio é contíguo ao anterior. Após ter fornecido os dados acerca da eficiência diferencial de certas variantes fenotípicas nas populações de tentilhões ao explorar recursos alimentares, conforme os estudos de Grant e Grant (1995), a professora propôs que os estudantes fizessem previsões acerca de mudanças em populações diferentes de pássaros frente a alterações das condições ambientais das ilhas em que viviam.

Esta proposição tem, em princípio, um grande potencial para fazer emergir uma perspectiva variacional de interpretação da mudança evolutiva. Contudo, foi cometido um deslize na construção do argumento que dificultou a emergência de tal perspectiva. Em lugar de o problema ser colocado em termos da existência de uma população com variantes

fenotípicas, organismos individuais com bicos menores e maiores, sendo então requerida uma previsão sobre o que ocorreria com esta população frente a uma situação de seca nas ilhas, foi estabelecida a existência de duas populações diferentes, uma com indivíduos de bicos pequenos e outra com indivíduos de bicos grandes, e solicitado aos estudantes que previssem o que aconteceria com estas duas populações na circunstância ambiental mencionada acima. Este equívoco esteve presente desde o momento da elaboração do roteiro de discussão que orientou a seqüência didática e continuou sendo cometido pela professora durante a interação em sala de aula.

De qualquer modo, o problema proposto aos estudantes propiciou a apresentação de princípios que estruturam a explicação da adaptação por seleção natural, a exemplo das noções de recursos limitantes e sobrevivência limitada, de sobrevivência e reprodução diferenciais, bem como da idéia mais geral de que mudanças demográficas podem ocorrer em decorrência de mudanças ambientais.

Episódio 2.3: ***Vão crescendo os bicos e as novas gerações vão vir com bicos maiores.***

48. **Professora:** De posse dessas novas informações vamos pensar nas seguintes situações. Vamos lá! Em uma das ilhas do arquipélago encontramos duas populações de tentilhões de espécies diferentes. Uma delas é de tentilhões com bico menores/ e a outra é formada por tentilhões que apresentam bicos grandes/ tá? O arquipélago de Galápagos costuma passar por anos de seca. Nestes períodos de seca/ a variedade e fartura de sementes diminuem/ Lógico/ né? O que você acha que pode acontecer com estas duas populações de pássaros/ durante uma estação muito seca/ que afeta a produção de uma variedade de sementes menores e macias?
49. **Estudante 2:** Migrar.
50. **Professora:** ((faz gesto pedindo que o aluno espere e aumenta o volume da voz)) O que aconteceria com a população de pássaros de bicos pequenos? E com a população de bicos grandes?
51. **Estudante 3:** A de bico menor/ ela tem dificuldade de se alimentar/ ela só se alimenta de/ sementes/ Então ela tem de ir para outros ambientes que tenha excedentes/ e os outros de bico maiores/ como eles podem se alimentar de/ de?
52. **Estudante 6**: Mas se são sementes menores/
53. **Estudante 2:** No caso, só pode ser sementes grandes para as pequenas?
54. **Estudante 6:** Não. Menores e macias.
55. **Estudante 2:** Não. Diminui a produção.
56. **Professora:** Diminui. Olha só/ A gente tem o que? ((lê o roteiro)) Costumam passar por anos de seca/ neste período a variedade e fartura das sementes diminui. Então /a gente não vai ter variedade de sementes/ como em tempos de chuva/ por exemplo. O que vocês acham que pode acontecer com as duas populações de pássaros/ uma que tem bico grande e outra que tem bico pequeno? DIMINUI A VARIEDADE/
57. **Estudante 5:** A de bico maior vai ter maior facilidade/ professora.
58. **Professora:** A de bico maior vai ter MAIS?
59. **Estudante 5:** Facilidade.

60. **Professora:** Facilidade. Por conta do próprio bico e aí/ o que vai acontecer? O que acontece com essa de bico maior? Ela vai ((faz gesto com mão, indicando continuidade))?
61. **Estudante 3:** Se adaptar ao ambiente.
62. **Professora:** Se adaptar. Mas ela vai se aliMEN...
63. **Estudante 3**: Se alimentar/ né?
64. **Estudante 1**: Ela vai conseguir se sobreviver/ né?
65. **Professora:** Hein?
66. **Estudante 1:** Ela vai conseguir se sobreviver.
67. **Professora**: Ela vai conseguir sobreviver. Sobreviver no sentido de/ aumentar a taxa de reprodução/ vamos assim dizer. Se ela se alimenta bem? Ela vai se reproduzir/ e vai deixar descendentes. Não é isso? E a população de bicos menores?
68. **Estudante 4:** Pode não sobreviver ou então migrar para outro lugar para procurar alimento.
69. **Professora:** Sim/ ((entonação que transparece que ainda não é a resposta que desejava)).
70. **Estudante 2:** Ou ela vai tentar comer aquele alimento duro mesmo. E isso vem as modificações dos bicos ((faz gesto representando alongamento do bico))

((risos da turma))

71. **Professora:** Eu não entendi direito. Fala aí de novo.
72. **Estudante 1:** É, como os bicos são hereditários/
73. **Professora:** Sim os bicos são hereditários/ são características hereditárias.
74. **Estudante 1:** Então/ com o passar/ vão crescendo os bicos e as novas gerações vão vir com bicos maiores.
75. **Professora:** Sim/ porque você teve populações de bicos maiores que se alimentaram mais. E com aquelas de bicos pequenos/ o que acontece o que com elas?
76. **Estudante 7:** Vai demorar mais tempo. ((referindo-se ao tempo de manipulação das sementes maiores)).
77. **Professora:** Vai demorar mais tempo. Mas aí/ o período é longo de seca/ e o que é que vai acontecendo com esta espécie? ((Vários estudantes falam ao mesmo tempo)) Todo mundo vai falar ao mesmo tempo?
78. **Estudante 2:** Professora/ é isso que eu estou querendo falar. Ele vai se modificando/ que ela vai tentar comer a semente mais dura.
79. **Professora:** Ele vai entrar em extinção? A estudante 7 está dizendo/ E estudante 2 disse que ela vai?
80. **Estudante 2**: Se modificando o bico/ porque ela vai se adaptando ao que ela está comendo/ aquele fruto.
81. **Estudante 6:** Mas é hereditário. Não tem como crescer o bico.
82. **Estudante 2:** Não tem como se modificar não/ professora?
83. **Professora:** Então/ a gente vai entender como é que ocorre este processo de modificação. Veja bem/ com relação a isso aqui ((aponta para o roteiro)). Com relação a esse dado do período de seca/ o que a gente tem? ((professora olha para relógio)) As populações de bicos maiores têm mais chances de se alimentar nos períodos de seca. Portanto/ elas vão deixar mais descendentes/ não é isso? E as populações de bico menores, elas vão? Perdendo essa capacidade de alimentação/ conseqüentemente a população vai diminuindo/ tá?

Neste episódio, a professora teve a intenção de desenvolver a "estória científica", ao tentar disponibilizar princípios que estruturam a explicação variacional para a mudança adaptativa, mais especificamente, o princípio da sobrevivência e reprodução diferenciais. Ou

seja, a idéia de que, uma vez que os recursos são limitados e os organismos apresentam variação fenotípica que lhes atribuem eficiência diferencial em sua exploração, haverá uma sobrevivência diferencial dos organismos dotados de características que os tornem mais eficientes, os quais também terão maiores chances de se reproduzir e deixar descendentes.

Além disso, foi dada também aos estudantes a oportunidade de empregar idéias científicas que já haviam sido introduzidas no episódio anterior, como a noção de variação intrapopulacional em características hereditárias.

No primeiro turno de fala, a professora colocou a situação-problema, como já descrita anteriormente. Antes mesmo que a professora terminasse de colocar a questão para discussão, o estudante 2 propôs que, frente à escassez de alimento, os pássaros migrariam, nada mencionando sobre a posse de bicos grandes ou pequenos (turno 49). No turno seguinte, a professora avaliou indiretamente a resposta do estudante 2, ao fazer um gesto solicitando que ele aguardasse, e, aumentando dão volume de sua voz, colocou em questão o que aconteceria com as populações de bicos grandes e de bicos pequenos.

O estudante 3 respondeu a esta iniciação da professora no turno 51, propondo que os pássaros de bico pequeno teriam dificuldade de explorar o recurso disponível. No entanto, em lugar de considerar um possível aumento na taxa de mortalidade nesta população, supôs a possibilidade de os pássaros migrarem e encontrarem recursos em outra área, onde houvesse recursos excedentes. É provável que seu argumento tenha sido influenciado pela menção anterior à migração, pelo estudante 2. Um aspecto importante no modo de falar e pensar do estudante 3, ao propor sua interpretação, é o de que ele não compara a eficiência dos pássaros de bicos pequenos e bicos grandes na exploração dos recursos, e tampouco considera a possibilidade de competição entre eles. Ele prevê que os pássaros de bico pequeno terão dificuldades em termos absolutos e, então, deverão migrar, ao contrário dos pássaros de bicos maiores, que possuíriam a habilidade de explorar as sementes disponíveis. Esta previsão do estudante 3 preserva o compromisso com a perspectiva do ajuste providencial, em particular, no que diz respeito aos compromissos ontológicos manifestos na compreensão da adaptação como estado de ser dos organismos e no apelo a um princípio de harmonia como organizador das relações entre organismos e ambiente.

No turno 52, a estudante 6 fez uma ponderação em relação à interpretação do estudante 3, no que diz respeito ao fator ambiental que estava sendo analisado. Na fala deste último estudante, a disponibilidade ou não de sementes foi levada em conta, mas o problema posto mencionava a diminuição na variedade de sementes. Tendo em vista este fato, a estudante 6 ponderou que, se sementes menores permanecessem na época de seca, a situação

poderia ser outra. Afinal, os pássaros de bico pequeno seriam, então, favorecidos. Ao sugerir esta idéia, a estudante 6 criou condições para que fosse trabalhada a noção de que a aptidão de um organismo na exploração de algum recurso não é absoluta, na medida em que não depende apenas de seu fenótipo, mas também das condições ambientais.

A intervenção da estudante 6, no turno 52, abriu uma pauta interacional entre ela e o estudante 2, que, entre os turnos 53 a 55, se debruçaram sobre o problema da disponibilidade de sementes para os tentilhões. Esta pauta é importante porque revela a preocupação de explorar melhor quais fatores ambientais estariam atuando sobre as variedades fenotípicas em questão.

A professora aceitou a informação fornecida pelo estudante 2, de que há uma diminuição na produção de sementes, e disponibilizou para a turma não somente esta informação, como também a de que tanto a quantidade quanto a variedade de sementes diminuem, em conseqüência do longo período de seca. Em seguida, ela fez nova iniciação, dando ênfase à informação de que a variedade de sementes diminui (turno 56).

Em resposta, o estudante 5 produziu um enunciado que fornecia um importante instrumento de pensamento para a construção de uma explicação variacional. Ao afirmar que os pássaros de bico maior terão "maior facilidade", este estudante, ao contrário do estudante 3, fez uma comparação de eficiência na obtenção de recursos entre as duas populações de pássaros, em particular, entre os tamanhos relativos de uma estrutura morfológica, o bico. A despeito do fato de estarem sendo comparadas duas populações, em lugar de duas variantes fenotípicas numa mesma população, foi disponibilizado um dos caracteres distintivos da abordagem variacional darwinista, a saber, a de que ela constitui uma explicação da diferença.

Segundo a análise de Caponi (2002) acerca da estrutura da explicação selecional, o objetivo da explicação darwinista é responder por que uma estrutura ou um comportamento adaptativo se tornou predominante em uma população, formulando e testando, para tanto, um conjunto de hipóteses acerca de pressões seletivas sob as quais aquela estrutura ou comportamento pode desempenhar uma função de modo mais eficiente que uma alternativa igualmente viável do ponto de vista morfológico, fisiológico ou filogenético. Uma das marcas discursivas da produção de um modo de falar próprio de uma explicação variacional para a adaptação consiste, portanto, no uso do comparativo de superioridade, como empregado pelo estudante 5, no turno 57.

No turno seguinte, a professora fez uma questão ao estudante 5, com a intenção de que ele repetisse sua resposta, de modo a não somente disponibilizá-la para a turma, mas também marcar a idéia nela contida como uma idéia chave para a construção da estória científica. Com

a mesma intenção, a professora repetiu a resposta do estudante 5 no turno seguinte, enfatizando que é a característica de ter o bico grande que dota os pássaros de maior eficiência na exploração dos recursos. Ela fez, então, uma nova iniciação, solicitando aos estudantes que fizessem previsões sobre o que deveria acontecer com esta população.

O estudante 3 respondeu empregando o termo "se adaptar" com o sentido de ajustar-se às condições ambientais. A professora avaliou esta resposta negativamente e propôs a substituição do termo "se adaptar" por "se alimentar". No turno 64, a estudante 1 elaborou a referência à alimentação, generalizando-a de modo a chegar à noção de "conseguir sobreviver". No turno de fala 67, a professora aceitou a resposta da estudante 1, mas a remodelou, ampliando seu significado e, assim, formulando o princípio de sobrevivência e reprodução diferenciais.

A estudante 4 respondeu que a população não sobreviveria, a menos que migrasse para outra região. A professora avaliou positivamente o que foi dito pela estudante, mas com uma entonação que dava a entender que ela não era ainda a resposta desejada, ou seja, a resposta satisfatória do ponto de vista da ciência escolar (turno 69).

O estudante 2 procurou, mais uma vez, interpretar o problema colocado pela professora a partir da construção de uma narrativa. No turno de fala 70, para apresentar sua previsão acerca do que ocorreria com a população de pássaros de bicos pequenos frente à escassez de alimento, ele iniciou a produção de uma narrativa cujo evento final era a mudança fenotípica dos bicos dos pássaros. Tratava-se, novamente, de uma narrativa na qual a mudança adaptativa era interpretada de acordo com uma perspectiva transformacional. O agente protagonista neste caso era a população de pássaros de bicos pequenos (denotada na fala do estudo pelo pronome "ela").

Diante da reação negativa da turma à proposta do estudante 2, manifestada na forma de risos, a estudante 1, a partir do turno de fala 72, procurou dar maior plausibilidade à narrativa proposta por ele. Para tanto, ela qualificou a conexão entre o evento de a população de pássaros de bicos pequenos tentar comer as sementes duras e o evento da ocorrência da modificação dos bicos destes pássaros. Além disso, ela acrescentou novos eventos até o ponto de chegada, o qual também não havia sido estabelecido pelo estudante 2, qual seja, a mudança adaptativa da população de bicos pequenos. Os papéis exercidos pelos estudantes 1 e 2 na construção desta narrativa estão esquematizados na Figura 13.

Podemos reconstruir a narrativa produzida na interação entre estes dois estudantes do seguinte modo: A população de pássaros de bicos pequenos tentará comer as sementes duras

(E2) e, com o passar do tempo, seus bicos irão crescendo (E1).[32] Como os bicos são hereditários, as novas gerações terão bicos maiores (E1).

Nesta narrativa, a agência é atribuída à população de pássaros de bicos pequenos, a qual protagoniza a ação voluntária de tentar comer as sementes duras. As mudanças adaptativas são eventos sofridos pelos bicos e pelas novas gerações, os quais figuram como pacientes das ações: *"vão crescendo os bicos"* e *"as novas gerações vão vir com bicos maiores"*.

Outra estratégia da estudante 1 para dar plausibilidade ao modelo, foi introduzir, de modo implícito, uma explicação de caráter dedutivo-nomológico[33]. No turno 72, ela estabeleceu uma condição antecedente, "como os bicos são hereditários", e considerando tacitamente como uma lei geral que as características hereditárias são transmitidas ao longo das gerações, ela explicou no turno 74 o fato conseqüente de as próximas gerações possuírem bicos modificados. Este é um indício de que a estudante 1 estava construindo suas explicações empregando tanto a linguagem social do cotidiano, como a linguagem social da ciência.

A professora não explorou a explicação proposta pela estudante 1. No turno de fala 75, ela apenas contemplou a última afirmação feita pela estudante no turno 74, *"as novas gerações vão vir com os bicos maiores"*, e acrescentou uma explicação variacional para este fato, *"porque teve populações de bico maiores que se alimentaram mais"*. Deste modo, o que era uma explicação para o que ocorreria com a população de pássaros de bicos pequenos, no enunciado da estudante 1, passou a ser um fato a ser explicado no enunciado da professora (turno 75). Através desta estratégia, a professora remodelou a narrativa da estudante 1, de modo a torná-la compatível com a perspectiva variacional, sem reconhecê-la como uma explicação para a previsão dada pelo estudante 2 para o que ocorreria com a população de bicos pequenos, mas sim para o que ocorreria com a população de bicos maiores.

A professora insistiu, então, para que os estudantes apresentassem outras previsões e explicações para o que ocorreria com a população de pássaros com bicos pequenos, enfatizando que o período de seca é longo (turno 77).

No turno 78, o estudante 2 insistiu na proposição de que a população passaria por uma mudança adaptativa através de um processo gradual de transformação dos bicos, que

---

[32] A idéia de que, com o passar do tempo, os bicos vão crescendo, enunciada pela estudante 1, substitui a frase mais vaga do estudante 2, "E isso vem as modificações dos bicos".

[33] Seguindo Norris e colaboradores (2005, p. 550), estamos considerando como explicações dedutiva-nomológicas, explicações em que fatos particulares são explicados derivando-os de leis gerais e de outros fatos ou condições antecedentes a partir de um argumento dedutivo. Os autores se baseiam no modelo de Hempel e Oppenheim, de acordo com o qual "uma explicação causal para um fato particular é dada quando regularidades empíricas (leis gerais) conectam um conjunto particular de condições antecedentes com a ocorrência de um evento particular" (Norris et. all., 2005, p. 547)

aumentariam de tamanho. Em seus enunciados, os organismos individuais, ou a população de organismos, figuram como protagonistas da mudança evolutiva (*ele vai se modificando; ela vai se adaptando*), sendo esta uma marca discursiva das perspectivas transformacionais.

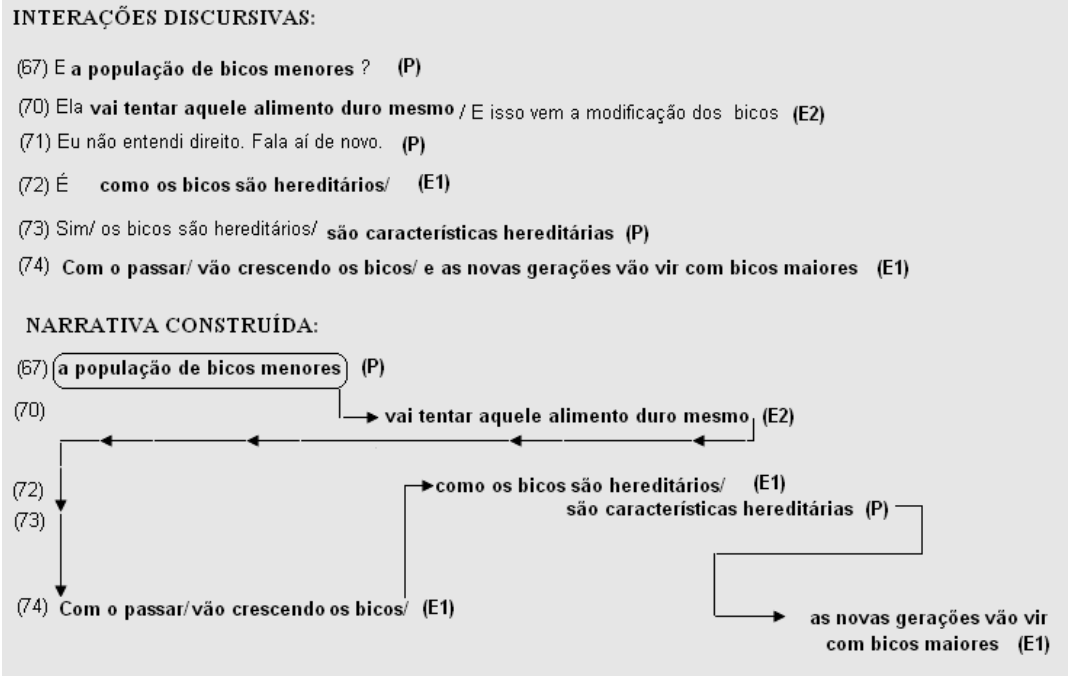


Figura 13: Construção de uma narrativa para explicar a mudança adaptativa de uma população de pássaros submetida à escassez de recursos alimentares, através de interação discursiva entre professora (P), o estudante 2 (E2) e a estudante 1 (E1), durante o episódio 2.3, entre os turnos 67 a 74. (ver legenda da figura 10).

A estudante 6 fez, então, uma ponderação a respeito da previsão feita pelo estudante 2, sugerindo que sua explicação para a mudança evolutiva não poderia ter plausibilidade, frente à informação de que a característica em questão é hereditária (turno 81). Sendo hereditária, ela não teria como sofrer modificações através do mecanismo sugerido pelo estudante 2. No turno de fala 82, o estudante 2 colocou uma questão, com a intenção de confirmar com a professora se a ponderação da colega procedia ou não, ou seja, buscando verificar a plausibilidade da interpretação que havia feito.

A professora optou por não responder diretamente à questão do estudante, esclarecendo que este seria um assunto sobre o qual ainda se debruçariam nas próximas aulas. Ao fazê-lo, ela deu a entender que poderia haver sim um processo de modificação da população, mas que este seria diferente daquele apresentado pelo estudante 2. Buscando não desviar as interações discursivas do tema da aula, uma vez que o mecanismo através do qual a mudança adaptativa ocorre seria melhor explorado na aula seguinte, a professora apresentou

uma síntese final, na qual destacou a noção de que a sobrevivência e reprodução diferenciais constituem um princípio geral que permite prever as mudanças demográficas sofridas tanto pela população de bicos grandes quanto pela população de bicos pequenos em decorrência da seca.

A abordagem comunicativa estabelecida ao longo deste episódio é de natureza interativa de autoridade. Embora seja um episódio bastante caracterizado pela emergência, nos enunciados dos estudantes, de pelo menos duas perspectivas diferentes de interpretação da adaptação, o ajuste providencial e a perspectiva transformacional, não há esforços da professora para explorá-los, nem para delimitar as diferenças entre os compromissos que as fundamentam.

A professora usa estratégias enunciativas para garantir que o discurso esteja centrado no estabelecimento de princípios que estruturam a narrativa variacional sobre a mudança adaptativa. É o caso da eficiência diferencial de variantes fenotípicas, do princípio de sobrevivência e reprodução diferenciais, e das mudanças demográficas de uma população.

Algumas destas estratégias dizem respeito à atitude de avaliar negativamente ou ignorar hipóteses que não contribuem para esta intenção, como é o caso da hipótese da migração, sugerida pelos estudantes 2 e 3 nos turnos de fala 49 e 51, respectivamente, e em certa medida, da mudança adaptativa da população de bicos pequenos através da transformação morfológica dos bicos, como proposto pelo estudante 2, na narrativa que construiu no final do episodio, em colaboração com a estudante 1. Outra ação relevante da professora consiste em remodelar enunciados dos alunos de modo que se tornem compatíveis com o desenvolvimento da "estória científica". Este foi o caso da operação feita pela professora no turno de fala 75, em relação à explicação dada pela estudante 1 nos turnos 72 e 74.

As idéias que auxiliam no desenvolvimento do ponto de vista da ciência escolar são, por sua vez, selecionadas, enfatizadas e tornadas disponíveis para toda a turma, como é o caso da resposta do estudante 5 no turno 57, a qual aponta para a eficiência diferencial na exploração de um recurso pela variante fenotípica "bico grande".

Esta abordagem comunicativa é mantida até o final do episódio, quando a professora apresenta o princípio da sobrevivência e reprodução diferenciais como sendo o resultado de uma síntese do que havia sido desenvolvido nos turnos de fala até então. O fato, contudo, é que está síntese não decorria realmente das interações anteriores. Ou seja, a professora formulou uma explicação, no turno 83, que não havia sido ainda alcançada pelos próprios estudantes, em suas formulações.

Este episódio apresenta uma especificidade em relação aos demais, no que diz respeito à estrutura de interação. Há um aspecto novo, a produção de pequenos diálogos dos estudantes entre si, nos quais eles analisam pressupostos que fundamentam as interpretações propostas por eles mesmos. A produção destes diálogos e o modo como se encontram inseridos na estrutura de interação em sala de aula são apresentados na Figura 6. Estudantes tomam a iniciativa de avaliar a fala dos colegas e/ou de fornecer *feedback* na forma de desafios ou apoios. É o que faz, por exemplo, a estudante 6 nos turnos 52 e 54, em relação à previsão proposta pelo estudante 3 no turno 51, assim como no turno 81, em relação à previsão proposta pelo estudante 2 no turno 80. Através destas estratégias enunciativas, os estudantes tentam implementar uma abordagem comunicativa dialógica. Esta tentativa é, no entanto, reprimida pela professora, uma vez que ela não procura integrar estas trocas entre os estudantes na dinâmica discursiva da sala de aula. Como fica claro no esquema da interação discursiva representado na Figura 14, as trocas de turno de fala entre a estudante 6 e os estudantes 2 e 3 – destacadas no interior da elipse – ficam isoladas da rede de trocas de turno de fala entre professora e estudantes que estruturam a interação em sala de aula.

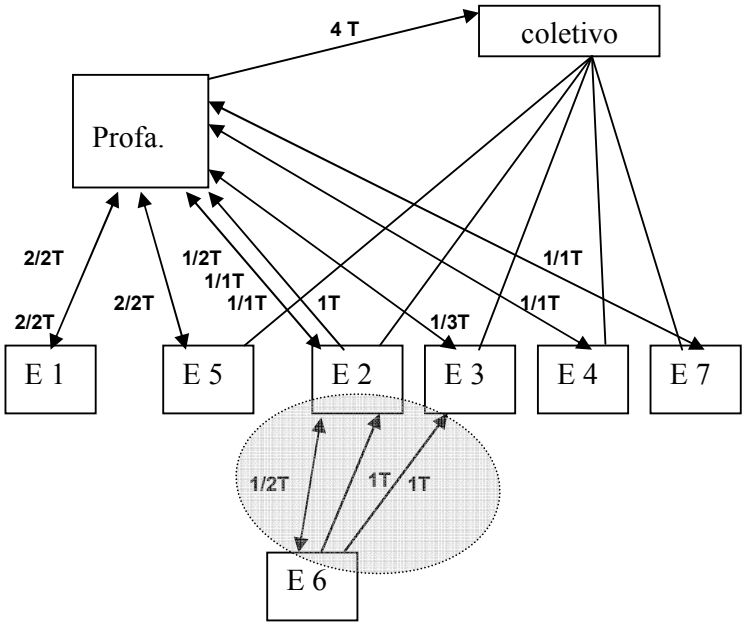


Figura 14: Diagrama da estrutura de interação em sala de aula ao longo do episódio 2.3. São destacadas as seqüências de interação entre a estudante 6 (E6) e os estudantes 3 (E3) e 2 (E2) (ver legenda da figura 9).

De qualquer modo, este tipo de participação dos estudantes permitiu certo nível de negociação de significados entre os modos de pensar e falar das perspectivas do ajuste providencial, transformacional e variacional que emergiram neste episódio.

Os aspectos que caracterizaram o discurso da sala de aula ao longo deste episódio se encontram sistematizado no quadro 12.

Quadro 12: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.3.

Intenções da professora	Desenvolver a história científica: introduzindo princípio da sobrevivência e reprodução diferenciais. Guiar os estudantes para que trabalhem com as idéias científicas: previsão de mudanças em populações naturais em situações de alterações ambientais.
Conteúdo do discurso	Descrição teórica Explicação teórica
Abordagem comunicativa	Interativa de autoridade
Padrões de Interação	(48-50) I-R-A (50-56) I-R_3-R_6-R_2-R_6-R_2*-A (56-62) Tríades I-R-A (62-67) I-R_3-R_1-P-R_1-A (67-75) I-R-A/I-R-P-R-A-R-A (75-83) I-R-F-R_2-P-R_2-R_6-R_2*-S
Formas de pensar	• Adaptação como propriedade do organismo; • Adaptação como processo de mudança evolutiva; • Análise comparativa da eficiência de variantes fenotípicas;
Modos de falar	• Enunciados em que os organismos individuais ou populações de organismos são protagonistas de uma mudança evolutiva gradual. (*ele vai se modificando; ela vai se adaptando*) (Estudante 2). • Enunciados em que as características fenotípicas sofrem uma transformação gradual (Estudante 1). • Uso do comparativo de superioridade para fazer inferências sobre eficiência de variantes fenotípicas (Estudante 5).
Perspectivas de significação do conceito	Negociação em torno dos compromissos epistemológicos e ontológicos que fundamentam as perspectivas do ajuste providencial, transformacional e variacional.
*seqüências de interação dos estudantes entre si	

O próximo episódio foi produzido no momento em que a professora resolveu concluir esta aula, verificando o entendimento dos estudantes. Ele se encontra separado do anterior por um intervalo de 13 turnos de fala, relativos à análise do que ocorreria com as duas populações de pássaros, caso a mudança ambiental levasse não à escassez, mas à abundância de recursos.

Episódio 2.4: ***Então, o que eu falei tá errado; porque disse que era genético.***

96. Professora: Gente/ esse caso aqui/ isso que a gente acabou de falar/ de discutir um pouco/ ficou claro? Tem algumas coisas/ Não, Estudante 2?
97. Estudante 2: Então/ por que/ no caso/ Por que ela modifica o bico?

98. Professora: Por que ela modifica o bico?
99. Estudante 2: Devido a alimentação. Não é isso?
100. Professora: Sim (em tom categórico). Tem a ver com alimentação/
101. Estudante 6: Devido alimentação ou isso é hereditário?
102. Professora: Como?
103. Estudante 6: Devido alimentação ou isso é hereditário?
104. Professora: A gente tem dados que são os seguintes/ o formato do bico é uma característica herdada. O que é que a gente tem? A gente tem numa população algumas variações. A gente leu aqui o texto/ numa determinada população de tentilhões vai existir uma variedade ali/ de tamanhos de bicos. Então o que acontece? A depender do ambiente que aquela população esteja/ o tipo de alimento vai fazer o que? Vai selecionar? ((gesto com a mão, trazendo algo para si))
105. Estudante 1: As espécies.
106. Professora: Aquela/ Os organismos/ né?/ as espécies/ que tem? ((gesto indicando a posse de bico)) que vai ter condições de se alimentar daquele tipo. Então/ com o passar do tempo/ essa população ela vai modificando/ ela vai passando/ Porque a gente tem dois fatores principais/ quando a gente estuda evolução/ na variabilidade de uma população/ que são as mutações/ e a própria variabilidade genética. Que a gente vai estudar mais a frente um pouquinho.
107. Estudante 2: Então/ o que eu falei tá errado.
108. Professora: Não. Não tá errado o que você falou/ a gente tá nesse processo que a gente vai/
109. Estudante 2: Mas eu fui bastante criticado/ professora. ((risos da turma))
110. Professora: Criticado/ por que?
111. Estudante 2: Porque disse que era genético.
112. Professora: Gente/ eu queria que vocês fizessem/ rapidinho/ os registros dessas/ Já me devolveram os roteiros/ foi? ((A professora parte para a organização das atividades para a próxima semana))

O episódio começa com uma iniciação da professora na qual ela pergunta aos estudantes se está claro o que foi discutido até então. A despeito desta iniciação da professora, consideramos que este é um episódio iniciado pelo estudante 2, uma vez que é sua iniciação que define a pauta de interação que se dá em seguida.

O estudante 2, diante de alguns questionamentos feitos pela estudante 6 à explicação proposta por ele, a exemplo da ponderação feita no turno de fala 82 do episódio anterior, faz uma questão em que procura verificar a plausibilidade e correção de suas idéias sobre o mecanismo causal da mudança evolutiva. Entre os turnos 97 e 99, o estudante busca confirmação da professora acerca da proposta de que a população de pássaros modifica os bicos devido à alimentação.

A professora confirma, mas parafraseia a fala do estudante 2, substituindo a afirmação "devido a alimentação" pela asserção de que "tem a ver com a alimentação". Deste modo, a professora dá a entender que o papel causal da alimentação na mudança adaptativa não é

aquele atribuído pelo estudante, bem como que a alimentação não representa o único fator causal envolvido neste processo.

A estudante 6 se dirige à professora no turno 101, procurando confirmar, afinal, qual fator causal é responsável pela morfologia dos bicos dos pássaros. Ao fazê-lo, ela opõe e coloca como mutuamente excludentes a herança genética, um fator interno ao organismo, e a alimentação – aqui significando oferta de alimento –, um fator externo ao organismo.

Diante da intervenção da aluna 6, nos turno de fala 104 e 106, a professora procura esclarecer não só que tipo de papel causal a alimentação pode ter na mudança evolutiva em populações naturais, como também o papel que a herança genética apresenta neste processo.

É preciso deixar claro o papel causal que as condições ambientais têm na explicação variacional da adaptação, em contraste com a explicação transformacional. Nas explicações dadas pelo estudante 2 no decorrer da aula, a alimentação figura como um fator que atua diretamente sobre os organismos individuais, gerando mudanças no tamanho de seus bicos. Ao final do turno 104 e no início do turno 106, a professora procura deixar claro que a oferta de alimento vai atuar sobre a população selecionando organismos com tamanho de bicos que possibilitem a exploração dos recursos disponíveis, ou seja, que a alimentação atua como um agente seletivo.

Uma vez esclarecido o papel que os fatores externos apresentam na mudança adaptativa das populações, ao final do turno 106, a professora cita rapidamente o papel que fatores internos aos organismos, ligados à herança genética, possuem neste processo, qual seja, o de produzir a variabilidade na população.

Após esta intervenção da professora, o estudante 2 conclui que o modelo proposto por ele não está correto, ainda que isso não tenha sido dito de modo explícito por ela. A professora se opõe à conclusão do estudante, dando a entender que apenas havia aspectos em sua visão a serem ainda desenvolvidos. O estudante 2 argumenta que os colegas haviam criticado seu modelo por contrariar o caráter hereditário do tamanho dos bicos. A professora ignora o argumento do estudante e finaliza a aula dando uma orientação para a realização de tarefas extraclasse.

A despeito de ter reconhecido que seu modelo explicativo de fato enfrenta problemas, o estudante 2, ao final do episódio, continua tendo em vista apenas o problema da violação do princípio de variação hereditária e não mobiliza em seu argumento, nos turnos 109 e 111, a distinção feita pela professora acerca do papel que o ambiente exerce no processo de mudança adaptativa ou o esclarecimento acerca do papel exercido pelos fatores relativos à herança genética.

Analisados os aspectos relativos às formas de pensar sobre adaptação que se interanimam neste episódio, é preciso chamar a atenção para os modos de falar que estão sendo negociados, assim como para aspectos lingüísticos que podem estar relacionados à significação destas formas de pensar.

Nos enunciados do estudante 2, a população de organismos é protagonista da mudança adaptativa – *"ela modifica o bico"* (turno 97). Na narrativa construída pela professora, no turno de fala 104 e no início do turno 105, há um deslocamento do agente que protagoniza o processo evolutivo. Ele deixa de ser a população de organismos e passam a ser os fatores ambientais, externos aos organismos, no caso, a oferta de alimentos: "*o tipo de alimento (...) vai selecionar (...) os organismos"* (turno 104). Este modo de falar está envolvido na produção de uma forma variacional de pensar a mudança adaptativa, mais especificamente, uma visão externalista desse processo, tal como descrevemos para uma das formas variacionais de significar o conceito de adaptação, qual seja, a abordagem adaptacionista da forma orgânica (Capítulo III).

Outro aspecto lingüístico a ser destacado é o fato de que, no turno de fala 104, o termo "selecionar" é disponibilizado pela professora no plano social de sala de aula. Este é um termo associado a um conceito central na narrativa darwinista da mudança adaptativa, a seleção natural.

Se, por um lado, os dois aspectos do modo de falar da professora que acabamos de destacar disponibiliza o modo de falar variacional na sala de aula, por outro, há dois deslizes que desfavorecem a estabilização do mesmo. Um deles é o uso indevido do termo "espécies" no início do turno 106, ao repetir a contribuição da estudante 1 no turno 105, e a repetição da construção em que a população é sujeito da mudança evolutiva, própria de enunciados transformacionais – "*ela vai modificando, ela vai passando"* (também no turno 106). Uma composição mais adequada a um enunciado produzido sob o ponto de vista da ciência escolar poderia ser "ela sofre uma modificação".

De um modo geral, no entanto, a professora guiou o discurso em direção à construção de univocidade em torno de uma perspectiva variacional de interpretação da mudança adaptativa. Através de dois turnos de fala longos (turnos 104 e 106), ela retoma a descrição empírica e teórica da situação estudada, o comportamento dos tentilhões das Galápagos frente à escassez de recursos alimentares, e constrói uma narrativa de mudança evolutiva dos bicos destes pássaros, empregando, para tanto, uma linguagem social da ciência escolar, ao trazer conceitos darwinistas para o interior dessa narrativa, como seleção natural e variabilidade genética, e ao produzir modos de falar próprios da abordagem variacional, a exemplo de

enunciados em que claramente os fatores externos são os agentes da mudança evolutiva. Ao mesmo tempo, ela não oferece oportunidades para que outros pontos de vista, a exemplo da perspectiva transformacional trazida pelo estudante 2, nos turnos de fala 97 e 99, sejam explorados e desenvolvidos. No que diz respeito ao padrão de interação estabelecido, o episódio constitui uma situação de trocas verbais entre professor e alunos em que há iniciações tanto da professora quanto de estudantes. A abordagem comunicativa é, portanto, interativa e de autoridade, porque apenas o ponto de vista da ciência escolar é considerado.

No que diz respeito às perspectivas de interpretação da adaptação, são postos em questão compromissos epistemológicos da perspectiva transformacional e há um esforço para se construir univocidade em torno da perspectiva variacional.

A noção de que as mudanças adaptativas ocorrem no nível do organismo individual começa a ser negociada em direção à idéia de que se trata de um fenômeno populacional. Isso ocorre desde os primeiros turnos de fala, quando o estudante 2 não mais menciona o indivíduo (ele) ou os organismos individuais (eles), mas sim a população (ela). O aspecto que é posto em questão pela estudante 6, desde o episódio anterior, e que deu origem a este episódio, reside na impossibilidade de que a mudança adaptativa em questão, o aumento do tamanho médio dos bicos de uma população de tentilhões, ocorra no nível ontogenético, a partir daí acumulando-se e dando origem a uma mudança filogenética. Está colocado em discussão, portanto, um dos principais pressupostos das explicações transformacionais sustentadas pelos estudantes 1 e 2, até o momento.

A professora, por sua vez, realizou três estratégias que podem contribuir para a significação da forma de pensar variacional: (1) propôs que a adaptação fosse interpretada a partir de um pensamento populacional; (2) deslocou o agente da narrativa que vinha sendo construída para explicar a mudança adaptativa. Este papel passou a ser assumido pelos fatores ambientais, e não mais pelos organismos ou pela população de organismos, como nas narrativas anteriores; e (3) sugeriu que tanto forças internas quanto forças externas ao organismo participam da causalidade da forma orgânica.

O quadro 13 sintetiza os aspectos discursivos que caracterizaram o contexto em que este processo de significação do conceito de adaptação ocorreu.

Quadro 13: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 2.4

Intenções da professora	Verificar as idéias dos estudantes
Conteúdo do discurso	Descrição e explicação teórica: mecanismos através dos quais a mudança adaptativa dos bicos dos tentilhões ocorre. Generalização: papel que fatores externos e internos ao organismo apresentam na mudança evolutiva.
Abordagem comunicativa	Interativa de autoridade
Padrões de Interação	Trocas verbais de difícil enquadramento em padrões de pergunta e resposta Iniciações de estudantes e professora Turnos longos de fala da professora
Formas de pensar	Interpretar a causalidade da forma orgânica a partir da investigação de fatores externos e internos aos organismos; Interpretar a mudança adaptativa como um processo resultante da relação entre fatores externos e internos aos organismos.
Modos de falar	Enunciados em que os fatores ambientais figuram como agentes do processo evolutivo (as condições ambientais selecionam/ favorecem as variantes bem equipadas)
Perspectivas de significação do conceito	Construção de univocidade em torno da perspectiva variacional

AULA 3: ***Realização do Jogo "Clipsitacídeos"***

Nesta aula, foi realizado o Jogo "Clipsitacídeos"[34], através do qual foi simulado um processo de mudança populacional decorrente de mudanças no regime seletivo, mais especificamente, na oferta de alimento, num contexto de separação geográfica e isolamento reprodutivo de uma população inicial de pássaros com variação fenotípica nos tamanhos de bicos.

No jogo, dois grupos de estudantes simulam a dinâmica de duas populações isoladas, submetidas a diferentes ofertas de alimento. Os estudantes em cada um dos grupos protagonizam pássaros com diferentes tamanhos de bico, simulados por meio de clipes de

[34] O nome original do jogo é Clipbirds (Janulaw & Scotchmoor, 2003). Uma descrição detalhada dos procedimentos e materiais empregados na realização do mesmo, assim como da proposta de utilizá-lo como uma atividade didática no ensino de conceitos da biologia evolutiva, é disponibilizada no site www.ucmp.berkeley.edu/education/lessons/clipbirds, que é parte do site *Understanding evolution* (http://evolution.berkeley.edu/), desenvolvido pela Universidade da Califórnia-Berkeley, para apoiar professores no ensino de evolução. Nós empregamos uma adaptação do jogo desenvolvida e testada por Ana Maria Rocha de Almeida e Marta Vargens, pesquisadoras do Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas (IB-UFBA). Uma descrição dos materiais e procedimentos para realização da atividade de acordo com esta adaptação, assim como as instruções do jogo, são encontradas em Vargens (2009) e Vargens e El-Hani (2009). Neste trabalhos, são relatados resultados obtidos numa avaliação empírica da eficácia do jogo, no contexto do ensino médio, com adolescentes de uma escola da rede pública estadual de ensino, na cidade de Salvador-BA.

tamanhos diferentes. O jogo se inicia com os grupos apresentando a mesma densidade populacional e a mesma proporção de variantes fenotípicas: dois pássaros de bico grande, dois pássaros de bico médio e dois pássaros de bico pequeno. A cada rodada do jogo, é oferecida uma quantidade diferente de três tipos de sementes, variáveis em relação ao tamanho, a cada um dos grupos. Os alunos têm um tempo determinado para coletá-las usando os clipes e guardá-las num copo, o qual simula o estômago do pássaro (ver Figura 15). Ao final de cada rodada, contabiliza-se o que cada estudante conseguiu "comer" e através de duas tabelas, uma indicando a quantidade de calorias por tipo de semente e a outra a quantidade de calorias necessárias para cada pássaro sobreviver e reproduzir-se (Figura 16), decide quem sairá do grupo (simulando a morte de um indivíduo), quem permanecerá (simulando a sobrevivência) e quem terá filhotes (neste caso, chama-se um novo colega para o grupo).

Registra-se a mudança na composição do grupo (população) a cada rodada, de modo que, ao final do jogo, são produzidas duas tabelas com a proporção de cada uma das variantes fenotípicas após as três rodadas do jogo, para cada uma das populações.

Figura 15: Jogo dos Clipsitacídeos. Estudantes, munidos de clipes que simulam bicos de tamanhos diferentes, tentam coletar sementes de tamanho variado que são ofertadas em diferentes quantidades a cada rodada do jogo.

Valor dos Alimentos em Megacalorias

Semente de Pinheiro	10
Feijão Branco	5
Feijão Fradinho	2

Megacalorias Requeridas

	Para Sobreviver	Para Reproduzir
Bico Grande	80	160
Bico Médio	50	100
Bico Pequeno	25	50

Figura 16: Tabelas de referência, indicando quantidade de calorias por tipo de semente e quantidade de calorias necessárias para sobreviver e reproduzir-se.

Na figura 17, apresentamos as tabelas obtidas após a realização do jogo pela turma de estudantes pesquisada. É possível observar que houve mudanças na proporção das variantes nas duas populações. No entanto, isso não ocorreu do modo previsto. O resultado esperado (e induzido pela diferença na distribuição dos 'recursos') na aplicação do jogo original é que, ao final da 4ª temporada, haverá uma população com maior número de pássaros com bicos grandes no grupo que representa a terra do lado norte e uma população com maior número de pássaros de bico pequeno no grupo da terra sul (Vargens, 2009, p. 22). No caso da atividade realizada durante a seqüência didática analisada, dois fatores contribuíram para que não ocorresse a modelagem correta da mudança populacional esperada: os estudantes da terra sul eram muito ágeis na coleta das sementes e o tempo disponibilizado para o jogo foi excessivo. Além disso, as sementes que usamos para representar a oferta de sementes grandes apresentavam grande variação de tamanho, por serem sementes não comercializadas, o que favoreceu que pássaros de bico médio a coletassem.

Terra dos Clipes Norte

	1ª Temporada	2ª Temporada	3ª Temporada	4ª Temporada
Bico Grande	2	1	1	1
Bico Médio	2	2	3	2
Bico Pequeno	2	2	1	0

Terra dos Clipes Sul

	1ª Temporada	2ª Temporada	3ª Temporada	4ª Temporada
Bico Grande	2	3	3	4
Bico Médio	2	3	1	2
Bico Pequeno	2	4	3	3

Figura 17: Resultados obtidos na realização do jogo "Clipsitacídeos" na turma pesquisada no presente trabalho.

O jogo tem a potencialidade de dar acesso a importantes princípios mobilizados pelo conceito de seleção natural, uma vez que permite trabalhar a noção de variação intrapopulacional, evidenciar os processos de competição intraespecífica, sobrevivência e reprodução diferencial, assim como a mudança de freqüência de variantes fenotípicas numa população em um contexto ecológico específico. No entanto, há dois aspectos que podem

dificultar a interpretação pelos estudantes dos dados obtidos ao final do jogo desde uma perspectiva variacional: (1) o fato de o jogo simular uma mudança populacional em um espaço de tempo reduzido a uma escala de três gerações, e (2) o fato de os grupos representarem uma população com um número muito reduzido de indivíduos. Estes dois aspectos são limites da analogia que se pretende fazer entre a situação ocorrida no jogo e a narrativa darwinista para as mudanças adaptativas que ocorrem em populações naturais.

De todo modo, o jogo motivou bastante os estudantes e consistiu em uma experiência bastante marcante e significativa, a qual serviu de referência para que estudantes e professora discutissem o fenômeno da adaptação ao longo de toda a seqüência didática, como veremos nos episódios referentes à quarta e quinta aulas.

Como podemos observar no mapa de atividades da terceira aula (quadro 14), após a realização do jogo, nos dez últimos minutos da aula, a professora promoveu uma breve discussão acerca dos resultados obtidos, a partir da análise das tabelas produzidas com os dados obtidos a cada rodada (Figura 17).

Selecionamos dois episódios produzidos no momento em que a professora apresentou os resultados obtidos no jogo e solicitou aos estudantes que elaborassem explicações para os mesmos.

Quadro 14: Mapa de atividades da 3° aula, *Realização do Jogo* "*Clipsitacídeos*"

Tempo (min)	**Atividade desenvolvida**	**Principais temas**	**Ações dos participantes**	**Comentários**
5 min	Introdução da Aula: retomada do cenário apresentado na aula anterior sobre os tentilhões das Galápagos.	Diversidade de bicos e hábitos alimentares dos tentilhões. Dados das pesquisas de Grant & Grant: os pássaros com bicos de tamanhos diferentes apresentam eficiência variável para comer sementes de tamanhos diferentes. Os bicos são características herdáveis. Noção de herança.	Professora anuncia que a atividade da aula, que será a realização do jogo, apresenta uma relação com o caso discutido na aula anterior. Sem mencionar explicitamente qual é a relação, faz síntese do que foi visto na aula anterior, aproveitando falas dos estudantes a respeito. Dá ênfase a relação entre o tamanho e a forma dos bicos dos tentilhões e o recurso alimentar que exploram.	Estudante 3 sintetiza da seguinte forma o tema da aula anterior: "O bico dos passarinhos e sua adaptação". Professora reapresenta as figuras dos bicos dos tentilhões e de seus hábitos alimentares. Professora reclama de dispersão dos estudantes.

Tempo (min)	**Atividade desenvolvida**	**Principais temas**	**Ações dos participantes**	**Comentários**
5 min	Descrição da situação simulada no Jogo: Informações sobre a população de Clipsitacídeos e narrativa sobre o evento de isolamento geográfico.	-Variação intrapopulacional. - Isolamento geográfico. -Princípio da herança. Informações sobre necessidades calóricas para sobrevivência e reprodução, diferencial para cada variante fenotípica.	Professora expõe o cenário. Faz algumas questões aos estudantes acerca do que vêem na figura que ilustra a população de Clipsitacídeos, de modo a construir o cenário.	Professora: "Vou contar a **história** destes pássaros" Professora relaciona as diferentes demandas alimentares das variantes fenotípicas da população de Clipsitacídeos com a relação entre forma e tamanho do bico e os hábitos alimentares dos tentilhões. (possível origem de uma confusão entre variação intrapopulacional e diversidade de espécies)
10 min	Orientação para realização do jogo: procedimento e regras.	Demanda de consumo de calorias para a sobrevivência do organismo e reprodução dos organismos.	Professora esclarece as regras do jogo e apresenta os materiais que serão usados. Estudantes se dividem em grupos e arrumam à sala para a realização do jogo.	Estudantes perguntam sobre como usar os clipes como bicos e acerca de restrições quanto à quantidade de sementes que podem pegar. Fazem, ainda, especulações sobre a eficiência diferencial dos bicos. O estudante 9 reclama: "Mas aí, o que está com bico pequeno vai entrar em desvantagem". Diante desta afirmação, a estudante 1 pondera, que as necessidades calóricas dos pássaros de bico menor também são menores.

Tempo (min)	**Atividade desenvolvida**	**Principais temas**	**Ações dos participantes**	**Comentários**
30	Realização do jogo "Clipsitacídeos"		Dois grupos de estudantes jogam, simulando as duas populações de pássaros. Dois estudantes observam e fazem papel de juízes. Professora controla o tempo de coleta das sementes e anota os resultados a cada rodada.	Os estudantes de fato se motivam com aspecto lúdico e competitivo do jogo. Fazem as contas das sementes com empolgação, comemoram quando "se reproduzem." O tempo dado aos estudantes para que coletassem as sementes a cada rodada foi excessivo (40seg): os estudantes eram muito ágeis na coleta das sementes. Isso levou aos resultados não favorecerem a modelagem da mudança populacional prevista.
10 min (5:28) (4:40)	Apresentação e discussão dos resultados obtidos com o jogo. **EPISÓDIO 3.1:** ***O bico tem uma relação com o tipo de alimento, os bicos menores não conseguiam pegar sementes maiores.*** **EPISÓDIO 3.2:** ***A gente pode relacionar a adaptação com a permanência desta característica vantajosa para população.***	Conceito de competição intraespecífica. Fatores causais envolvidos na mudança evolutiva. Eficiência diferencial das variantes fenotípicas. Sobrevivência diferencial. Mudança na freqüência de variantes na população. Introdução do conceito darwinista de adaptação	Professora apresenta resultados e solicita aos estudantes que elaborem explicações para os mesmos. Estudantes participam ativamente, respondendo às questões solicitadas pela professora.	Os estudantes usam com freqüência a linguagem cotidiana para analisar o que ocorreu no jogo e a professora introduz a linguagem da ciência escolar, com uma estratégia de parafrasear ou remodelar as falas dos estudantes. Alguns estudantes analisam o jogo de uma perspectiva da ciência escolar, interpretando-o como a simulação de um contexto ecológico, outros não se descolam da situação lúdica do jogo. Estes últimos explicam os resultados alegando possíveis "roubos" na conduta de uma das equipes, ou a performance diferencial de alguns estudantes ao coletar as sementes.
3 min	Conclusão da aula: Encaminhamento para a próxima aula.		Professora cobra tarefa de casa e dá orientações para a realização da mesma.	Estudantes reclamam da falta de prêmio para a equipe vencedora. Sugerem prêmios em merenda.

O primeiro episódio (episódio 3.1) foi selecionado por ser importante do ponto de vista da análise da extensão com que os estudantes usaram a linguagem cotidiana e a linguagem social da ciência para interpretar o fenômeno simulado no jogo e, em contrapartida, a extensão com que a professora usou estratégias enunciativas para introduzir a linguagem social da ciência escolar. Portanto, o uso da linguagem cotidiana e da linguagem social da ciência foi o foco da análise do discurso produzido neste episódio.

Este episódio também permite evidenciar outro aspecto da dinâmica discursiva da aula, relacionado ao anterior, a saber, a habilidade dos estudantes para reconhecer e fazer uso do gênero de discurso das aulas de ciências. É notável que alguns estudantes tenham reconhecido a proposta do jogo como uma estratégia pedagógica de simular um fenômeno natural e gerar um contexto para analisá-lo, tendo adotado a proposta de interpretá-lo como um fenômeno que ocorre em populações naturais em determinados contextos ecológicos possíveis no mundo real e procurado usar a linguagem social da ciência. Por sua vez, outros estudantes claramente não se descolaram da situação lúdica do jogo e explicaram os resultados mediante a alegação de possíveis "roubos" na conduta de uma das equipes ou referindo-se à performance diferencial de alguns estudantes na coleta de sementes. Neste grupo, havia ainda alguns estudantes, como a estudante 16, por exemplo, que atribuíam qualidades humanas aos organismos das populações naturais representados pelos estudantes no jogo, interpretando os resultados através de uma linguagem teleológica e uma perspectiva antropomórfica.

O segundo episódio (episódio 3.2) foi considerado, por sua vez, um momento importante da seqüência didática por ter sido o primeiro momento em que a professora negociou de modo explícito e deliberado o significado atribuído ao termo adaptação com os estudantes, introduzindo o conceito darwinista de adaptação.

Os dois episódios são contíguos e foram delimitados pela mudança de conteúdo do discurso e de intenção da professora. No episódio 3.1, o discurso está centrado na descrição e explicação empírica e teórica das mudanças que ocorreram nas populações norte e sul, desde a primeira rodada até o final do jogo. A intenção da professora era, através desta descrição, introduzir a linguagem social da ciência escolar, principalmente, a importância de se interpretar o fenômeno de mudança adaptativa tendo em vista dois fatores, a eficiência diferencial das variantes fenotípicas e a pressão de seleção exercida pelas condições ambientais, neste caso, a oferta de alimento. O episódio 3.2 teve início com a proposta da professora de mudar de conteúdo, partindo da descrição e explicação teórica inicial para

chegar à generalização de princípios teóricos e conceitos que estão relacionados ao fenômeno da mudança adaptativa.

Episódio 3.1: ***O bico tem uma relação com o tipo de alimento, os bicos menores não conseguiam pegar sementes maiores***

1. **Professora:** Então a gente simulou uma situação aqui em que os pássaros estavam em um ambiente competindo por?
2. **Estudantes:** Comida**.**
3. **Professora:** Comida/ né? E aí/ vamos lá. Na primeira rodada/ o pessoal daqui era da terra norte e o daqui o da terra sul ((mostra a tabela)). Na primeira rodada tinha todo mundo igual. Dois de bico médio, dois de bico pequeno, dois de bico grande, certo? E aí a gente colocou o alimento/ e aí o que a gente observou? Na segunda temporada, por exemplo, na terra norte o que foi que aconteceu?
4. **Estudante 1:**Morreu os dois.
5. **Professora:** Morreu um grande, permaneceu médio e o pequeno. Na sul?
6. **Estudante 8:** Permaneceu os dois médios.
7. **Professora:** Aumentou o bico grande, reproduziu. Houve reprodução do médio e dois também conseguiram se reproduzir de bico pequeno. Bom. Eu quero que vocês pensem o que é que explica este resultado aí. O que está mostrando/ isso aí? A gente tinha diferentes tamanhos de bico e a gente tinha diferentes/ itens alimentares, com tamanhos também diferentes. O que é que está mostrando isso aí?
8. **Estudante 1:** Que o bico pequeno se reproduz//
9. **Professora:** Vamos organizar/ um de cada vez. Diga/ Estudante 3.
10. **Estudante 3:** O que consegue se alimentar mais, independente da quantidade de alimento. Porque tem alimento que é mais calórico/ né? E eles/ mesmo que ele se alimente menos/ mas com uma alimentação mais calórica/ ele/ a tendência é ele ficar forte e se reproduzir.
11. **Professora:** Certo. Vamos lá? Tinha mais gente falando aqui**.** O que é que está explicando isso aí? Estudante 3 colocou/ Vamos lá gente!
12. **Estudante 9:** Que ali a parte sul tinha mais alimento que a norte.
13. **Professora:** Que a parte sul tinha mais alimento que a norte? Ou tinha alimentos diferentes?
14. **Estudante 9:** Eu achei mais.
15. **Professora:** Tinha mais?
16. **Estudante 16:** Não, no Sul o alimento era menos calórico.
17. **Professora:** No sul/
18. **Estudante 16:** Tinha menos alimentos/ professora.
19. **Professora:** Sim. O que tinha de diferente nos dois grupos? Que justifica esta diferença na mudança de composição que a gente está vendo aqui. Que a gente está vendo aqui que mudou/ certo? Então/ no final da temporada/ no norte por exemplo/ a gente pôde observar que ficou um bico grande e dois bicos médios. Já aqui/ a última temporada ficou quatro bicos grandes/ dois bicos médios e três pequenos. O que é que tinha de diferente nos grupos para/ dar estes resultados?
20. **Estudante 19:** Porque eles roubaram e a gente não roubou. ((gera um burburinho entre os estudantes a este respeito))
21. **Professora:** Peraí. Isso aqui é um jogo/ eu acredito que nenhum de vocês tinha intenção de roubo. Alguém tenha feito isso.
22. **Estudante 16:** Eu falo.

23. **Professora:** Diga.
24. **Estudante 16:** Ó na terra norte/ tinha mais alimento calórico sim. Mas presta atenção/ os pássaros achando que tinha mais caloria/ comia pouco ((rindo)).
25. **Professora:** Comia menos.
26. **Estudante 16:** E no sul porque era menos calórico/ os pássaros era ó/ mais gulosos. ((rindo)).
27. **Professora:** E aí? Tinha competição.
28. **Estudante 16:** Tinha que comer muito.
29. **Professora:** Então/ vocês acham que tinha diferença na composição do alimento do norte e do sul?
30. **Estudante 16:** Tinha. Porque eu vi a última aí ó((referindo-se a outra equipe, a do norte))/ a última foi pinheiro e a nossa foi feijãozinho fradinho.
31. **Estudante(?):** Mas também ficou difícil para gente pegar. Como é que o pequeno ia pegar?
32. **Professora:** É isso/ Essa diferença na oferta de alimento de um grupo para outro fez com que?
33. **Estudante 16:** Que os pássaros do sul comessem mais.
34. **Estudante 6:** Não.
35. **Estudante 16**: Para poder ter mais caloria/ professora. Para poder se reproduzir. Porque era/ os pontos valia caloria/ né? Então/ as calorias da quarta temporada era menos a do Sul do que a da Norte/ na quarta.
36. **Professora:** Certo. A gente tem que/ o bico ele tem uma relação com o tipo de alimento/ não é isso? E o que é que vocês me dizem com relação a isso/ a relação do bico com a oferta diferente de alimento que a gente tinha aí?
37. **Estudante 4**: Que os bicos pequenos não conseguiam pegar os alimentos maiores.
38. **Professora:** Que os bicos menores não conseguiam pegar sementes maiores/ e com isso?
39. **Estudante 4:** Torna a reprodução/
40. **Professora:** Isso fez com que?
41. **Estudante 4:** Ficasse fraco.
42. **Professora:** Ficassem fracos e não conseguisse sobreviver/ e muitas vezes nem se reproduzir/ né? Que mais gente?

Neste episódio, a professora teve a intenção de introduzir os princípios que estruturam a teoria da seleção natural – processos de competição, eficiência diferencial das variantes fenotípicas, sobrevivência e reprodução diferenciais, mudanças na freqüência de variantes fenotípicas na população – através da descrição e explicação teórica para os resultados obtidos ao final do jogo dos clipsitacídeos, relativos à mudança na composição fenotípica das duas populações o destes pássaros, após isolamento geográfico.

Nos seus dois primeiros turnos de fala (turnos 1 e 3), a professora estabelece que os estudantes devem analisar os resultados do jogo empregando a noção de competição e observando o que ocorreu com as proporções das três variantes fenotípicas, pássaros de bico grande, pequeno e médio, nos dois grupos, em função dos alimentos que foram oferecidos a cada rodada do jogo.

Entre os turnos 3 a 7, a professora, através de tríades I-R-A, guiou os estudantes na descrição empírica e teórica das mudanças sofridas pelas proporções das variantes fenotípicas nas terras norte e sul. No turno 7, a professora propôs uma mudança no conteúdo do discurso, solicitando que os estudantes elaborassem uma explicação para estas mudanças, sugerindo que, para tanto, relacionassem dois fatores, as diferenças no tamanho dos bicos dos pássaros e as diferenças nos itens alimentares disponibilizados. Ao fazê-lo, ela solicitou aos estudantes que aplicassem uma noção disponibilizada no episódio anterior, a de que tanto fatores internos – como a posse de uma característica fenotípica – quanto fatores externos aos organismos – como a oferta de alimentos – têm papel causal na mudança evolutiva de populações naturais.

No turno 10, o estudante 3 apresenta uma explicação em que reconhece que há alimentos diferentes, mais e menos calóricos, mas atribui maior importância causal ao fator interno ao organismo, sua *"capacidade de se alimentar mais* ***independente*** *da quantidade de alimento"*. Em sua explicação, o estudante 3 não considera que esta capacidade de explorar o recurso pode variar para pássaros de bicos com tamanhos diferentes em circunstâncias ambientais diferentes, ou seja, a noção de eficiência diferencial das variantes fenotípicas. Para o estudante 3, os pássaros têm uma espécie de tendência inerente de ficarem fortes e se reproduzirem, seja comendo em maior quantidade qualquer tipo de semente, seja comendo em menor quantidade sementes mais calóricas. A interpretação da adaptação apresentada pelo estudante 3 neste enunciado encontra-se estruturada em compromissos próprios das zonas ajuste providencial e perspectiva transformacional, mais especificamente, uma perspectiva providencial de conceber a relação organismo-meio e o foco no organismo individual.

No turno 11, a professora não comentou a fala deste estudante e encorajou outros alunos a apresentarem novas explicações.

Entre os turnos 12 e 18, os estudantes 9 e 16 não acataram propriamente a proposta da professora e continuaram descrevendo empírica e teoricamente a situação simulada no jogo no que diz respeito à oferta de alimento. A professora guiou estes estudantes para considerarem não só a mudança na quantidade total de alimento, mas também a mudança na oferta de tipos de sementes e a quantidade relativa de cada uma.

No turno 19, a professora afirmou que houve mudança na composição fenotípica nas duas populações e solicitou que os estudantes refletissem acerca de quais variáveis poderiam explicar esta mudança.

A estudante 16 identificou, como variáveis que explicariam o resultado do jogo, não somente a disponibilidade diferencial de alimentos em cada grupo, como também o

comportamento dos pássaros na exploração de recursos. Entre os turnos 24 e 35, esta estudante desenvolveu uma interpretação da mudança adaptativa ocorrida no jogo a partir de uma perspectiva teleológica. Ela propôs que os pássaros da terra sul, conscientes do baixo valor calórico das sementes disponíveis, procuravam estrategicamente comer muito para conseguir se reproduzir, enquanto que os pássaros da terra norte, diante da oferta de sementes mais calóricas, comiam pouco.

É importante notar que os enunciados da estudante 16 são produzidos a partir de uma linguagem teleológica bastante antropomórfica. É possível que, de modo diferente de seus colegas, a estudante não tenha conseguido se deslocar da situação lúdica e competitiva do jogo, protagonizado por eles mesmos, para a situação de populações naturais de pássaros vivendo em contextos ecológicos específicos, que o jogo pretendia simular. Esta dificuldade pode estar relacionada aos compromissos epistemológicos e ontológicos que fundamental sua interpretação do mundo natural, assim como à falta de domínio da linguagem social da ciência. Ela também pode indicar uma inabilidade da estudante para reconhecer e fazer uso do gênero de discurso da ciência escolar.

Neste segmento do episódio, assim como em vários outros, é notável o fato de os estudantes analisarem o processo evolutivo simulado no jogo a partir de uma linguagem cotidiana, bem como o empenho da professora para introduzir a linguagem social da ciência escolar. No turno de fala 25, por exemplo, a professora parafraseia o enunciado "*comia pouco*", produzido pela estudante 16 no turno 24, utilizando a forma comparativa do advérbio "pouco", "*comiam menos*", de modo a introduzir a idéia de diferença, fundamental na explicação variacional da adaptação. No turno 27, a professora emprega a idéia de competição no lugar da idéia apresentada pela estudante 16 no turno 26, de que havia pássaros mais gulosos.

No turno 36, usando esta mesma estratégia, ou seja, a introdução da linguagem social da ciência, a professora consegue mudar a direção do discurso, ao sugerir que os estudantes, que até o momento ora enfocavam o tipo de alimento disponível, ora enfocavam a capacidade dos pássaros de bicos diferentes de explorar o alimento, relacionassem estas duas variáveis na resolução do problema proposto. Ao fazê-lo, a professora procurou qualificar melhor a descrição teórica destas variáveis, nomeando, por exemplo, a distribuição de diferentes sementes a cada rodada como "*oferta diferente de alimento*".

No turno 37, a estudante 4 estabeleceu, finalmente, a relação entre estas duas variáveis: "*que os bicos pequenos não conseguiam pegar os alimentos maiores*". A professora repetiu a resposta da estudante 4 no turno 38, de modo a marcá-la e torná-la disponível para a

turma, e deu prosseguimento para que os estudantes desenvolvessem a explicação para as mudanças na composição fenotípica das populações de pássaros. A estudante 4 mencionou implicações para a reprodução e usou a expressão "*ficasse fraco*" no turno 41, a qual foi remodelada pela professora no turno seguinte como "*não conseguisse sobreviver e muitas vezes nem se reproduzir*".

Deste modo, a professora conseguiu, ao final do episódio, disponibilizar as noções de competição intraespecífica, eficiência diferencial de variantes fenotípicas na exploração de recursos e sobrevivência e reprodução diferenciais. Para tanto, ela procurou estabelecer uma abordagem comunicativa interativa e de autoridade, ao usar estratégias enunciativas que a auxiliassem a dirigir o discurso para o uso de uma linguagem mais próxima da linguagem social da ciência escolar e que favorecessem, ademais, o desenvolvimento da estória científica.

Uma estratégia freqüentemente usada pela professora consistiu na substituição de referentes empíricos, citados nos enunciados dos estudantes, por referentes teóricos. Podemos citar como exemplos as trocas lingüísticas entre a professora e a estudante 16, já comentadas, ou entre a professora e a estudante 4. No turno 30, a estudante 16 argumentou que foi possível ver que, na última rodada, foram fornecidas à equipe da terra norte apenas sementes de pinheiro e à equipe da terra sul, apenas feijão fradinho. No turno 32, a professora deu prosseguimento à argumentação da estudante 16, mudando a natureza empírica da observação da estudante ao referir-se à noção de "diferença na oferta de alimento". O mesmo tipo de estratégia foi usado pela professora no turno 42, ao remodelar a fala da estudante 4 no turno anterior, "*ficasse fraco*", como "*não conseguisse sobreviver e nem se reproduzir*".

Ao usar esta estratégia enunciativa, a professora deslocou o discurso relativo à descrição e explicação empírica em direção a uma descrição e explicação teórica do fenômeno modelado no jogo, um passo fundamental para o desenvolvimento da linguagem social da ciência. Conforme argumentam Mortimer e Scott (2003, p. 31), esta estratégia é fundamental para a estruturação da estória científica, uma vez que o que interessa para a ciência é o modo como os fenômenos são reconstruídos à luz das ferramentas teóricas de que ela dispõe.

Os aspectos que caracterizaram o discurso da sala de aula ao longo deste episódio se encontram sistematizado no quadro 15.

Quadro 15: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 3.1

Intenções da professora	Desenvolver a estória científica
Conteúdo do discurso	• Descrição empírica e teórica: resultados obtidos no jogo dos clipsitacídeos. • Explicação empírica e teórica: fatores que explicam os resultados do jogo dos clipsitacídeos.
Abordagem comunicativa	Interativa de autoridade.
Padrões de Interação	• (1-7) Tríades I-R-A • (7-19) pequenas cadeias fechadas I-R-P-R-A ou I-R-F-R-P-A • (19-32) I-R-A-R-P-R-P-R-P-R-P-R_{16}-$R_?$-A/ • (32-36) I-R_{16}-R_6-R_{16}-A/S • (36-42) I-R-P-R-P-R-A
Formas de pensar	• Perspectiva providencial de interpretação da relação entre organismo e meio ambiente e foco no organismo individual (estudante 3); • Perspectiva teleológica e antropomórfica de interpretação da mudança adaptativa (estudante 16); • Interpretação da mudança adaptativa a partir da investigação da relação entre fatores externos e internos aos organismos (Professora e estudante 4);
Modos de falar	• Uso de linguagem cotidiana de caráter teleológico e antropomórfico para interpretar fenômeno da adaptação estudante 16) • Ênfase nos referentes empíricos (estudante 16, 9 e 19); • Uso da linguagem da ciência escolar, ênfase nos referentes teóricos e na análise de variáveis (professora); • Notável negociação entre estes dois modos de falar.
Perspectivas de significação do conceito	Introdução de princípios que estruturam explicação variacional da adaptação.

EPISÓDIO 3.2: ***A gente pode relacionar a adaptação com a permanência desta característica vantajosa para a população.***

46. **Professora;** Então assim/ que é que a gente pode perceber? (+ +) Com esse jogo/ com aquela aula que a gente falou dos tentilhões da Galápagos/ que é que a gente pode perceber/ disso aí? (+) Hein/ gente? Gostaria que vocês falassem o que a gente pode perceber com este jogo que a gente fez aí.
47. **Estudante 16:** A dificuldade dos pequenos em comer. É muito difícil os pássaros que tem o bico pequeno comer. Porque os grandões vão logo em cima/ e os pequenininhos que sobram.
48. **Professora:** E assim dá para (+) aquela questão que eu comecei a discutir no início da aula. O bico/ ela é uma característica que é herdada. Não é isso/ gente?
49. **Estudante (?):** É.
50. **Professora:** Então aqueles pássaros que conseguem sobreviver e se reproduzir/ o que é que acontece com eles na população? (+) Hein?
51. **Estudante 16:** Aqueles pássaros que?
52. **Professora:** Aqueles que conseguem sobreviver e se reproduzir/ o que é que acontece?
53. **Estudante (?):** Aumenta.
54. **Estudante 16:** Vai aumentando.

55. **Professora:** Vai ter um aumento daquele tamanho de bico. Porque o bico é uma característica o que?
56. **Estudante (?):** De pai para filho.
57. **Professora**: HER-DA-DA. Que mais a gente pode perceber disso aí? (+ +) Essa característica/ que ia se mantendo/ o que ia acontecendo com isso aí? Essa característica que ficou? Por exemplo, o bico que permaneceu mais/ o que é que vocês podem dizer disso?
58. **Estudante (?):** Oito e vinte sete. A aula acabou.
59. **Professora**: Essa característica que era no caso/ ((Vai à porta, negociar com colega para usar mais tempo para finalizar aula)) Hein? Lembrando o que a gente viu na aula passada? Com relação aos tentilhões? A gente viu muito aqui a questão do termo da adaptação. Vocês falaram alguma coisa na aula passada sobre isso. O que é que a gente pode dizer/ concluindo o jogo hoje a respeito de/
60. **Estudante 3:** Sobre adaptação?
61. **Professora:** Sim. A gente falou sobre isso na aula passada. Vocês estão lembrados/ né? Diga estudante 3?
62. **Estudante 3:** Digamos que os pássaros de bicos grandes/ ele tinha três tipos de sementes para se alimentar. E o do bico menor/ ele só tinha um tipo de alimentação.
63. **Professora:** Certo. Mas esse de bico grande/ existe algum tipo de relação com a semente grande? Com é que é?
64. **Estudante 3:** Ele tem mais facilidade//
65. **Professora:** De pegar que tipo de semente?
66. **Estudante 1:** A grande.
67. **Estudante 3:** A grande.
68. **Professora:** Certo. E aí qual a/ como é que você fala em relação a adaptação? Porque eu falei em adaptação e você começou a/
69. **Estudante 3**: Ele se adapta melhor porque ele tem mais facilidade/ né? Outros tipos de alimentação/ então/ ele vai ser sempre mais resistente.
70. **Estudante 1:** Eu acho assim/ que o do bico grande/ ele tem uma facilidade maior de se adaptar porque ele pode pegar desde a grande à pequena semente/ então ele tem uma variedade de alimentação. E o pequeno não. O pequeno só tem uma opção que é a semente pequena. E o grande não/ o grande tem mais de uma opção.
71. **Professora:** Certo. E assim/ na verdade a gente pode/ então/ relacionar a questão da adaptação com a/ PERMANÊNCIA desta característica que acaba sendo vantajosa para aquela população? Seria isso?
72. **Estudante 3:** Correto.
73. **Professora:** Correto?
74. **Estudante 3:** O do bico grande seria mais/ tem mais facilidade que o do pequeno.
75. **Professora:** A depender de que?
76. **Estudante 3:** Da semente.
77. **Professora:** Da oferta de alimento. Do item alimentar que está ali. Então/ a gente não pode/ a gente não consegue entender o contexto/ sem entender a questão da oferta alimentar e do tamanho e forma do bico/ não é isso? Ô gente/ não dá mais tempo. Eu já peguei dez minutos da outra aula. Na aula que vem a gente vai retomar um pouquinho/ e eu vou trazer algumas informações a mais para gente entender melhor porque é que ocorreu isso aí.

Após ter explorado com os estudantes não só a descrição teórica, como também explicações empíricas e teóricas para o fenômeno modelado no jogo, a partir do turno 46, a

professora buscou mudar o conteúdo do discurso para uma generalização teórica, com a intenção de introduzir o conceito darwinista de adaptação.

No turno 46, ela propôs propõe aos estudantes que relacionassem a análise que fizeram dos resultados do jogo com a análise do caso dos tentilhões das Galápagos, explorado na aula anterior. Desse modo, a professora sinalizou para os estudantes que a realização do jogo tinha um papel pedagógico claro no desenvolvimento da estória científica e sugeriu que eles generalizassem o caso particular do jogo num modelo explicativo que desse conta de outras situações, como a diversificação dos tentilhões.

A estudante 16 não reconheceu e/ou não aceitou o novo contrato e continuou a analisar as razões para os resultados obtidos no jogo, enfocando o caso particular da ineficiência dos pássaros de bico pequeno em sua alimentação, empregando, para tanto, uma linguagem cotidiana.

Nos turnos de fala 48 e 50, a professora lembrou aos estudantes a informação acerca do caráter hereditário da característica tamanho do bico, chamou a atenção para um princípio geral, o princípio da herança, e sugeriu que atentassem para o mesmo na interpretação da situação gerada no jogo. Com esta estratégia, a professora buscou conduzir os estudantes, entre os turnos de fala 48 e 55, à conclusão de que a sobrevivência e reprodução diferenciais levaram a uma mudança na proporção de uma das variantes fenotípicas na população.

Contudo, vale destacar que no turno de fala 55, a formulação apresentada pela professora, para se referir ao aumento da proporção de pássaros com bicos maiores em uma das populações, não favorece o desenvolvimento da noção de mudança de freqüência. O enunciado "Vai ter um aumento daquele tamanho de bico" sugere aumento da própria estrutura morfológica de um organismo individual, não aumento de freqüência desta característica na população.

No turno de fala 57, a professora começou a construir uma explicação darwinista para as adaptações, ao introduzir a noção de que a mudança na proporção ou na freqüência de uma das variantes leva à manutenção de uma característica na população – "essa característica/ que ia se mantendo" – e ao focar o discurso na análise do que se pode falar sobre esta característica. No turno 59, ela sugeriu, então, a existência de uma relação entre esta característica e o termo adaptação, usando para tanto a discussão da aula anterior, sobre o caso dos tentilhões.

Ao ouvir o termo "adaptação", o estudante 3 reagiu prontamente . Contudo, a despeito das avaliações e dos desafios feitos pela professora nos turnos 63, 65 e 68, ele continuou a usar o termo adaptação para designar a capacidade dos pássaros grandes de se ajustar às

condições ambientais, dada sua habilidade de explorar diversos tipos de alimento. No turno 71, a professora propôs um novo significado para o termo, tratando-o como a permanência de uma característica que passa a ser vantajosa em uma população, em uma determinada condição ambiental. Ela buscou, então, confirmação dos estudantes, o que foi feito pelo estudante 3. No turno 73, a professora deu prosseguimento para que ele elaborasse mais a sua resposta. Entre os turnos 73 e 76, a professora interagiu com o estudante 3 de modo a deixar claro para a turma que a vantagem adaptativa de uma característica é relativa às condições ambientais, no caso, a vantagem adaptativa do tamanho do bico dos clipsitacídeos é relativa à oferta de um tipo específico de semente. Desse modo, ela buscou disponibilizar o conceito darwinista de adaptação relativa.

No último turno de fala, a professora construiu uma síntese acerca da necessidade de ter em vista tanto o tamanho do bico como a oferta de alimento, para entender o que aconteceu no contexto simulado no jogo.

Neste episódio, a professora mantém a abordagem interativa de autoridade, estabelecida no episódio anterior. Ela controla o discurso da sala de aula em direção à generalização da explicação do fenômeno simulado no jogo nos termos do conceito darwinista de adaptação. Para tanto, faz uso freqüente de iniciações de escolha ou de produto (turnos 48, 63, 71 e turnos 55, 65 e 75, respectivamente). Por sua vez, ao fazer iniciações de processo, ela sugere ou estabelece os caminhos pelos quais os estudantes devem elaborar suas respostas (turnos 57 e 59).

Neste episódio, a professora procura trabalhar explicitamente a questão do significado do termo adaptação, solicitando aos estudantes que pensem no significado que atribuíram ao termo ao empregá-lo na explicação da diversificação dos tentilhões das Galápagos, além de propor um novo significado ao aplicá-lo na interpretação dos resultados do jogo. Os estudantes empregam o termo adaptação para designar o processo de ajuste dos organismos às condições ambientais, ou a capacidade e propensão de fazê-lo. A professora propõe que a adaptação seja entendida como uma característica que é fixada na população pelo valor adaptativo que apresenta em determinadas condições ambientais. Este é um significado bastante próximo do significado darwinista encontrado na definição de Sober (1993), discutida no capítulo II.

Dois compromissos relativos à ontologia do conceito estão sendo negociados: o de conceber adaptação como uma propriedade do organismo, como um processo ou uma característica resultante de um processo, e a oposição entre uma visão prospectiva e uma visão retrospectiva de significação da adaptação, tal como descritos na matriz epistemológica que

apresentamos no capítulo II. Nos enunciados dos estudantes, os organismos de uma população W têm uma característica X que lhes propicia maior facilidade de explorar diferentes recursos e, assim, de adaptar-se. Nos enunciados da professora, a característica X, em determinadas condições ambientais, Z, passa a ser vantajosa para os organismos de uma população W. Sendo esta característica X, uma característica hereditária, ela poderá se tornar fixada na população W, sendo então denominada uma adaptação.

No quadro 16, apresentamos uma síntese dos aspectos discursivos que caracterizaram a significação do conceito de adaptação ao longo deste episódio.

Quadro 16: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 3.2.

Intenções da professora	Introduzir a estória científica: introduzir o conceito darwinista de adaptação
Conteúdo do discurso	Generalização: da mudança de freqüência nas populações de clipsitacídeos ao conceito de adaptação.
Abordagem comunicativa	Interativa de autoridade
Padrões de Interação	Tríades I-R-A e cadeias fechadas I-R-P-R-A • (46 - 50) Tríades I-R-A • (50 -55) I-R_{16}-P-$R_?$-R_{16}-A • (55 - 57) I-R-A • (57-63) I-R-P-R-P-R-A • (63- 68) I-R_3-P-R_1-R_3-A • (68-71) I-R_3-R_1-A • (71-77) I-R-P-R-P-R-S
Formas de pensar	• Alunos: Adaptação como propriedade e capacidade de ajustar-se às condições ambientais: adaptação como propriedade absoluta, entendida numa visão prospectiva. • Professora: Adaptação como característica que se torna fixada numa população como conseqüência de sua vantagem adaptativa em um contexto específico: Adaptação como propriedade relativa, entendida numa visão retrospectiva.
Modos de falar	• Alunos: O organismo Y que apresenta a característica X tem maior facilidade de se adaptar; • Professora: A característica X acaba sendo vantajosa para aquela população W nas circunstâncias ambientais Z. Esta característica X, se for hereditária, poderá tornar-se fixada na população W, sendo então denominada uma adaptação.
Perspectivas de significação do conceito	Negociação entre duas maneiras de interpretar a adaptação: entre os alunos, uma perspectiva prospectiva – adaptação como ajuste dos organismos ao ambiente de modo a ter maior chance de sobrevivência – e, na professora, uma perspectiva retrospectiva – adaptação como característica que se tornou fixada em conseqüência de sua vantagem adaptativa em um determinado contexto ecológico. Nos turnos de fala da professora, temos a visão da ciência escolar.

AULA 4: "Evolução: Explicando o mecanismo da seleção natural"

Nesta aula, a professora buscou, a partir da discussão dos resultados do jogo dos clipsitacídeos, sistematizar os princípios que estruturam o mecanismo da seleção natural, assim como apresentar este último formalmente, como uma das idéias que estruturam o pensamento evolutivo darwinista.

Como podemos observar no mapa de atividades (quadro 17), no primeiro momento da aula, a professora retomou o cenário dos tentilhões das Galápagos, descrevendo empírica e teoricamente a diversificação destes pássaros no arquipélago. Ao longo da exposição, ela fez indagações aos estudantes, com base nas perguntas que haviam sido feitas no roteiro trabalhado na primeira aula. A despeito de introduzir e relembrar alguns conceitos, não foram fornecidos modelos explicativos. Estes foram solicitados aos estudantes. O episódio 4.1 foi retirado deste momento da interação discursiva. A professora teve o intuito tanto de verificar as idéias dos estudantes, como de construir univocidade em torno da idéia de que a origem das espécies de tentilhões é explicada pela evolução a partir de um ancestral comum.

Em seguida, ela colocou a questão de que era preciso, todavia, compreender o mecanismo através do qual a população ancestral sofreu modificações, dando origem a novas espécies. Por este motivo, a professora intitulou a aula e a exposição de slides que apresentou aos estudantes como "Evolução: explicando o mecanismo", e propôs que este mecanismo seria apresentado através da análise dos resultados obtidos com o jogo dos clipsitacídeos. Neste segundo momento da aula, a professora apresentou para discussão dados obtidos em outra turma, que estavam mais de acordo com o esperado na realização da atividade. Inicialmente, ela fez questões para que os estudantes descrevessem empírica e teoricamente o que havia acontecido e, depois, propôs que formulassem explicações para os resultados. O segundo episódio que selecionamos para análise (episódio 4.2) foi produzido ao longo desta discussão.

Quadro 17: Mapa de atividades da 4° aula, *Evolução: Explicando o Mecanismo*.

Tempo (min)	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
2:30 min	Introdução da aula: retomada do que foi trabalhado nas aulas anteriores e colocação do objetivo da aula: "Entender o mecanismo de evolução"		Professora apresenta objetivos da aula	
12:20 min **(4:40)**	Retomada do cenário dos tentilhões e de questões do roteiro de discussão **EPISÓDIO 4.1: "O descendente dele já vai vir com essa alteração"**	Distribuição geográfica e diversidade dos tentilhões das Galápagos e relações com espécie do continente. Explicações para a diversidade de espécies. Princípio da herança. Ancestralidade comum. Conceitos de população e espécie.	Professora retoma o cenário dos tentilhões através de exposição com auxílio de slides de Power-Point, e faz indagações aos estudantes, com base nas perguntas que haviam sido feitas no roteiro trabalhado na primeira aula. A professora faz descrições empíricas e teóricas sobre o fenômeno analisado e, a despeito de introduzir alguns conceitos, não fornece modelos explicativos, solicitando-os dos estudantes.	Estudantes de início muito tímidos em participar. É preciso que a todo tempo a professora os motive, sem muito resultado. A única exceção é o estudante 3, que sempre dá retorno à professora. Em seguida, os estudantes 1 e 5 também participam ativamente. Alguns estudantes participam passivamente, escutando atentamente a professora e os colegas, enquanto outros se mostram entediados, dormem ou fazem outras atividades. A estudante 1 se incomoda com a câmara e só participa com tranqüilidade quando a pesquisadora lhe garante que só irá capturar sua voz, mas não sua imagem.

Tempo (min)	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
29:20 min

Tempo (min)	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
3 min	"Conclusão da aula": questões pendentes e direções para a próxima aula.		Professora cobra atividade realizada em casa e fala sobre prova a ser realizada. Esclarece que o assunto não foi concluído e propõe que os estudantes pensem sobre a figura para discuti-la melhor na próxima aula.	Estudantes 1 e 2 ficam ansiosos para entender a figura e frustrados porque acabou a aula sem que isso fosse esclarecido. Após o término da aula. continuam olhando e discutindo a figura.

Episódio 4.1: O descendente dele já vai vir com essa alteração do bico

1. **Professora:** Aí/ a gente tem a figura que representava (+ +) ((projeta figura sobre irradiação adaptativa dos tentilhões, ver figura 10)) aqui tem o continente/ aqui tem a representação das ilhas. E aqui a gente tinha as treze espécies/ tá? Essa espécie que ocorria aqui do pássaro tentilhão toutinegra/ ele tinha semelhança com estes pássaros aqui. Por que/ que era parecido? Não era o mesmo/ mas tinha um grau de semelhança. O que é que ocorreu? Por que eles chegaram a esta conclusão? (+ +) Vambora gente/ solta a língua! O que passa aí? A idéia? O que é que vocês têm sobre isso? Gato comeu a língua, né?
2. **Estudante 3:** Não professora.
3. **Professora:** A gente está aqui para construir. Então/ vocês têm que ir falando para a gente ir nesse processo/ né? Arrumando as idéias. Vamos lá?
4. **Estudante 3:** Deve ter sido herdado alguma coisa.
5. **Professora:** Deve ter sido herdado alguma coisa. Que coisa? Quando você fala "alguma coisa"/ você fala em que?
6. **Estudante 3:** As características dos antepassados deles.
7. **Professora:** Deve ter sido herdado/ como? Quem herdou de quem? ((sorri meio ironicamente)). A gente tá falando de/
8. **Estudante 3:** Porque só essa espécie permanece em um ambiente só/ em um local.
9. **Professora:** Essa aqui ela ocorre no continente/ mas não ocorre nas ilhas. Mas em compensação as espécies das ilhas apresentam uma semelhança com as espécies do continente.
10. **Estudante (?)**: Por que?
11. **Professora:** Por que? Boa pergunta ((sorri)).
12. **Pesquisadora:** Ou o que isso indica? Em vez de ser por que, o que isso indica?
13. **Professora:** É ((balança a cabeça, indicando dúvida)): O que isso indica?
14. **Estudante 1:** Evolução.
15. **Professora:** Evolução. Como?
16. **Estudante 2:** É/ ele/ ele/
17. **Estudante 5:** Professora?
18. **Estudante 3:** É/ provavelmente/ se ele permanecer naquele lugar/ é porque ele não tem uma facilidade de vida em outro local. Então ele só fica naquele local mesmo/ não dá para ele sair dali. Se não ele vai chegar lá e vai ser outro tipo de alimentação/ como é que ele vai se alimentar ali.
19. **Professora:** Sim/ mas a gente tá/

20. **Estudante (?)**: E para ele ir para lá?
21. **Estudante 5:** Professora?
22. **Professora:** Diga.
23. **Estudante 5:** Eu acho que a espécie do continente migrou pra ilha/
24. **Professora:** Sim?
25. **Estudante 5:** Aí/ chegando lá/ cada (+) tinha vários tipos de ilha/ né? Aí quem encontrava alimento pequeno/ maior/ ele teve que se adaptar e com isso/ teve o lance do bico ((faz gesto indicando formato do bico))/ então (+) o alimento maior outro menor/
26. **Professora:** Certo/ a gente vai caminhando por aí.
27. **Estudante 18**: Eles foram evoluindo.
28. **Professora:** Agora/ veja só. Quando a gente fala que a "espécie foi"/ a gente tem que lembrar que a gente não está falando de um indivíduo/ a gente tá falando de uma população/ né? De um grupo de indivíduos de uma espécie. Então quando o Estudante 5 falou que a espécie foi para lá/ não é/ Estudante 5? Então/ tem que lembrar que a gente tá falando/ Quando a gente fala em evolução/ quando a gente tem de falar em adaptação/ Oh, desculpa. De população. Então/ evolução/ população. Então/ segundo Estudante 5/ é a posição dele/ aquela espécie/ a população/ ela foi lá para as ilhas/ não é isso?
29. **Estudante 5:** É professora. Eu falei (+) é por aí.
30. **Professora:** Você disse que tinha diferentes alimentos.
31. **Estudante 5:** É isso/ originou o tamanho do bico. Um era pequeno/ outro era maior/ teve que se adaptar/ né?
32. **Professora:** Certo.
33. **Estudante (?)**: Alterou/ né?
34. **Estudantes:** Alterando.
35. **Estudante 1:** Porque essa alteração foi lentamente/ né? Não foi uma alteração do dia para a noite. Foi/ um foi mudando o bico/ aí no caso do cruzamento/ aí já foi já gerando outras espécies/ essas espécies foi alterando/ foi gerando/ e aí foi alterando.
36. **Professora:** Quando você fala "um foi mudando o bico"/ é um indivíduo/ como é que é?
37. **Estudante 1:** Não. Uma espécie/ foi uma geração. Mudou o bico/ né/ aí ele venha a dar outra espécie. Semelhante aos filhotes/ no caso.
38. **Professora:** Sim/ a mesma espécie. Ela vai procriar e deixar descendentes.
39. **Estudante 1:** Isso. Vai deixar descendentes. E o descendente dele já vai vir com essa alteração do bico.
40. **Professora:** Sim/ porque essa característica, ela já é herdada. ((Olha para a pesquisadora, como que buscando compartilhamento)).
41. **Estudante 1:** Isso/ já é herdada. E aí foi com essa alteração/ uma alteração de uma espécie/ de uma geração/ foi passando para a outra até chegar nessa evolução.
42. **Professora:** Certo. Vamos lá/ então.

Neste episódio, a professora retomou o cenário dos tentilhões das Galápagos, dando ênfase às evidências de que a espécie de tentilhão do continente deveria ser ancestral das espécies encontradas atualmente no arquipélago. No primeiro turno, ela propôs questões aos estudantes que poderiam dirigir o discurso para a mobilização da noção de ancestralidade

comum e para o desenvolvimento de uma narrativa que descrevesse a diversificação das espécies encontradas nas ilhas.

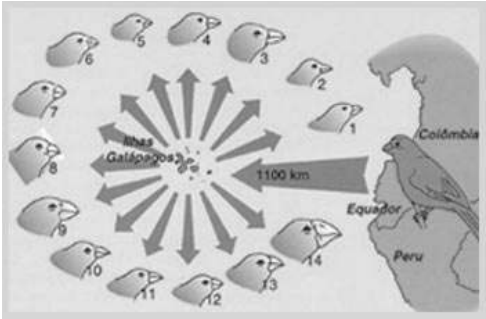


Figura 18: Ilustração projetada em aula para subsidiar discussão sobre a origem da diversidade de tentilhões das Galápagos.

Os estudantes de início se mostraram muito tímidos em participar, sendo necessário que a professora os motivasse. Sua apatia inicial pode ser em parte explicada pelo fato de a aula, em princípio, apresentar todo um aparato de aula expositiva, ao ser realizada num anfiteatro e com uso de *datashow*. Os estudantes parecem ter identificado tais indícios, reconhecendo que, nestes casos, a professora geralmente fala mais e lhes oferece menor chance de participação.

O estudante 3, como de costume, foi um dos primeiros a reagir. Ele se ateve apenas à primeira questão proposta, a de explicar a semelhança entre a espécie do continente e as do arquipélago, mencionando a noção de herança. Ele não a relacionou explicitamente, no entanto, com a idéia de evolução por descendência comum, a despeito das solicitações feitas pela professora para que desenvolvesse sua resposta. Então, no turno de fala 8, ele sugeriu que, se não encontramos hoje a espécie ancestral nas ilhas, é porque ela não chegou a ocupar o arquipélago, pelo fato de não ter encontrado ali condições favoráveis.

No turno 9, a professora repetiu a informação acerca da semelhança entre a espécie ancestral e as espécies do arquipélago. Um estudante não identificado retomou, então, a questão inicial da professora a respeito da razão para este fato. No turno 12, a pesquisadora propôs uma mudança na formulação da pergunta, sugerindo que os estudantes questionassem "O que este fato [a semelhança entre a espécie do continente e as espécies do arquipélago] indica?", em lugar de uma questão da forma "Por quê?". Diante disso, a estudante 1 responde

“Evolução” e a professora solicitou, então, que os estudantes explicassem como teria ocorrido essa evolução.

O estudante 3 persistiu, no turno 18, na formulação de uma perspectiva de acordo com a qual cada espécie se encontra ajustada à exploração de um tipo de recurso alimentar e, portanto, a determinadas condições ambientais, o que restringiria e, portanto, explicaria sua distribuição geográfica.

Então, no turno 25, o estudante 5 propôs uma explicação baseada na construção de uma narrativa segundo a qual a espécie ancestral migraria para o arquipélago e encontraria diferentes condições ambientais nas ilhas, incluindo a disponibilidade de alimentos de diferentes tamanhos. Esses eventos gerariam a necessidade de esta espécie se adaptar, daí resultando o tamanho diferencial dos bicos.

A professora avaliou positivamente a resposta do estudante 5 no turno 26, uma vez que ela deslocou o discurso da sala de aula de uma perspectiva providencial, expressa até então pelo estudante 3, em direção a uma interpretação da adaptação de uma perspectiva evolutiva. O estudante 18 reconheceu esta mudança de perspectiva e enfatizou o caráter gradual do processo evolutivo no turno seguinte: “Eles foram evoluindo...”.

Naquele momento, os estudantes estavam usando os termos “evolução”, “evoluir”, “adaptação”, “adaptar-se” para se comunicar na sala de aula, mas ainda de modo incerto e hesitante e sem atribuir-lhes um significado socialmente estabilizado.

A partir do turno de fala 28, a professora procurou elaborar a explicação narrativa proposta pelo estudante 5. Primeiro, ela tentou esclarecer para toda a turma e marcar a idéia chave de que o processo de mudança adaptativa descrito pelo estudante 5 ocorre ao nível da população, e não do indivíduo. Ela também solicitou a este estudante que elaborasse sua explicação a partir dos dados sobre oferta variada de alimento nas ilhas mencionados por ele.

O estudante 5 apenas confirmou, contudo, sua idéia de que este teria sido um fator envolvido na origem do tamanho dos bicos, mas não especificou qual foi o papel desta condição ambiental no processo evolutivo, nem propôs um possível mecanismo através do qual a evolução dos tentilhões teria ocorrido.

Contudo, uma proposição desta natureza foi feita pela estudante 1 no turno 35. É importante notar que se tratava, mais uma vez, de um estudante recorrendo à construção de uma narrativa para o desenvolvimento de uma explicação.

Podemos reconstruir da seguinte forma a narrativa construída pela estudante 1, como resultado de sua interação com a professora entre os turnos 35 e 39: Uma geração foi mudando o bico, aí no caso de cruzamento (E1), ela vai procriar (P) e vai deixar descendentes,

e o descendente já vai vir com essa alteração do bico (E1), e aí essa alteração de uma geração foi passando para a outra até chegar nessa evolução (E1) (Figura 19).

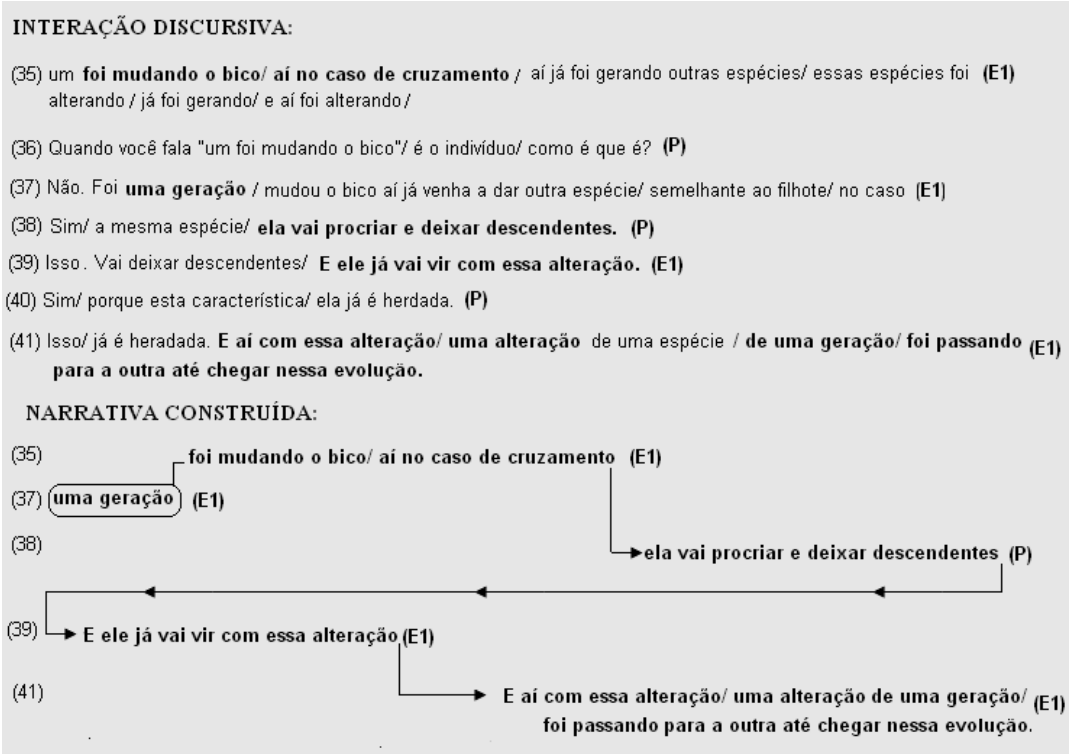


Figura 19: Construção de uma narrativa pela estudante 1 (E1) em interação com a professora (P), para explicar a origem das treze espécies de tentilhões das Galápagos, entre os turnos 35 a 41 do episódio 4.1.

Neste caso, a estudante 1 assumiu praticamente sozinha o papel de narradora. Como podemos concluir do esquema ilustrado na figura 11, as intervenções da professora pouco contribuíram para a construção da narrativa propriamente dita. A iniciação da professora no turno 36 levou a estudante a precisar o agente, exprimindo-o como "uma geração". As duas outras intervenções da professora, nos turnos 38 e 40, ofereceram *feedback* e prosseguimento para que a estudante 1 qualificassem os eventos que se seguem à reprodução (cruzamento) da primeira geração de pássaros com bico modificado, até chegar à mudança evolutiva da população de pássaros.

Nestas trocas lingüísticas com a professora entre os turnos 35 e 37, fica claro que a estudante usa os termos "espécies" e "geração" de modo indistinto, o que dificulta a compreensão da narrativa. Contudo, é possível concluir que o principal agente é uma geração de pássaros que muda o bico gradualmente e transmite essa mudança a outras gerações

através da reprodução. Um aspecto notável é o uso do gerúndio, consistente com a idéia que a estudante queria defender, a saber, de que as mudanças evolutivas são graduais.

A explicação narrativa da estudante 1 conserva a estrutura de uma explicação transformacional da mudança evolutiva, a qual teria origem em uma transformação morfológica ocorrida ao longo da vida de organismos individuais de uma espécie, constituindo, portanto, uma transformação no nível ontogenético, que seria meramente estendida a uma transformação filogenética. Esta explicação, no entanto, tem como aspecto diferencial, em relação às narrativas até então construídas por ela e pelo estudante 2, a proposição de um mecanismo a partir do qual essas transformações nos indivíduos se propagam na população, levando a uma mudança evolutiva. Estas transformações seriam transmitidas ao longo das gerações através da reprodução dos organismos transformados.

Neste episódio, emergem compromissos ontológicos e epistemológicos próprios da zona ajuste providencial, através dos enunciados do estudante 3, e compromissos da perspectiva transformacional, os quais fundamentam o modelo explicativo para a diversificação dos pássaros produzido na interação entre a professora , o estudante 5 e a estudante 1. A despeito de estas duas perspectivas emergirem, as intervenções e estratégias enunciativas da professora não favoreceram que ambas fossem igualmente exploradas e que houvesse uma interanimação de idéias. O discurso foi dirigido para a construção de uma univocidade em torno de uma perspectiva evolutiva de interpretação da adaptação, a qual neste caso estava comprometida com uma visão transformacional.

Os seguintes compromissos ontológicos e epistemológicos da perspectiva transformacional são negociados na interação entre a professora e os estudantes 5, 18 e 1: a adaptação é vista como um processo que leva à mudança evolutiva; interpreta-se a mudança adaptativa tendo-se em vista uma tendência de transformação da essência da espécie para alcançar maior ajuste às condições ambientais; explica-se essa mudança adaptativa através de uma narrativa focada em organismos individuais que protagonizam uma transformação ("foi mudando"; "mudou o bico"), a qual é propagada pela população ao longo das gerações através da reprodução, ou seja, mudanças filogenéticas são explicadas pelo acúmulo de mudanças ontogenéticas.

Um aspecto notável na estratégia enunciativa da professora neste episódio é o uso do dêitico "a gente" entre os turnos de fala 3 e 26. Este dêitico corresponde a um coletivo que, neste trecho do episódio, parece incluir a professora, mas opor-se ao coletivo dos estudantes, representados por "vocês" no turno 3 (*vocês têm de ir falando para a gente ir nesse processo/*) . Se analisarmos o seu uso desde este momento até o turno 26 (*a gente vai*

caminhando por aí), podemos concluir que o dêitico "a gente" representa uma espécie de personificação do discurso da ciência escolar e, portanto, até o turno 26, ele não é de fato coletivo, demarcando, antes, o papel enunciativo da professora. Ao utilizá-lo nos turnos 7 e 19, a professora avalia negativamente a perspectiva providencial de interpretação da adaptação apresentada pelo estudante 3, deixando claro que seus enunciados não têm lugar no desenvolvimento da estória científica que está sendo contada. De modo semelhante, a professora também o utiliza no turno 26 para avaliar positivamente a resposta do estudante 5, dada no turno 25, e estabelece a direção que o discurso deve seguir. No turno 28, o dêitico "a gente" passa, então, a incluir os estudantes que estão desenvolvendo uma explicação narrativa para a origem das treze espécies de tentilhões das Galápagos, sendo esta, então, uma estratégia enunciativa que favorece o desenvolvimento da estória científica.

Quanto ao padrão de interação discursiva, predominaram neste episódio tríades I-R-A, intercaladas por pequenas cadeias fechadas I-R-P-R-A ou I-R-F-R-A e pequenas seqüências de turnos em que há uma troca mais aberta com iniciações de estudantes, e ainda com a participação de um outro tipo de ator social na sala de aula, a pesquisadora, a qual propôs no turno de fala 12 uma pequena mudança na direção do discurso, ao reformular uma iniciação da professora.

Por fim, neste episódio, a abordagem comunicativa estabelecida foi interativa de autoridade. No quadro 18, apresentamos uma síntese dos aspectos semânticos, lingüísticos e discursivos que estiveram envolvidos na significação das explicações darwinistas para a diversificação da forma orgânica ao longo deste episódio.

Quadro 18: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 4.1.

Intenções da professora	•Explorar visão dos estudantes: entendimento da noção de ancestralidade comum e explicações para a diversificação da forma orgânica.
Conteúdo do discurso	• Descrição empírica e teórica: diversificação dos tentilhões das Galápagos. • Explicação teórica: Origem das treze espécies de tentilhões das Galápagos.
Abordagem comunicativa	Interativa de autoridade.
Padrões de Interação	Tríades I-R-A, cadeias fechadas I-R-P-R-A, trocas abertas entre estudantes. • (1-9) I-R-A •(10-13) Trocas abertas entre estudantes, professora e pesquisadora • (13-19) I-R-A • (20-21) Iniciações de estudantes • (22 -26) I-R-P-R-A • (26- 32) I-R-A/I-R-F-R-A • (33-35) Interação entre estudantes • (36 - 42) I-R-F-R-F-R-A

Formas de pensar	• Diversidade orgânica é explicada pelo ajuste harmônico entre estrutura morfológica e condições ambientais (enunciados do estudante 3); • Diversidade orgânica é explicada a partir de uma perspectiva evolutiva. O processo evolutivo ocorre através de um mecanismo transformacional.
Modos de falar	• Estabelecimento de uma relação de conformidade necessária entre o ambiente e a estrutura e o comportamento do organismo. • Narrativa em que organismos individuais protagonizam a mudança evolutiva de uma população; uso da expressão "teve de se adaptar" para designar fator causal que dirige processo evolutivo; uso do gerúndio para caracterizar natureza gradual e temporal da evolução.
Perspectivas de significação do conceito	Emergem compromissos ontológicos e epistemológicos próprios da zona ajuste providencial (enunciados do estudante 3). São explorados e negociados compromissos da perspectiva transformacional (estudantes 5, 18 e 1, em interação com a professora).

Após este episódio, a professora confirmou a correção da idéia de que a origem das treze espécies das Ilhas Galápagos é explicada pela modificação de uma espécie ancestral que ocupou o arquipélago. Ela também destacou, no entanto, que a questão de como esta modificação ocorreu ainda não havia sido respondida a contento. Deste modo, avaliou de forma indireta o mecanismo proposto pela estudante 1. Em seguida, comentou que a discussão do jogo levaria à elucidação deste ponto, retomando-a com o intuito de modelar o mecanismo da seleção natural.

Contudo, antes disso, a professora levou um bom tempo esclarecendo que os dados obtidos na turma não haviam sido os esperados e explicando porque isso ocorreu. Em seguida, ela apresentou os dados obtidos em outra turma de terceiro ano da escola (Figura 20), que haviam se aproximado mais do esperado. O próximo passo foi explorar a descrição empírica e conceitual destes novos dados com os estudantes.

Ao fazê-lo, mais uma vez ela tentou negociar o significado dado ao termo adaptação, ao sugerir o seu uso para nomear uma característica que se tornou prevalente em uma população devido a alguma vantagem que conferia ao seu portador. Deste modo, a professora buscou estabilizar o significado atribuído no conceito darwinista de adaptação por Sober (1993). É o que podemos observar no episódio a seguir.

Episódio 4.2. ***Isso aí é o que? O que é que esse pássaro tinha, era uma característica o que?***[35]

1. **Professora:** Aí/ a gente teve que no final predominou o que? Um número maior de pássaros com o bico diferenciado. Isso aí é o que? O que é que esse pássaro tinha, era uma/ era uma característica o que?
2. **Estudante 1:** Ele conseguiu se adaptar.
3. **Professora:** Ele?
4. **Estudante 1:** Ele conseguiu se adaptar.
5. **Professora:** Ele quem?
6. **Estudante 1:** A população.
7. **Professora:** A PO-PU-LA-ÇÃO. Os organismos de bico grande/ eles apresentavam uma característica/ que no caso/ o fato do bico ser grande era vantajoso para ele.
8. **Estudante 1:** Isso.
9. **Professora:** Não é isso? Então/ favoreceu/ Então/ ali a disponibilidade de sementes grandes/ ele tendo bico grande/ com isso ele conseguiu calorias o suficiente para sobreviver e se reproduzir como foi mostrado ali. Tá?

No turno de fala 1, a professora fez uma iniciação para que os estudantes nomeassem ou qualificassem a característica que se tornou prevalecente na população ao final do jogo. A estudante 2, no entanto, manteve o foco no processo que ocorreu ao longo do jogo, significando-o como a ação de adaptar-se. Entre os turnos 3 e 7, a professora solicita que a estudante qualifique quem é o agente desta ação, com o intuito de marcar a idéia de que a evolução ocorre no nível da população e não do organismo. E, em seguida, voltou a dirigir o foco para a característica apresentada pelos pássaros que se tornaram mais freqüentes na população, o tamanho do bico, buscando argumentar que esta característica é que foi responsável pela sobrevivência e reprodução diferencial destes organismos. No entanto, ela mesma acaba não nomeando esta característica com termo adaptação.

Após este episódio, a professora iniciou a construção de uma narrativa que dava conta da mudança de composição fenotípica nas populações das terras norte e sul, com o intuito de apresentar uma explicação variacional, selecionista, para a mudança adaptativa da população inicial de clipsitacídeos, simulada durante o jogo. O próximo episódio (episódio 4.3) que selecionamos para analisar foi produzido neste momento da aula.

[35] Não apresentaremos para este episódio o mesmo tipo de análise detalhada que fizemos para os demais. Em decorrência de não ter sido recortado com base nos mesmos critérios que os anteriores, o episódio 4.2 não apresenta elementos suficientes para realizarmos uma análise significativa da integração entre aspectos semânticos, sociais e lingüísticos do discurso, com base em nossas ferramentas de análise.

Terra dos Clipes Norte

	1ª Temporada	2ª Temporada	3ª Temporada	4ª Temporada
Bico Grande	2	4	2	3
Bico Médio	2	4	0	0
Bico Pequeno	2	1	1	0

Terra dos Clipes Sul

	1ª Temporada	2ª Temporada	3ª Temporada	4ª Temporada
Bico Grande	2	3	2	1
Bico Médio	2	4	0	0
Bico Pequeno	2	4	2	3

Figura 20: Resultados obtidos no jogo dos clipsitacídeos em outra turma da mesma escola

Episódio 4.3.: "E aí a gente chega na Teoria da Seleção Natural".

1. **Professora:** Então a gente tinha uma população inicial de pássaros com uma variação fenotípica, que era?
2. **Estudante 1:** Os bicos.
3. **Professora:** O tamanho dos bicos. Então/ essa população apresentava essa variação/ dentre outras/ que a gente selecionou para estudar. Houve essa separação geográfica dessa população/ passou um rio aí no meio/ houve variação na oferta de alimentos/ terra norte e terra sul/ houve o que também? Competição. Os indivíduos, os organismos estão competindo por?
4. **Estudante 1:** Alimento.
5. **Professora:** Alimento. Com isso a gente teve o que? Uma sobrevivência diferencial e uma reprodução diferencial. Houve essa/ (+) com o mecanismo de competição o que é que teve? Sobreviveu de maneira diferencial e se reproduziu também. Quando a gente fala diferencial é com relação à população original.
6. **Estudante 1:** Na verdade/ alterou a vegetação/ alterou também o fator genético.
7. **Professora:** Sim ((sorrindo meio sem graça))? (+) Seja mais clara.
8. **Estudante 1:** Não/ porque conforme foi mudando a vegetação/ o fator genético também foi mudando.
9. **Professora:** O fator genético/ como assim Estudante 1?
10. **Estudante 1:** Do descendente/ da população.
11. **Estudante (?)**: O bico.
12. **Professora:** Os genes/ a carga/ ia variando?
13. **Estudante 1:** Ia variando.
14. **Professora:** OK.

15. **Estudante 1:** E aí foi mudando. Por isso que houve esse diferencial/ porque ele mudou.
16. **Professora:** Certo. Então/ na verdade/ nessa situação eles estavam submetidos a um regime seletivo e que ocorreu o que? Ô gente/ o que é que ocorreu? Mudança de uma população ao longo das gerações. E o que é que isso? Essa mudança? De população ao longo das gerações?
17. **Estudante (?)**: Evolução.
18. **Professora:** É evolução?
19. **Estudante 1:** Isso.
20. **Professora:** Evolução. OK. ((sorrindo satisfeita)). Na terra norte aqui/ por exemplo/ só para a gente amarrar/ Na terra norte a gente tinha abundância de sementes de pinheiro, indivíduos com bicos maiores conseguem coletar mais/
21. **Estudantes:** Alimento.
22. **Professora:** Alimento. Com isso aumenta suas chances de sobrevivência e aumenta suas chances também de deixar/
23. **Estudante (?)** Descendentes.
24. **Professora:** Descendentes. A vantagem adaptativa dos indivíduos com bicos maiores em relação àqueles com bicos menores ((lê informação apresentada no slide)). Então/ aqueles organismos com bicos maiores/ eles têm uma vantagem adaptativa/ né? A característica "com bico maior" pode ser considerada uma vantagem adaptativa para aqueles organismos naquele ambiente que ele está ali. A forma dos bicos/ não esquecendo que é uma característica hereditária/ se as condições continuarem as mesmas vai acontecer o que? Aumento da freqüência dos indivíduos com bicos maiores ao longo das gerações/ Então/ se ao longo das gerações/ se aquela condição ambiental que tinha continuar a mesma/ a gente vai ter um aumento de freqüência desses indivíduos com bicos maiores naquelas condições. Se a gente muda aquilo ali/ aquelas condições pode ocorrer o que? A gente muda/ pode ocorrer/ uma mudança na população. E aí a gente chega na Teoria da seleção natural.

Neste episódio, a professora teve a intenção de desenvolver a estória científica. Ela pretendia apresentar a teoria da seleção natural, a partir da elaboração de uma explicação para mudança adaptativa nas duas populações de clipsitacídeos isoladas geograficamente, em decorrência de um contexto ecológico específico, simulado no jogo realizado com a turma na aula anterior.

A explicação apresentada pela professora, entre os turnos 1 a 5, constitui uma narrativa, uma vez que há uma seqüência de eventos conectados não apenas cronologicamente, mas também em termos causais, no sentido de que a ocorrência de um evento contribui, em alguma medida, para o evento subseqüente. No entanto, em contraste com as narrativas produzidas anteriormente, a maior parte dos eventos não tem uma agência clara. Alguns eventos para os quais são apresentados personagens protagonizando ou sofrendo a ação são primeiramente nominalizados. Por exemplo, foi mencionado o evento da competição, para depois ser feita a tradução para um enunciado em que há um agente claro, "os indivíduos, os organismos estão competindo por comida". Provavelmente, essa tradução

foi feita para engajar os estudantes na narrativa, do mesmo modo que a estratégia de fazer neste mesmo turno de fala uma iniciação de produto, que solicitava dos estudantes completarem o enunciado da professora (turnos 44 e 45).

Além destas marcas lingüísticas, que diferenciam o modo de falar variacional desta narrativa em relação às narrativas transformacionais anteriores, a narrativa da professora mobiliza boa parte das premissas e dos fatos que estruturam a lógica da teoria da seleção natural. Ela inicia com a premissa de que há variação fenotípica na população de pássaros. Em seguida, são narrados eventos de mudanças ambientais, que resultam em um contexto de isolamento geográfico, e mudanças no regime seletivo – variação na oferta de alimento – e, finalmente, em competição entre os organismos. Em conseqüência da premissa de que há variação fenotípica na população e do fato de que há limite de recursos e competição intrapopulacional, ocorre a sobrevivência e reprodução diferenciais de certas variantes fenotípicas, o que levou à mudança nas populações.

No turno 6, a estudante 1, que participava apenas respondendo às iniciações de produto da professora, interrompeu a construção dessa narrativa, para propor a inclusão de um evento que, em sua visão, explicaria a sobrevivência diferencial e a mudança na população. Ela sugeriu que a alteração na vegetação, que, na narrativa da professora, equivalia ao evento da variação na oferta de alimentos, seria seguida de uma alteração no "fator genético" dos pássaros, que seria, então, transmitida aos descendentes.

Com esta intervenção, a estudante 1, por assim dizer, abriu a caixa preta dos modelos propostos por ela e pelo estudante 2 até aquele momento para explicar o suposto crescimento dos bicos dos pássaros submetidos à escassez de alimento. Ela explicitou o mecanismo a partir do qual se daria a transformação ao longo da vida dos organismos individuais, que seria, subseqüentemente, propagada à população, levando à sua mudança fenotípica.

O mecanismo proposto pela estudante 1 está ancorado na noção denominada por Mayr (1998, p. 766) "hereditariedade tênue", a idéia de que o material genético, a base genética das características fenotípicas, é em si maleável, flexível, podendo mudar por indução direta do ambiente.

A professora pareceu ter ficado um pouco surpresa com o mecanismo sugerido e, entre os turnos 7 e 15, interagiu com a estudante, solicitando que desenvolvesse melhor sua explicação.

A professora não explicitou para a turma que o modelo da estudante 1 era alternativo à explicação variacional, assim como não pôs em questão a noção de hereditariedade tênue pressuposta naquele modelo. No turno de fala 12, como estratégia para retomar a explicação

variacional que vinha construindo, a professora preferiu remodelar as respostas da estudante de modo a substituir a idéia de alteração do material genético devido à ação direta do ambiente, proposta pela estudante, por uma idéia mais próxima à mudança na freqüência de alelos na população, “os genes/ a carga ia variando”.

Deste modo, a professora procurou tornar a intervenção da estudante compatível com a perspectiva variacional, operação discursiva que completou no turno de fala 16, ao introduzir a noção de regime seletivo.

Ao final deste mesmo turno, a professora usou uma estratégia discursiva para construir de novo a univocidade que havia sido quebrada, ao tentar levar os estudantes a reconhecerem a mudança de variantes na população como um processo evolutivo. Satisfeita com a resposta dos estudantes, no turno de fala 24, a professora retomou a narrativa anterior, marcou algumas idéias chave, como as noções de vantagem adaptativa e de mudança de freqüência de variantes, e então anunciou que, através desta narrativa, chegava-se à teoria da seleção natural proposta por Darwin e Wallace.

A abordagem comunicativa neste episodio foi claramente de autoridade. O ponto de vista diferente daquele da ciência escolar que emergiu na interação com a estudante 1 não foi contemplado pela professora, sendo remodelado para se tornar compatível com a perspectiva da ciência escolar que estava sendo desenvolvida.

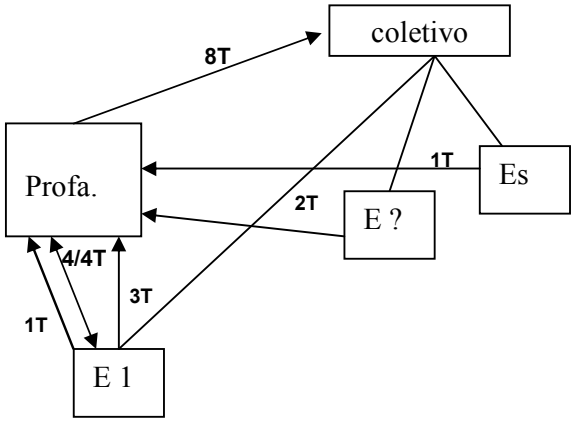


Figura 21: Estrutura de interação em sala de aula, ao longo do episódio 4.3.

A despeito de haver turnos de fala de estudantes, a qualidade e o grau da interatividade foram reduzidos. Os turnos de fala da professora foram bastante longos, enquanto as contribuições dos estudantes foram muito exíguas. Como podemos ver no esquema que

representa a estrutura da interação em sala de aula (Figura 21), grande parte das iniciações da professora (oito turnos de fala) foi dirigida ao coletivo e constituíram iniciações de processo e escolha, às quais os estudantes responderam com enunciados curtos, que forneciam palavras para completar lacunas deixadas pela professora. Esta estrutura de perguntas e respostas só foi quebrada quando a estudante 1 se dirigiu à professora, sem ser solicitada. Tendo sido acatada a intervenção da estudante, isso deu origem a um diálogo com duração de oito turnos de fala entre ela e a professora. Por este motivo, concluímos que a abordagem comunicativa estabelecida se situa no pólo mais próximo de uma abordagem não-iterativa, conforme categorizamos no quadro 19, em que este e outros aspectos do discurso produzido em sala de aula ao longo deste episódio são sistematizados.

Quadro 19: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 4.3.

Intenções da professora	• Desenvolver a estória científica: apresentar a seleção natural como mecanismo evolutivo.
Conteúdo do discurso	• Explicação teórica: explicação da mudança fenotípica das populações de clipsitacídeos a partir dos princípios que estruturam a seleção natural. • Generalização: Apresentar a seleção natural como um dos principais mecanismos evolutivos.
Abordagem comunicativa	Não-interativa e de autoridade
Padrões de Interação	• (1-5): Tríades I-R-A •Turno 6: Iniciação da estudante 1 • (6 -16): I_{E1}-P-R-P-R_1-$R_?$-F-R-P-R-A • (16 -24) Tríades I-R-A e Síntese final
Formas de pensar	• Pensamento populacional; • Análise das condições particulares (para quais grupo de organismos e em quais condições ambientais) em que uma estrutura orgânica opera como uma vantagem adaptativa para seu portador.
Modos de falar	• Narrativa em que eventos de mudanças ambientais são sucedidos por mudanças evolutivas em uma população de organismos. Não há propriamente atores protagonizando ações, mas eventos que se sucedem causalmente.
Perspectivas de significação do conceito	• Construção de univocidade em torno dos compromissos da perspectiva variacional.

AULA 5: ***Descendência comum, mecanismo da seleção natural e especiação***

Nesta aula, a professora procurou desenvolver a estória científica apresentando mais formalmente a explicação darwinista para a origem e adaptação das espécies. Ela expôs para os estudantes o argumento de que a teoria darwinista da evolução está estruturada em torno de duas idéias centrais, a noção de evolução por descendência comum e a teoria da seleção natural como mecanismo responsável pelas mudanças adaptativas. Para tanto, trabalhou a

partir da leitura de um roteiro de estudo (ver apêndice 5) com os estudantes, ao longo da qual fez intervenções, mostrando imagens com uso de retroprojetor. O roteiro apresentava as idéias darwinistas partindo da interpretação dos dois cenários já estudados: a diversificação dos tentilhões das Galápagos e as mudanças nas populações de clipsitacídeos após isolamento geográfico, simuladas no jogo.

Quadro 20: Mapa de atividades da 5° aula, *Descendência comum, mecanismo da seleção natural e especiação* .

Tempo (min)	**Atividade desenvolvida**	**Principais temas**	**Ações dos participantes**	**Comentários**
1 min	Avisos sobre calendário escolar e programa da disciplina até final do ano		Professora dá informes à turma.	
1 min	Introdução: objetivos da aula		Professora esclarece que irão trabalhar a partir da leitura de um roteiro de estudo que sistematiza as idéias discutidas na aula anterior.	
18 min	Leitura do roteiro de estudo: Descendência com modificação	-Significado do termo adaptação -Narrativa sobre a diversificação dos tentilhões a partir da migração da espécie ancestral para as ilhas. - Idéias darwinistas: evolução e descendência com modificação. - Modelo lamarckista de evolução linear *versus* modelo darwinista de divergência ramificada. - Metáfora darwinista da árvore - Aplicação do modelo da árvore filogenética ao caso dos tentilhões das Galápagos.	Professora lê o roteiro e faz intervenções, mostrando imagens com uso de retroprojetor.	Professora esclarece que os estudantes devem ficar à vontade para fazer interrupções para acrescentar algo ou colocar questões. Após apresentar os modelos, a professora solicita que os estudantes os comentem. Estudantes não reagem. Professora solicita que estudantes relacionem modelo darwinista com o que viram no jogo ou com a situação dos tentilhões. Professora apresenta figura com filogenia dos tentilhões.

Tempo (min)	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
7 min	Discussão acerca de um possível mecanismo a partir do qual as espécies divergem.	- Fatores evolutivos e regime seletivo - Conceitos de espécie	Professora solicita que os alunos proponham um modelo para explicar como as espécies se modificam a partir de uma população ancestral. Estudantes propõem explicações a partir não só dos resultados do jogo, mas também da figura com a filogenia dos tentilhões.	Estudantes 1 e 2 discutem entre si informações dadas pela professora, assim como possíveis modelos.
26 min	Leitura do Roteiro: análise da situação simulada pelo jogo dos clipsitacídeos	- Variação intra-específica e inter-específica. - Padrões de Herança	Professora volta a ler o roteiro a partir do trecho em que é descrita a situação simulada no jogo, seguida pela explicação para o que ocorreu. Estudantes interrompem a leitura para tirar dúvidas sobre aspectos que parecem amparar os modelos que eles estão desenvolvendo, buscando negociar significados com as idéias apresentadas pela professora.	Professora dá ênfase à informação de que os clipsitacídeos, apesar de apresentarem diferenças fenotípicas, são da mesma espécie. Estudante 5 faz uma pergunta crucial, que revela problemas na interpretação do que é variação inter- e intra-específica no caso dos tentilhões e dos clipsitacídeos. Pesquisadora intervém e, junto com professora tenta esclarecer, diferença entre variação inter-especifica e variação intra-específica. Estudante 1 levanta questão fundamentada em noção de herança como mistura. Estudantes conversam aos pares sobre o assunto, e a professora prossegue com a explicação. Estudante 3 volta a insistir em um modelo transformacional.
(3 min)	**EPISÓDIO 5.1 :** ***De um foi para dois, de dois se reproduziu e já formou quatro, de quatro se reproduziu e formou oito.***	- Regime seletivo; - Freqüência/proporção de variantes; - Mudanças na população.		
(3 min)	**Episódio 5.2: Será que as proteínas da alimentação não contribuíram para que o bico dos pássaros se desenvolvesse?**	- Conceito darwinista de adaptação e seleção natural		

Tempo (min)	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
2 min	Discussão sobre rendimento da turma nas aulas sobre evolução.		Estudantes discutem entre si a respeito do nível em que o assunto está sendo compreendido pela turma.	Estudante 6 diz que ninguém está entendendo nada. Estudante (?) reage perguntando se ela participou do jogo. Abre-se uma discussão na turma a respeito.
(10 min)	Leitura do Roteiro: Idéias que estruturam a teoria da Seleção Natural	- Luta pela sobrevivência e Teoria da Seleção Natural; - Potencial Biótico; - Luta pela sobrevivência; - Variação intrapopulacional; - Regime seletivo e vantagem adaptativa; -Variação herdável;	Professora conclui exposição sobre conceito de adaptação, buscando estabelecer relação com mecanismo da seleção natural Professora expõe as idéias que estruturam a seleção natural, através da leitura do roteiro	Estudantes dispersos.
3 min	Levantamento das idéias dos estudantes sobre a origem das variações fenotípicas nas populações naturais.	Origem de variação na população.	Professora explora visões dos estudantes e inicia leitura de texto sobre origem da variação intrapopulacional.	O tempo da aula se esgota antes que a professora consiga fazer uma conclusão da mesma.

Foram selecionados dois episódios para análise produzidos no momento em que a professora apresentou aos estudantes uma descrição e explicação teórica para a situação simulada no jogo dos clipsitacídeos. Ao fazê-lo, a professora disponibilizou a linguagem social da ciência, introduzindo conceitos relativos à explicação darwinista da adaptação. Esta explanação da professora foi interrompida em dois momentos em decorrência de iniciações do estudante 3, nas quais ele propôs explicações transformacionais para a interpretação dos resultados obtidos no jogo. Estas iniciações foram, de algum modo, acatadas pela professora, gerando novas pautas interativas. Em ambos os episódios, outros estudantes, que até o momento haviam construído explicações narrativas fundadas também em uma perspectiva transformacional, como os estudantes 1, 2 e 5, reagiram às colocações do estudante 3, argumentando contrariamente à explicação transformacional proposta por ele para o caso específico dos resultados observados no jogo.

Episódio 5.1: De um foi para dois, de dois se reproduziu e já formou quatro, de quatro se reproduziu e formou oito

1. **Professora:** Olha o rio aqui no meio que separou dois grupos/ duas populações. Essas duas populações/ gente/ vamos olhar aqui/ elas foram submetidas a regimes seletivos diferentes/ tá? O que é que é/ O que foram estes regimes seletivos diferentes? Foram a oferta de alimento diferente. Isso fez com que? Com essas populações? Que acontecesse o que com essas populações?
2. **Estudante 3:** Que os bicos dele fossem modificados. ((responde prontamente, antes mesmo de a professora terminar a questão))
3. **Professora:** Sim/ Bico de que? De um indivíduo? Ou o que é que ocorreu com a população?
4. **Estudante 3:** Porque ali no caso/ existia uma única espécie//
5. **Professora:** O bico foi modificado como Estudante 3? Quem tinha bico grande passou a ter bico pequeno?
6. **Estudante (?):** Não.
7. **Estudante 3:** Sim/ através de eles que//
8. **Professora:** Transformando?
9. **Estudante 5:** Não.
10. **Estudante 2:** Não.
11. **Professora:** Como é que ocorreu isso?
12. ((estudantes falam ao mesmo tempo, inaudível))
13. **Professora:** A gente tinha uma população que tinha uma variação/ bico grande/ bico pequeno/ médio.
14. **Estudante 2:** ((gesto confirmando informação da professora, "Isso")) Aí o que foi que//
15. **Estudante 1:** Aí o que foi que aconteceu /o bico//
16. **Professora:** Eles estavam submetidos a um regime seletivo/ que era a alimentação/((estudantes 1 e 2 fazem gestos querendo explicar. Estudante 2 coça a cabeça, visivelmente ansioso para falar. Eles aguardam, contudo, a professora terminar a explicação)) Depois de um tempo/ vamos lembrar do tempo/ passado o tempo/ essa mesma população é igual?
17. **Estudante 2:** Não/ professora. Não.
18. **Professora:** O que foi que aconteceu?
19. **Estudante 1:** Foi assim//
20. **Estudante (?):** Ocorreu modificações.
21. **Professora:** Modificação.
22. **Estudante 1:** Ocorreu assim/ foi assim/ os do bico grande/ vamos supor/ ele conseguiu se sobreviver/ e ele se/ ele se/
23. **Estudantes (?):** Se reproduziu.
24. **Estudante 1:** Então se ele se reproduziu//
25. **Estudante 3:** Ele se adaptou à região.
26. **Estudante 1**: Ele chamou um a mais ((referindo-se à dinâmica do jogo)).
27. **Estudante (?):** Ele tinha que se adaptar.
28. **Professora:** Sim. E isso aí fez com que a população se?
29. **Estudante 2:** Adaptasse.
30. **Estudantes (?):** Se adaptasse.
31. **Estudante 2:** E esse outro//
32. **Estudante 1:** Porque de um foi para dois/ de dois se reproduziu e já formou quatro/ de quatro se reproduziu e formou oito//

33. **Professora:** Pronto. Certo. Aumentou o número de indivíduos de bico grande como você está citando/ mas a população em si/ o que aconteceu com ela? Ela se mo/
34. **Estudantes 1, 2 e 8** : Se modificou.
35. **Professora:** Ela se modificou. É isso?
36. **Estudante 1:** Isso.

No primeiro turno de fala, a professora desenvolveu uma narrativa descrevendo teoricamente o que aconteceu na situação simulada no jogo dos clipsitacídeos. Para tanto, ela utilizou o recurso de fazer questões para fins retóricos, às quais ela mesma respondeu. Antes mesmo de finalizar uma destas questões, a qual levaria ao evento final da narrativa, a mudança da composição das populações isoladas de clipsitacídeos ao final do jogo, o estudante 3 respondeu à questão, propondo que ocorreria uma modificação nos bicos dos pássaros.

Entre os turnos 3 e 8, a professora fez questões ao estudante 3 de modo a apresentar aspectos que tornavam implausível o mecanismo transformacional proposto por ele, tendo em vista as observações e os dados empíricos obtidos ao longo da realização do jogo.

O estudante 3 ainda tentou argumentar a favor de sua proposta, mas foi interrompido sistematicamente, não só pela professora, mas também pelos estudantes 5 e 2, que, frente às questões colocadas pela professora, reconheceram os problemas enfrentados pela proposta do colega.

A partir do turno 13, a professora voltou a descrever os eventos ocorridos com uma das populações de clipsitacídeos. Entre os turnos 13 e 18, os estudantes 1 e 2 tentaram assumir a narrativa que estava sendo produzida pela professora. Enfim, no turno 19, a professora lhes outorgou este papel.

Entre os turnos 19 e 32, a estudante 1 construiu uma narrativa em que apresentava um mecanismo variacional para dar conta da mudança fenotípica da população de clipsitacídeos. Ao fazê-lo, no entanto, usou a linguagem social do cotidiano, mobilizando os referentes empíricos do jogo, sem mencionar conceitos da linguagem social da ciência que os nomeariam. Além disso, ela teve grande dificuldade em narrar a seqüência de eventos, a qual se mostrou muito pobre, do ponto de vista da ciência escolar. Desta perspectiva, a narrativa podia ser reduzida a dois ou três eventos, a sobrevivência e a reprodução diferenciais de uma das variantes da população, e a mudança na proporção de variantes na mesma. Este último evento só foi mencionado nestes termos pela professora no turno 33, no qual ela também solicitou dos estudantes que concluíssem a narrativa, mencionando seu evento final, a mudança adaptativa da população.

Um aspecto que deve ser destacado é o modo impreciso como o termo “adaptar-se” foi usado pelos estudantes entre os turnos 25 e 30. Neste segmento do episódio, o termo é empregado com diferentes significados, ora indicando um ajuste dos organismos às condições ambientais (turno 25), ora o processo em si de mudança adaptativa da população (turnos 29 e 30), ou ainda o fator causal necessário que dirige este mudança (turno 27). Estes diferentes significados atribuídos ao conceito estão relacionados a compromissos ontológicos e epistemológicos que fundamentam as formas de pensar a diversidade orgânica representadas nas zonas ajuste providencial e da perspectiva transformacional, em nosso modelo de perfil conceitual de adaptação.

Após este episódio de negociação em torno da perspectiva transformacional expressa pelo estudante 3, em direção ao estabelecimento de uma explicação variacional para os resultados do jogo, a professora retomou sua narrativa inicial, com a intenção de marcar idéias chave, como o princípio da variação intrapopulacional hereditária, a sobrevivência e a reprodução diferenciais e a noção de freqüência de variantes, princípios e conceitos que estruturam a narrativa darwinista para a mudança adaptativa.

A professora foi mais uma vez interrompida por uma iniciação do estudante 3, que insistia na proposição de um mecanismo transformacional que pudesse explicar as mudanças adaptativas ocorridas com as populações isoladas de clipsitacídeos, alternativo à explicação variacional produzida pela professora. Esta iniciação deu origem ao segundo episódio que selecionamos para análise.

Episódio 5.2: ***Será que as proteínas da alimentação não contribuíram para que o bico dos pássaros se desenvolvesse?***

37. Estudante 3: Ô professora?
38. Professora: O mesmo ocorreu com a terra sul. Diga?
39. Estudante 3: É/ Digamos assim. A espécie vivia em um determinado ambiente onde só tinha bico pequeno.
40. Professora: Peraí. A espécie vivia no ambiente que só tinha bico pequeno/ como assim?
41. Estudante 3: Que só tinha/ tinha/ Não era uma espécie só?
42. Professora: Era uma espécie/ que compunha uma população.
43. Estudante 3: Sim/ Ou de bico grande ou de bico pequeno. Mas digamos que era de bico pequeno. Aí/ elas se dividiram/ não é isso?
44. Professora: Era/ só que tinha uma variação. Ela não era só de bico pequeno.
45. Estudante 2: Tinha médio/ grande/
46. Professora: Você está falando já no final?
47. Estudante 3: Sim/ Você tá falando que os bicos já vieram variados?
48. Estudante 2: Já.
49. Professora: Na população inicial já tinha variação.
50. Estudante 3: Tinha variação.

51. **Estudante 2:** Já. Aí quando dividiu//
52. **Professora:** Quando foi dividida esta população/ em duas subpopulações/ ocorreu o que? Eles encontraram ambientes diferentes. Não encontraram ambientes diferentes?
53. **Estudante 3:** Correto.((estudante 5 chama a atenção do estudante 3, que está ao seu lado, para lhe dizer algo a respeito, e os dois ficam conversando))
54. **Professora:** E no caso aqui a diferença está na alimentação. ((vê os estudantes conversando)). Diga estudante 5? Eu não ouvi o que você falou.
55. **Estudante 5:** Eu perguntei a ele/ se o nariz dele é do tamanho do da Senhora. É igual. ((risos de todos))
56. **Estudante 5:** ((se voltando para o estudante 3)) Então?
57. **Estudante 3:** Ô Professora//
58. **Estudante 5:** Nós não somos da mesma espécie?
59. **Estudante 3:** É/ mas a raça é diferente. ((o estudante 5 é negro))

((risos)) ((estudante 5 também sorri, cobrindo o rosto, meio sem graça))

60. **Estudante 3:** Ô professora /digamos assim/ será que o tipo de alimentação/ as proteínas da alimentação/ não contribuiu para que/ digamos assim/ o bico dos pássaros se desenvolvessem.
61. **Professora:** A gente tá falando aqui da variação no tamanho dos bicos dos pássaros/ e aquela população submetida a um regime alimentar diferente
62. **Estudante 3**: Sim/ mas/
63. **Professora:** Você acha o que? Que um pássaro de bico pequeno ele pode ter desenv/
64. **Estudante 3:** Ele pode ter evoluído
65. **Estudante 5:** Não/ não tem nada a ver ((faz gesto de negação com a cabeça))
66. **Estudante 1:** Não/ nada disso/ ((outros estudantes riem))
67. **Estudante 5:** Essa teoria tua ó ((gesto com as mãos "não tá com nada")).
68. **Estudante 3:** Será/ professora?
69. **Estudante 2:** Professora/ aquele desenho ali/
70. **Professora:** A alimentação até influencia no desenvolvimento/ viu gente? Mas a gente não está falando disso aqui.
71. **Estudante 20:** Ele come feijão/ aí ele passa a comer só arroz/ aí ele quer saber se ele vai mudar. ((risos))
72. **Professora:** Pronto. Então vamos voltar para o nosso roteiro.
73. **Estudante 2:** Ô professora/ então quer dizer que ali teve a extinção de algumas espécies/ né?
74. **Professora:** Sim. De alguns organismos. A gente tá falando da MESMA ESPÉCIE. NÃO ESQUEÇA. Dos organismos. Bom. ((volta a ler o roteiro)) Essa mudança evolutiva/ psiu/ em uma população que acabamos de descrever/ em que a proporção de indivíduos/ vamos prestar atenção/ gente/ no roteiro/ com uma certa característica/ no caso o tamanho do bico/ aumenta em relação à outra/ a ponto desta característica/ olha só/ presta atenção neste detalhe/ bico maior ou menor se tornar predominante/ é denominado de uma adaptação da população e o mecanismo que lhe deu origem de seleção natural. Então/ voltando/ o mecanismo que deu origem a essa variação na população/ é o que? A seleção natural/ tá? E ESSA CARACTERÍSTICA/ no caso/ que tornou/ o que é que ocorreu/ é (+) a característica, bico menor ou maior/ isso é o que? Uma adaptação. Certo?

Entre os turnos 37 e 43, o estudante 3 tentou negociar o pressuposto da variação fenotípica intrapopulacional que estrutura a explicação variacional, darwinista, propondo uma narrativa alternativa que, de modo diferente da situação simulada no jogo, se iniciava com a

existência de uma espécie de pássaros em que todos os indivíduos apresentariam o mesmo tamanho de bico. Nos turnos 41 e 43, este estudante apresentou um argumento a favor de sua proposta que revela seu compromisso com uma visão essencialista, tipológica, do conceito de espécie: “não era uma espécie só?”, “ou de bico grande ou de bico pequeno”.

Entre os turnos 44 e 51, a professora e o estudante 2 reafirmaram a existência de variação fenotípica nas populações dos clipsitacídeos e, além disso, a professora retomou mais uma vez a explicação narrativa de natureza variacional para a mudança adaptativa observada no jogo.

Os estudante 5 e 3 passaram a conversar paralelamente a partir do turno 53. No turno 54, a professora solicita ao estudante 5 que expusesse para toda turma o debate que ele estava travando com o estudante 3. O estudante 5 procurava argumentar com o estudante 3 que o pressuposto da variação fenotípica entre membros da mesma espécie é válido para qualquer população natural, chamando a atenção para a variação fenotípica que observamos entre nós mesmos, membros da espécie humana.

O estudante 3 contra-argumentou, afirmando que, apesar de todos ali serem da mesma espécie, não eram da mesma raça. Na nossa interpretação, ao evocar o conceito de raça, este estudante não tinha interesse de fato em discuti-lo e tampouco estava convencido de que ele traria implicações para o argumento do estudante 5.

De qualquer modo, o estudante 3 mudou de estratégia em seguida e, no turno 60, propôs um mecanismo causal que buscava explicar a transformação fenotípica dos bicos dos pássaros submetidos a uma oferta de alimentos diferentes, em lugar de insistir na negociação em torno da noção de variação intrapopulacional. Ele sugeriu que os bicos dos pássaros poderiam se desenvolver, aumentando de tamanho, em decorrência do consumo de proteínas presentes no novo tipo de alimentação consumida por eles.

Nos turnos 61 e 70, a professora, usando mais uma vez o dêitico “a gente”, o qual representava o discurso da ciência escolar, ou o coletivo de todos aqueles que dele compartilham, deixou claro que a proposta do estudante 3 não tinha legitimidade para a análise do caso em questão, o qual deveria ser interpretado tendo em vista os conceitos de variabilidade intrapopulacional e pressão seletiva.

No turno 63, a professora fez uma questão ao estudante 3 para confirmar o pressuposto transformacional que fundamentava sua explicação, tornando-o explícito para a turma. Os estudantes 1, 5 e 20 reconheceram a distinção entre as duas perspectivas e também tentaram argumentar contra o modelo proposto pelo estudante 3.

No turno 71, a estudante 20, que até o momento havia participado passivamente, fez uma analogia entre a situação proposta pelo estudante 3 e uma situação similar que hipoteticamente poderia acontecer conosco, a fim de argumentar que o pressuposto de que a mudança nas proteínas consumidas na alimentação poderiam gerar mudanças fenotípicas de monta, como sustentado por ele, não tinha validade.

A professora deu por encerrado o debate e o estudante 2 aproveitou para mais uma vez tirar sua dúvida a respeito do que ocorreria com os pássaros de bicos pequenos e médios na terra norte, buscando a confirmação acerca da previsão de estas variedades se extinguiriam. A professora confirmou, mas chamando a atenção para um equívoco na terminologia usada pelo estudante 2, de modo a deixar claro que as variantes fenotípicas, i.e., os pássaros com bicos de tamanhos diferentes, são organismos de uma mesma espécie, e não de espécies diferentes.

A seguir, a professora retomou a leitura do roteiro, construindo uma síntese final acerca da descrição teórica dos eventos ocorridos no jogo, a partir da qual fez generalizações, construindo os conceitos darwinistas de adaptação e seleção natural.

Este episódio constituiu um momento importante, não só no que diz respeito à elaboração conceitual dos estudantes, como também à performance da professora. Nele ocorreu uma negociação em torno da perspectiva transformacional de significação da mudança adaptativa em direção à construção de univocidade em torno da perspectiva variacional. Nesta negociação, pelo menos três estudantes participaram ativamente, argumentando contra os compromissos ontológicos e epistemológicos que fundamentavam a perspectiva transformacional proposta pelo estudante 3.

Este foi, talvez, o primeiro momento em que a professora de fato distinguiu explicitamente os pressupostos da visão aceita na ciência escolar, no caso, a perspectiva variacional, e o ponto de vista da linguagem cotidiana, neste caso, a perspectiva transformacional. Para tanto, a professora usou a estratégia de manter sucessivas trocas diádicas com o estudante 3, ao longo das quais procurava tornar explícitos para toda a turma os pressupostos que fundamentavam a perspectiva transformacional trazida por ele. Em seguida, ele se contrapunha aos mesmos, apresentando os conceitos que estruturam a explicação selecionista para a mudança adaptativa. Ao fazê-lo, ela empregava o dêitico “a gente”, como uma marca discursiva que indicava aos estudantes a demarcação entre as duas maneiras de explicar a mudança evolutiva.

Outro aspecto distintivo da performance da professora neste episódio é o fato de ela inserir os debates paralelos entre os estudantes na dinâmica discursiva da sala de aula, de modo oposto ao que fez no episódio 2.3. Fica claro o modo diferente como os diálogos entre

os estudantes participaram da dinâmica discursiva orquestrada pela professora nos dois episódios (2.3 e 5.2), ao compararmos as estruturas de participação representadas nas figuras 14 e 22. Enquanto no episódio 2.3, os diálogos entre os estudantes ficaram isolados das trocas discursivas conduzidas pela professora, no episódio 5.2, os diálogos entre os estudantes 5, 2 e 3 foram integrados à dinâmica destas trocas, dando origem a pautas discursivas que foram contempladas nas interações entre professores e estudantes.

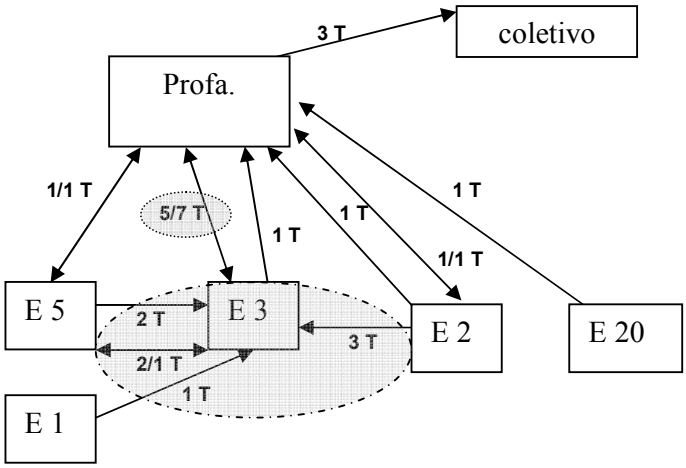


Figura 22: Diagrama da estrutura de interação em sala de aula ao longo do episódio 5.2. É dado destaque aos diálogos entre estudantes e à integração dos mesmos na dinâmica discursiva orquestrada pela professora (círculo tracejado), assim como ao número significativo de turnos de fala trocados entre a professora e o estudante 3 (círculo pontilhado).

No quadro 21, apresentamos uma síntese dos aspectos discursivos que caracterizaram a significação do conceito de adaptação ao longo dos episódios 5.1 e 5.2.

Quadro 21: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação nos episódios 5.1 e 5.2.

	Episódio 5.1	**Episódio 5.2**
Intenções da professora	Desenvolver a estória científica.	Desenvolver a estória científica.
Conteúdo do discurso	Explicação empírica e teórica: explica mudanças fenotípicas das populações de clipsitacídeos a partir dos princípios que estruturam a seleção natural.	Explicação teórica: explica mudanças fenotípicas das populações de clipsitacídeos a partir dos princípios que estruturam a seleção natural. Generalização: da mudança na freqüência de pássaros com bico maior ou menor ao final do jogo ao conceito de adaptação, e o processo que levou esta mudança ao conceito de seleção natural.

	Episódio 5.1	Episódio 5.2
Abordagem comunicativa	Interativa e de autoridade.	Interativa Dialógica. Não interativa de autoridade (Síntese final, no turno 74).
Padrões de Interação	Tríades I-R-A Cadeias abertas I-R-P-R Cadeias fechadas I-R-F-R-A (1-3) I-R-A (3-10) I-R-P-$R_?$-R_5-P- R_5-R_2 (11-28)I-R_{ES}-F-R_2-R_1-F-R_2-P-R_1-$R_?$-P- R_1-$R_?$-R_1-R_3-R_1-$R_?$-A (28-33) I- R_2-$R_?$-R_2-R_1-A (33-36) I-R-A/I-R	Seqüências iniciadas por estudantes. Diálogos de estudantes entre si.
Formas de pensar	Pensamento populacional.	• Pensamento essencialista (estudante 3) x Pensamento populacional.
Modos de falar	• Narrativa que descreve mudanças na proporção de variantes fenotípicas em uma população em decorrência de sobrevivência e reprodução diferenciais (professora e estudante 1; • Descrição destes eventos com base em referentes empíricos (estudante 1).	• Descrição de mecanismos eficientes que possam gerar transformação ou desenvolvimento de uma estrutura ou comportamento funcional do organismo individual (estudante 3); • Narrativa que descreve mudanças na proporção de variantes fenotípicas em uma população, em decorrência de um regime seletivo (professora).
Perspectivas de significação do conceito	Explicitação da perspectiva transformacional e construção de univocidade em torno da perspectiva variacional.	Negociação de compromissos epistemológicos e ontológicos das perspectivas transformacional e variacional, em direção à univocidade em torno desta última.

AULA 6: ***Aplicação da Seleção Natural a Problemas Sócio-científicos***

Como podemos concluir do mapa de atividades mostrado no quadro 22, esta aula apresentou dois momentos bem distintos. Os primeiros 40 minutos foram destinados à conclusão da leitura do roteiro de estudo iniciada na aula anterior e à introdução e ao desenvolvimento de conceitos chave para compreensão do modelo explicativo darwinista: conceito de espécie, noção de variação intrapopulacional e sua distinção em relação à diversificação entre espécies, conceitos de isolamento reprodutivo e regime seletivo. Os vinte minutos restantes foram destinados à preparação para a última atividade da seqüência, a aplicação dos conceitos darwinista de adaptação e seleção natural a problemas sócio-científicos. Foi realizada a leitura de dois pequenos textos didáticos sobre resistência de

pragas agrícolas a inseticidas e de bactérias a antibióticos (Silva Júnior; Sasson, 2005, p. 217-218) e colocadas duas questões de interpretação destes fenômenos para análise por toda a turma.

Quadro 22: Mapa de atividade da 6° aula, *Aplicação da Seleção Natural a Problemas Sócio-científicos*

Tempo	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
6min	Introdução: objetivos da aula. Exposição sobre Variação Intrapopulacional e diversificação. Aplicação destas noções à situação-problema dos tentilhões das Galápagos.	Distinção entre Variação Intrapopulacional e diversificação entre espécies.	Professora faz exposição com auxílio de projeção de imagens.	Estudantes tem pranchas coloridas em mãos, por duplas, ilustrando a variação dentro de populações e a diversificação entre espécies.
16min	Leitura de roteiro de estudo e exposição pela professora: Seleção Natural e Especiação.	-Teoria da Seleção Natural: Fatos e inferências a partir dos quais o modelo foi construído. - Origem das Espécies: Seleção Natural e Especiação.	Professora faz exposição com base na leitura de roteiro de estudo. Estudantes acompanham e eventualmente fazem questões ou respondem a iniciações da professora.	Professora justifica retomada da explicação da Teoria da Seleção Natural feita na aula anterior. Faz uma revisão bastante rápida. Estudante 2 volta a solicitar explicações sobre variação intrapopulacional e diversificação entre espécies, com relação à característica tamanho dos bicos dos tentilhões. Estudante 1: existe o "entre" e o "dentro"
2min	Exposição a respeito de conceitos considerados importantes para a compreensão das explicações darwinistas.	Conceito Biológico de Espécie. Híbrido infértil/ Inviabilidade do Híbrido.	Professora apresenta conceitos que não são explicados no roteiro com base em registros no quadro-negro (lousa).	Os referidos conceitos estão registrados no quadro desde o início da aula. Alguns estudantes anotam as informações ao longo da aula.

Tempo	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
12min	Leitura do roteiro: Modelo de especiação de espécies de micos na Amazônia.	-Gradualismo Darwinista: Variação dentro da espécie dá origem à diversificação entre espécies. -Sub-espécie e Espécie. -Modelo de isolamento por barreira geográfica formada pelos rios.	Professora expõe os modelos explicativos com leitura de texto e apresentação de slides. Estudantes participam mais passivamente.	Dispersão dos alunos em função de notícia de que a próxima professora não viria. Estudantes reclamam do tema abordado, da quantidade de informação e profundidade.
8min	Esclarecimento de conceitos importantes para entender a Especiação.	Mecanismos de Isolamento reprodutivo. Regime seletivo.	Professora apresenta informações complementares ao roteiro.	Tais informações estão registradas no quadro. Professora recolhe material e distribui novo texto. Desta forma, há uma quebra na argumentação entre o modelo apresentado e a discussão da origem da espécie humana.
5 min	Leitura de roteiro: parentesco entre primatas atuais e espécie humana – Origem da espécie humana.	Evolução da espécie Humana. Descendência de primatas ancestrais.	Professora propõe que seja reinterpretada a célebre frase "o homem veio do Macaco" à luz do que foi aprendido sobre descendência comum. Apresenta a interpretação darwinista.	Há reação por parte da estudante 16 , a qual prontamente solicita à professora que esclareça qual a posição pessoal dela em relação ao modelo explicativo da ciência. Pergunta explicitamente em qual explicação a professora crê. A professora afirma acreditar na perspectiva evolutiva. A aluna diz: Ah, então você veio do macaco! A professora não dá prosseguimento à polêmica e propõe a próxima atividade.

Tempo	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
4min	Leitura de dois pequenos textos didáticos sobre resistência de pragas agrícolas a inseticidas e de bactérias a antibióticos	Resistência bacteriana a antibióticos/ resistência de pragas a inseticidas.	Uma estudante (6) lê o texto em voz alta para todos	
7min	Discussão com todo o grupo: análise da situação-problema **EPISÓDIO 6.1:** ***Ela sofreu variação e uma evolução para conseguir sobreviver àquele antibiótico.***	Aplicação do pensamento evolutivo na interpretação de situação-problema: surgimento de organismos resistentes.	Professora guia os estudantes a aplicarem as idéias científicas na solução de problemas. Estudantes mobilizam as informações do texto e propõem modelos explicativos.	Estudantes participam ativamente da atividade

Com esta atividade, a professora teve a intenção de guiar os estudantes na aplicação das idéias científicas. Eles foram encorajados a apresentarem explicações para o surgimento da resistência de pragas agrícolas a inseticidas e de bactérias a antibióticos. As intervenções docentes mais comuns consistiram em rever o desenvolvimento da estória científica até então trabalhada, chamando a atenção para alguns conceitos e oferecendo, deste modo, apoios para que os estudantes elaborassem suas interpretações para os problemas propostos. O próximo episódio a ser analisado foi produzido neste momento da aula.

Episódio 6.1: ***Ela sofreu variação e uma evolução para conseguir sobreviver àquele antibiótico***

1. **Professora:** O que é que explica/ por exemplo/ a resistência desses organismos?
2. **Estudante 1**: Uma vez que eles não morrem/ eles se tornam mais fortes àquele antibiótico e àquele/
3. **Estudante 2:** Veneno.
4. **Estudante 1:** É/ veneno. No caso/ ele não conseguiram /ele não morreu/ ele cria uma barrei//
5. **Estudante 2:** Uma defesa.
6. **Estudante 1:** Uma defesa àquela quantidade de //
7. **Estudante 2:** De agrotóxico/ digamos assim.
8. **Professora:** Ele/ quem? O organismo?
9. **Estudante 1:** É//
10. **Professora:** O que é que a gente tem? Vamos lembrar dos nossos conceitos. A gente trabalhou com o conceito de população/ vamos voltar ao conceito de população, para a gente entender? População de insetos/ e a gente tem as bactérias também/ tá? O que é uma população? Um conjunto de organismos da mesma espécie. A estudante 1 disse que a partir do momento que ele não morre/ né isso Estudante 1? Ele fica mais/ você disse o que?
11. **Estudante 1:** Mais resistente.
12. **Estudante 6:** Mais resistente.

13. **Professora**: E o que está ocorrendo para explicar que alguns organismos ficaram mais resistentes e outros não? O que é que ocorre?
14. **Estudante 1:** Muitos conseguiu se adaptar aquele tipo de antibiótico/
15. **Estudante 3:** Correto.
16. **Estudante 1:** Então/ quando ele conseguiu se adaptar/ ele//
17. **Professora:** O indivíduo?
18. **Estudante 2:** Não.
19. **Professora:** Quem?
20. **Estudante 1:** Os indivíduos ((faz gesto indicando um conjunto que forma uma unidade)).
21. **Estudante 2:** Os indivíduos da população// ((Estudantes falam ao mesmo tempo – inaudível))
22. **Professora:** Sim/
23. **Estudante 1:** Ele conseguiu se adaptar/ ((começa a rir e não consegue mais falar))
24. **Estudante (?):** Ô Jesus! Dê uma ajuda.
25. **Professora:** Então/ pensando em população/ a gente tem indivíduos/ e o que é que está mostrando aí?
26. **Estudante 1:** ((retoma)) Se ele conseguiu se adaptar/ ele conseguiu sobreviver.
27. **Professora:** E essa adaptação/ como é que ocorre?
28. **Estudante 9:** Com evolução.
29. **Professora:** Sim/ mas de que maneira? (+) Vamos lembrando aí/ o que a gente trabalhou. A gente trabalhou o que? Com o conceito de que? Variação. A gente trabalhou com o conceito de variação/ com o conceito de espécie? Isso ajuda a elaborar melhor para a gente entender?
30. **Estudante 1:** Porque/ assim//
31. **Professora:** Então/ vamos sempre pensar. Só rapidinho/ deixa só eu complementar/ vamos sempre pensar/ quando a gente tá pensando esse assunto/ em população e em variação na população.
32. **Estudante 7:** Então/ as espécies que são mais/
33. **Estudante 1:** Resistentes?
34. **Estudante 7:** Isso/ resistentes/ são as espécies que são mais diferentes que as anteriores?
35. **Professora:** Não. A gente tem//
36. **Estudante 1:** A gente tem uma variação//
37. **Professora:** Organismos de uma mesma espécie/ a gente tem uma população/ e eles apresentam variação/ Vá Estudante 1/ continue. ((Estudante 1 faz gesto indicando que não sabe, que é melhor deixar para lá))
38. **Estudante 1:** É porque assim/ vários indivíduos de uma mesma espécie possui variações para se adaptarem aquele tipo de substância.
39. **Professora:** Certo. Vá/ destrinche mais ((risos)).((Estudante 2 faz gesto solicitando que a professora proceda o desenvolvimento da explicação da estudante 1)) Então/ os organismos/ como a estudante 1 falou/ os organismos de uma população/ apresentam variação para//
40. **Estudante 1:** Conseguir sobreviver àquela substância.
41. **Estudante (?):** Determinada substância.
42. **Professora:** Certo. Então/ a gente tem ali/ no caso dos insetos/ nós podemos ilustrar/ por exemplo/ no caso do antibiótico. A gente faz uso/ ao longo de nossa vida/ de antibióticos. Então/ os antibióticos/ eles são prescritos pelos médicos/ com base no que ele quer combater/ por exemplo. Na bactéria que ele quer combater. Então/ a

gente tem/ complementando/ a gente tem no caso dos insetos/ uma população de insetos que apresentam variação/ não é isso?

43. **Estudante 1:** No caso/ com o passar do tempo/ essa bactéria se evolui/ e ela cria uma defesa contra aquele antibiótico. Em todo caso/ essa variação/ ela sofreu variação e uma evolução para conseguir sobreviver aquele antibiótico.
44. **Professora:** Então/ a gente tem uma população que tem variação/ que está submetida no caso/ no caso dos inseticidas/ os insetos estão submetidos a um (+) inseticida/ né? A um regime seletivo/ que é o inseticida/ e no caso das bactérias/ os antibióticos. E aí/ como existe variação naquela população/ o que vai acontecer? Existe alguns daqueles indivíduos/ daquela população/ que apresentam características//
45. **Estudante 6:** Mais resistentes.
46. **Professora:** Mais vantajosas/ vamos dizer assim/ em relação a outras? Então, ele digamos/ complementando o que a estudante 1 falou/ ele vai apresentar uma característica que vai fazer com que ele seja resistente. Certo? Tá dando para a gente esclarecer melhor? Então/ esses dois textos é para ilustrar.

Após a estudante 6 ter lido em voz alta para a turma dois pequenos textos, o primeiro sobre a resistência dos insetos ao DDT, e o segundo sobre o surgimento de bactérias resistentes a antibióticos, a professora discutiu o que havia de comum nos dois fenômenos e propôs que os estudantes elaborassem explicações para o surgimento da resistência nas populações destes organismos. Esta iniciação constitui o primeiro turno do episódio selecionado para análise.

Entre os turnos de fala 2 e 9, a estudante 1, com pequenas contribuições do estudante 2, iniciou a construção de uma narrativa para o surgimento da resistência dos organismos, ora se referindo ao caso das bactérias, ora ao caso dos insetos. Ao fazê-lo, a estudante 1 produz enunciados em que os organismos individuais figuram como agentes da mudança evolutiva, promovendo sua própria transformação fenotípica. Esta ação é designada pelos verbos "se tornar" e "criar", próprios da linguagem social cotidiana, ao descrever o fenômeno da resistência.

Entre os turnos de fala 2 e 4, a estudante 1 usou a terceira pessoa, ora no plural, ora no singular. No turno de fala 8, a professora fez uma questão para esclarecer qual a entidade que estava representada pelos pronomes usados pela estudante 1. No turno 9, ela indicou que se tratava do organismo. No turno de fala seguinte, a professora propôs que o problema fosse resolvido tendo em vista a noção de que a mudança evolutiva é um fenômeno que ocorre ao nível da população.

No turno de fala 13, a professora fez uma questão com a intenção de levar os estudantes a considerarem a variação fenotípica nas populações, ao sugerir que havia bactérias resistentes e não resistentes. Ela cometeu, contudo, um deslize ao usar a mesma expressão que os estudantes estavam empregando, "ficaram mais resistentes", legitimando uma perspectiva

transformacional, ou seja, a idéia de que algumas bactérias na população se tornaram resistentes e outras não devido à presença do antibiótico.

No turno 14, a estudante 1 propôs uma explicação na qual o termo " adaptar-se" foi usado para designar a capacidade de se ajustar às condições ambientais, no caso, à presença do antibiótico. Ao ouvir o termo "se adaptar", o estudante 3 se manifesta, deixando claro que concorda com o modelo proposto pela estudante 1, portanto, que mantém sua adesão à perspectiva transformacional que havia formulado em aulas anteriores.

Entre os turnos 14 e 26, a adaptação foi apresentada nos enunciados da estudante 1 como uma condição para que ocorra a sobrevivência diferencial de organismos numa população, e não como um resultado deste processo. Trata-se de uma visão prospectiva do conceito: a adaptação é entendida como a capacidade do organismo de se ajustar às condições ambientais de modo a ter maiores chances de sobrevivência.

Neste episódio, a adaptação também é inicialmente tratada pelos estudantes como um fenômeno auto-explicativo, ou, alternativamente, como uma explicação, e não como algo a ser explicado. Parecendo ter percebido este problema, no turno 27, a professora perguntou aos estudantes como a adaptação ocorre. O estudante 9 propôs, então, que a adaptação ocorre com a evolução, o que levou a professora a insistir para que os estudantes explicassem por qual mecanismo esta evolução se dá. Podemos notar, portanto, que os estudantes ainda usam os termos "adaptação" e "evolução" de modo pouco apropriado, com um significado distinto daquele que apresentam no discurso da ciência escolar.

Nos turnos de fala 29 e 31, a professora chamou a atenção para os conceitos de variação intrapopulacional e de espécie, que haviam sido trabalhados anteriormente, buscando guiar os estudantes na aplicação da perspectiva da ciência escolar na interpretação da situação-problema. Nos turnos de fala 32 e 34, os enunciados da estudante 7 revelam, no entanto, que ainda havia confusão entre variação interespecífica e variação intrapopulacional. A professora tentou esclarecer esta confusão no turno de fala 37, deixando claro que a variação a que ela estava se referindo era aquela entre organismos de uma mesma população.

No turno de fala 38, a estudante 1 afirmou que os indivíduos de uma mesma espécie *"possuem"*, em lugar de dizer que eles *"criam"* variações, deixando, portanto, de tratá-los como sujeitos de seu próprio processo evolutivo. No entanto, ela usou uma linguagem teleológica, sugerindo a idéia de que esta variação é direcionada para o ajuste às condições ambientais, "para se adaptarem aquele tipo de substância". Embora explicações teleológicas possam ser usadas de modo válido para tratar de comportamentos e processos fisiológicos,

não é cientificamente aceito um tratamento teleológico do processo evolutivo, na medida em que este é contingente e aberto, e não determinístico e dirigido a metas (Mayr, 1982, 1988)[36].

A professora avaliou positivamente a afirmação da estudante 1, por considerá-la coerente com a noção de variabilidade intrapopulacional, sem perceber, e mesmo reproduzindo, no turno 39, a construção teleológica do enunciado produzido pela estudante.

No turno de fala 43, a estudante 1 apresentou uma explicação narrativa tipicamente transformacional para o surgimento da resistência bacteriana a antibióticos, em que o organismo individual é agente de sua mudança evolutiva:

> No caso/ com o passar do tempo/ essa bactéria se evolui/ e ela cria uma defesa contra aquele antibiótico. Em todo caso/ essa variação/ ela sofreu variação e uma evolução para conseguir sobreviver aquele antibiótico.

Além de apresentar um caráter transformacional, a narrativa é produzida com a linguagem social cotidiana. Termos como *"evolução"* e *"variação"* são empregados com significado distinto daquele que possuem na linguagem social da ciência escolar. Neste turno de fala, fica bastante claro que, desde o turno 38, o termo "variação" não vinha sendo empregado nos enunciados da estudante 1 para designar uma propriedade da população, ou seja, a variabilidade fenotípica que esta apresenta, mas sim para referir-se a uma transformação sofrida por alguns indivíduos da população de bactérias em direção à resistência ao antibiótico.

Nos turnos de fala 44 e 46, a professora procurou remodelar a explicação desenvolvida pela estudante 1 para torná-la mais próxima da perspectiva variacional, introduzindo as noções de regime seletivo e vantagem adaptativa. No entanto, mais uma vez ela não deixou claro para a turma em quais aspectos a explicação da estudante 1 divergia da explicação darwinista da ciência escolar, sustentada por ela, professora, nestes turnos de fala. O modo como a professora se refere à explicação da estudante deixa a entender que não há distinção entre o ponto de vista apresentado por ela e a perspectiva da ciência escolar, especialmente quando ela diz, no turno 46, que está complementando a fala da estudante.

Neste episódio, há uma negociação entre os compromissos epistemológicos e ontológicos de duas zonas do perfil, as perspectivas transformacional e variacional. Predominam, no entanto, as idéias de que o processo evolutivo tem uma tendência direcional e de que transformações no curso da vida do organismo podem dar origem à mudança evolutiva de uma população, compromissos próprios da perspectiva transformacional. O

---

[36] Trataremos da polêmica em relação a adequação do uso da linguagem teleológica na biologia evolutiva e no ensino de evolução na seção 6.2.3 do próximo capítulo.

termo *"adaptação"* continua sendo empregado como um termo auto-explicativo ou como uma explicação, significando a capacidade e/ou o processo de transformação dos organismos de se ajustar às condições ambientais. Desse modo, a adaptação não é vista de maneira retrospectiva, como fenômeno a ser explicado com base na seleção natural atuando no passado, ou seja, de uma perspectiva correta em termos do conhecimento atual sobre biologia evolutiva.

A abordagem comunicativa é interativa e dialógica. A partir de cadeias de interação I-R-P-R-P-R ou I-R-F-R-P-R, a professora explora as explicações apresentadas pelos estudantes e fornece apoios para que eles as desenvolvam tendo em vista conceitos anteriormente trabalhados, a exemplo da variação intrapopulacional. Com esta estratégia, ela permite que mais de um ponto de vista possa emergir e favorece a interanimação de idéias, ainda que não deixe claro para os estudantes a demarcação entre os diferentes modos de explicar os fenômenos em questão, em particular, entre a perspectiva transformacional da estudante 1 e a perspectiva variacional trazida por ela própria.

No quadro 23, apresentamos uma síntese dos aspectos discursivos que caracterizaram a significação do conceito de adaptação ao longo deste episódio.

Quadro 23: Aspectos discursivos que interagem na significação do conceito de adaptação no episódio 6.1.

Intenções da professora	Guiar os estudantes no trabalho com as idéias científicas
Conteúdo do discurso	Explicação teórica
Abordagem comunicativa	Interativa Dialógica
Padrões de Interação	• (1-25) cadeia longa fechada I-R-F-R-P-R-A • (25-33) cadeia aberta I-R-P-R-F-R • (34-39) seqüência iniciada por estudante • (39 - 46): tríades I-R-A e I-R-S
Formas de pensar	• Mudanças filogenéticas podem ser explicadas a partir do acúmulo de mudanças ontogenéticas. • A variação intrapopulacional é resultante de um processo dirigido de transformação dos organismos.
Modos de falar	• Narrativa em que os organismos são protagonistas de uma transformação do fenótipo, ações que são expressas através dos termos *"se tornam"*, *"criam"*, *"se evolui"*. • O termo "adaptação" é empregado como um termo auto-explicativo ou uma explicação, significando a capacidade e/ou o processo de transformação dos organismos em direção a um ajuste às condições ambientais (*conseguiu se adaptar para*).
Perspectivas de significar o conceito	Negociação entre os compromissos epistemológicos e ontológicos de duas zonas do perfil, as perspectivas transformacional e variacional de explicar as mudanças adaptativas.

AULA 7: ***Aplicação da seleção natural para explicar a evolução da resistência a inseticidas em pragas agrícolas***

A última aula da seqüência didática foi destinada à realização de uma atividade de avaliação, a interpretação de um caso de surgimento de resistência a inseticidas numa praga agrícola.

O caso foi apresentado pela professora aos estudantes. Tratava-se de um experimento realizado por um agricultor para estudar o efeito do uso de um determinado inseticida em mudas de feijão infestadas por uma praga agrícola. Em seguida, os estudantes se reuniram em pequenos grupos munidos de uma prancha ilustrativa, na qual era apresentada uma seqüência de quadros que mostravam diferentes momentos de mudanças ocorridas na composição de uma população inicial desta praga agrícola, em decorrência de aplicações sucessivas do inseticida em pés de feijão que estavam infestados (figura 23). Para cada quadro, havia uma legenda indicando o momento do tratamento ao qual ele se referia.

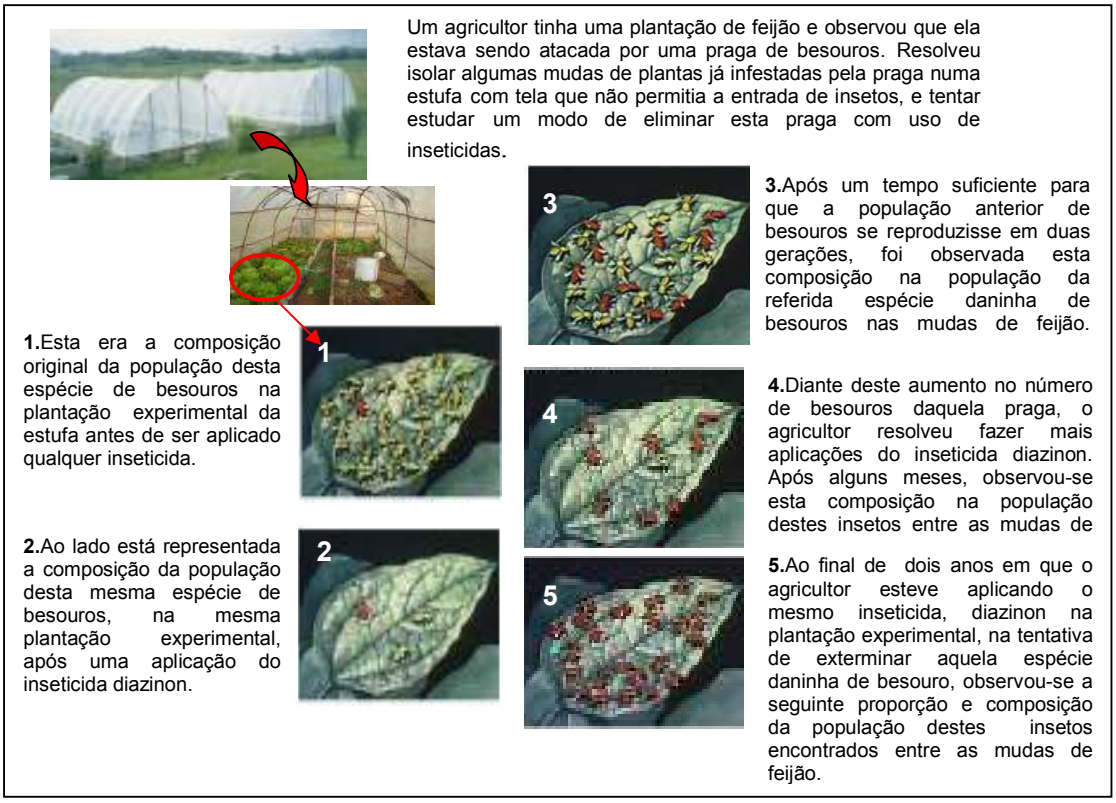


Figura 23: Caso de resistência a inseticidas numa praga agrícola analisado pelos estudantes em pequenos grupos, na última aula da seqüência didática.

Conforme se encontra descrito no mapa de atividade (quadro 24), os grupos foram orientados a discutirem a situação-problema com base em questões sugeridas em um roteiro

de discussão. Ao final da discussão, cada estudante, individualmente, deveria escrever uma narrativa que descrevesse o processo de surgimento da resistência a inseticidas, ilustrado no caso apresentado, usando para tanto termos próprios da linguagem da ciência escolar sugeridos no roteiro.

Quadro 24: Mapa de atividades da 7° aula, *Aplicação da seleção natural para explicar a evolução da resistência a inseticidas em pragas agrícolas*

Tempo	**Atividade desenvolvida**	**Principais temas**	**Ações dos participantes**	**Comentários**
10 min	Professora orienta os estudantes para a realização da atividade de avaliação.	Descrição empírica do caso de surgimento de resistência de uma população de uma praga a inseticida. Conceito espécie, população e variedade fenotípica. Termos da linguagem da ciência escolar que devem ser empregados na produção da narrativa.	Estudantes se reúnem em pequenos grupos. Professora apresenta a situação problema a ser analisada pelos estudantes. Expondo a figura 23 através de retroprojetor. Professora lê o roteiro que orientará a atividade de avaliação a ser realizada pelos estudantes (Apêndice 6).	
10 min (2:40 mim)	Discussão do caso de surgimento de resistência de uma população de uma praga a inseticida **Episódio 7.1: *Resistiu o que nasceu vermelho, e aí começou/ vermelho com vermelho/ e tá aqui hoje.***	Explicações para a mudança adaptativa	Estudantes discutem o caso ilustrado na figura 23 em pequenos grupos. Respondem questões de um roteiro de análise do caso (apêndice 6)	Inicialmente, os estudantes não consentiram que as discussões no pequeno grupo fossem filmadas ou gravadas em áudio. Dois grupos permitiram que fosse registrado em vídeo apenas um momento em que explicavam para professora e pesquisadora o que haviam discutido nos grupos e tiravam duvidas.

Tempo	Atividade desenvolvida	Principais temas	Ações dos participantes	Comentários
20 min	Realização de atividade individual de avaliação	Explicações para a mudança adaptativa	Cada um dos estudantes, após discussão em grupo, redigiu, individualmente, uma narrativa que contasse e explicasse o que ocorreu no caso ilustrado na figura 23, usando os termos "organismos", "população", "variação", "seleção natural" e "adaptação".	
20 min	Conclusão da III Unidade Congraçamento		Pesquisadora mostra aos estudante o trecho de uma filmagem e explica como os dados serão produzidos e divulgados na foram de episódio. Professora fala sobre datas relativas à finalização do ano letivo, de recuperação e formatura da turma. Estudantes fazem lanche trazido pela professora.	Estudante 2 filma depoimentos dos colegas com a intenção de fazer uma fita de recordação da turma.

O último episódio que selecionamos para análise foi produzido durante a discussão no grupo composto pelos estudantes 1, 2 e 8, especificamente no momento em que o estudante 2, buscando verificar suas idéias com a professora, expôs sua interpretação da situação-problema para as colegas, a professora e a pesquisadora.

Episódio 7.1: ***Resistiu o que nasceu vermelho, e aí começou/ vermelho com vermelho/ e tá aqui hoje***

1. **Estudante 2:** O besouro vermelho/ ele conseguiu sobreviver a tal substância/ entendeu? Que o besouro vermelho/ de uma certa forma é mais forte que o verde (+ +) ((Colega tenta registrar o que ele falou)) Pense aí/ ele deu um bocado de veneno a todo mundo/ então quem morreu é menos resistente. Não é professora?
2. **Pesquisadora:** Quem morreu/
3. **Estudante 2:** É menos resistente.

4. **Pesquisadora:** É menos resistente.
5. **Estudante 2:** Quem viveu é mais resistente. Então/ eu que vivi/ por exemplo/ deu veneno aqui/ todo mundo morreu/ aí chegou duas mulheres/ aí faz filho/ Que era da mesma espécie/ né/ professora? Faz nenezinho/ o nenezinho vai se adaptar/ aí no caso faz outro nenezinho/
6. **Pesquisadora:** Como é este nenenzinho que vai se adaptar de novo?
7. **Estudante 2:** Não/ professora/ é assim/ aqui ô/
8. **Professora:** É o neném inseto/ é?
9. **Estudante 2:** É professora/ meu exemplo é assim/ que o (+)/ o besourinho vermelho é mais forte/ foi dada a primeira aplicação do inseticida/ então morreu quase a população toda do/ dos verdes/ E na primeira figura a gente tá vendo que só tem um vermelho/ porque ele sobreviveu/ então ele é forte. Então ele vai fazer um negócio/ ele vai se entrosar com esse/ vai conversar direitinho ((risos))/ e vai conseguir ter filhotes. E esses filhotes podem nascer/ como a professora falou/ podem nascer verde ou vermelho/ no caso aqui/ nasceu verde e vermelho. Mas o que acontece? Deixa eu ver como explico/
10. **Professora:** A proporção do vermelho que tem aqui já não é igual aqui.
11. **Estudante 2:** Já não é igual aqui. Ele já conseguiu avançar. Então/ ele começou de novo/ teve entrosamento de novo/
12. **Estudante 1:** Aí chegou/
13. **Pesquisadora:** Aí teve mais aplicação de inseticida.
14. **Professora:** Aí chegou aqui/ aplicou inseticida de novo.
15. **Estudante 2:** Os antecedentes dos besouros eram mais fracos/ puxou o lado da mãe.
16. **Pesquisadora:** Isso é uma questão de gênero/ você já ta achando que a mulher/ a fêmea é mais fraca ((sorrindo)).
17. **Estudante 2:** Aqui no caso/
18. **Pesquisadora:** A gente nem sabe qual é o sexo do vermelho e do verde.
19. **Estudante 2:** Não. No caso/ que a senhora falou/ que pode nascer filho verde e filho vermelho/ e aqui nasceu filho verde e filho vermelho/ não foi? Então/ no que nasceu filho verde/ morreu de novo.
20. **Pesquisadora:** Morreu de novo.
21. **Estudante 2:** Resistiu o que nasceu vermelho.
22. **Pesquisadora:** Exato.
23. **Estudante 2:** E começou/ aí agora/ vermelho com vermelho/ e de novo vermelho com vermelho/ nasceu mais vermelho/ e tá aqui hoje/
24. **Professora:** No final? Aconteceu o que?
25. **Estudante 3:** Predominou vermelho. E aí agora o homem tem que procurar outro inseticida para matar esse povo. Agora não sei escrever isso não.

Neste episódio, o estudante 2 desenvolveu uma narrativa para explicar o surgimento da resistência de pragas agrícolas a inseticidas a partir de uma perspectiva variacional. Ele assumiu o comando do papel de narrador. A despeito dos apoios dados pela professora e pela pesquisadora, foi ele quem escolheu os eventos importantes a serem narrados e a seqüência em que deviam ser contados, assim como a agência do processo que estava sendo explicado.

O estudante 2 iniciou a narrativa reconhecendo que havia duas variantes na população de pragas e que uma delas era mais resistente do que a outra. Esta informação foi confirmada

pela pesquisadora. Nos turnos 1 e 2, o estudante apresentou os argumentos e as evidências que sustentavam esta afirmação. Em seguida, propôs que os organismos que sobreviveram à aplicação de inseticidas, aqueles mais resistentes, iriam se reproduzir e deixar descendentes. No turno 5, o termo "se adaptar" foi usado por ele para descrever o que aconteceu com a prole deste primeiro cruzamento.

No turno seguinte, a pesquisadora pediu que ele esclarecesse como se daria este processo de a prole se adaptar. Então, no turno 9, o estudante 2 retomou a narrativa do começo, explicando o que aconteceu com a população inicial de besouros desde a primeira aplicação do inseticida até o cruzamento dos sobreviventes. Ao final, ele esclareceu que era preciso ter em vista que poderiam nascer nesta prole besouros das duas variedades fenotípicas, vermelhos e verdes, conforme a pesquisadora lhe havia informado antes. Em seguida, ela tentou explicar o que aconteceria em decorrência deste fato.

No turno seguinte, a professora forneceu um *feeedback* para que o estudante continuasse sua narrativa, ao chamar a atenção para a mudança de proporção das duas variáveis no quadro seguinte. O estudante 2 usou a expressão "ele já conseguiu avançar", no turno 11, para designar a sobrevivência e reprodução diferenciais da variedade vermelha. A professora e a pesquisadora citaram, então, o evento de mais uma aplicação do inseticida (turnos 13 e 14) e o estudante reiniciou sua narrativa, esclarecendo que alguns besouros que tiveram origem no cruzamento anterior seriam sensíveis ao inseticida e morreriam, mas outros seriam resistentes e sobreviveriam (turnos 16 a 22). No turno 23, o estudante concluiu a narrativa, propondo que estes sobreviventes, besouros vermelhos e resistentes, cruzariam entre si (*vermelho com vermelho/ e de novo vermelho com vermelho*), dando origem ao aumento do número de besouros vermelhos nas próximas gerações (*nasceu mais vermelho*), o que teria permitido que a praga não fosse exterminada com o uso daquele inseticida (*tá aqui até hoje*).

A seqüência de eventos da narrativa produzida pelo estudante 2 pode ser reconstruída da seguinte forma: Foi feita uma primeira aplicação do inseticida, a população de besouros verdes quase toda morreu. O besourinho vermelho é mais forte e sobreviveu. O besourinho vermelho sobrevivente vai se entrosar com um besourinho verde também sobrevivente e vai conseguir ter filhotes. Vão nascer filhotes verdes e filhotes vermelhos. Os filhotes verdes, que puxaram a mãe, são mais fracos e vão morrer. Resistiu o que nasceu vermelho. E daí em diante, os vermelhos vão cruzar entre si *("vermelho com vermelho")*. Os besouros vermelhos e resistentes nascerão em maior proporção e se manterão na plantação.

No turno 24, a professora fez uma questão para que o estudante prosseguisse e encerrasse a narrativa. Possivelmente, ela tinha a intenção de que assim o estudante dissesse claramente que houve uma mudança na proporção de besouros resistentes na população, dando origem à resistência ao inseticida. O estudante 2 mencionou, então, o aumento na proporção de besouros vermelhos, mostrando ter entendido que ocorreu um processo evolutivo de surgimento de resistência ao inseticida, ao mencionar as implicações deste aumento de proporção: "e aí agora o homem tem que procurar outro inseticida para matar esse povo". No entanto, ele ainda não fez uso de uma linguagem mais próxima à linguagem social da ciência e não nomeou os processos descritos a partir dos conceitos darwinistas de seleção natural, mudança de freqüência e adaptação.

5.3. Apropriação da perspectiva da ciência escolar pelos estudantes no plano social da sala de aula

Pretendemos apresentar, nesta seção, o que a análise discursiva dos episódios de ensino à luz do perfil conceitual de adaptação nos permitiu concluir acerca do progresso dos estudantes, ao longo da seqüência didática na compreensão e apropriação da perspectiva da ciência escolar, i.e., da explicação darwinista para a origem e diversificação da forma orgânica.

Procuramos descrever o processo de apropriação dos modos de pensar e falar da ciência escolar no espaço social da sala de aula. Revendo a análise dos episódios, identificamos etapas de mudanças no discurso da sala de aula, desde o momento em que os estudantes, que desconheciam a perspectiva da ciência escolar, passaram a atribuir significado à mesma, começando a compreendê-la, e por fim, apropriando-se dela, até o ponto de usarem a linguagem social da ciência escolar para construir seus argumentos. Essas etapas, descritas a seguir, são sistematizadas na figura 24.

Na primeira aula, a diversidade orgânica foi descrita pela professora em termos teóricos a partir da noção de biodiversidade e da referência à diversidade de formas e tamanhos em que se apresentam os seres vivos, à organização unicelular e pluricelular, e aos diferentes grupos taxonômicos em que os organismos são agrupados. Até aquele momento, os estudantes interpretavam a diversidade orgânica como um fenômeno dado, o qual não demandava explicação.

Figura 24: Etapas de apropriação do ponto de vista da ciência escolar pelos estudantes e sua relação com os diferentes contextos discursivos e pedagógicos e as estratégias enunciativas articuladas pela professora

A partir do momento em que foi apresentada uma descrição empírica e teórica de um caso específico de diversificação, relativo às treze espécies de tentilhões que habitam as ilhas Galápagos, os estudantes passaram a reconhecer a origem da diversidade orgânica como um problema legítimo. Inicialmente, procuraram interpretá-lo à luz do princípio da economia natural, ou evocando a agência de alguma força ou processo que manteria os organismos ajustados harmonicamente às condições ambientais, compromissos epistemológicos que sustentam as formas de pensar representadas pela zona ajuste providencial em nosso modelo de perfil de adaptação.

Nesta fase, o termo "adaptação" foi trazido para o plano social da sala de aula pelos estudantes, que o empregavam com o significado estabilizado na linguagem social cotidiana. A expressão "se adaptar" era usada como uma espécie de princípio que explica este ajuste harmônico e necessário do organismo ao ambiente, em decorrência do qual a diversidade tem origem. Em lugar de figurar como um fenômeno a ser explicado, como o é no pensamento darwinista, a adaptação era vista como um fenômeno auto-explicativo, que dispensa a explicitação de qualquer mecanismo causal.

A partir da segunda aula, os estudantes começaram a se apropriar de elementos da linguagem da ciência escolar, mais especificamente, da noção de descendência comum. Ao fazê-lo, adotaram a narrativa como forma de explicação. Nesta fase, o termo "adaptação" passou a ser empregado por eles para designar um processo ativo de transformação do organismo em direção a um ajuste às condições ambientais vigentes. Neste momento, houve uma mudança na forma de pensar e falar sobre adaptação no que diz respeito ao caráter ontológico deste conceito, que deixou de ser empregado para designar uma capacidade de ajustar-se ou o estado de estar ajustado, passando a designar um processo de mudança. Este novo compromisso ontológico propiciou o desenvolvimento de uma perspectiva evolutiva de interpretação da diversidade orgânica, um compromisso epistemológico compartilhado pelas zonas transformacional e variacional do nosso modelo de perfil de adaptação.

A partir deste momento, os estudantes começaram a formular explicações narrativas para a diversificação da forma orgânica, a qual passou a ser explicada como um processo que tem origem em eventos de transformação fenotípica de membros individuais de uma população, frente a mudanças ambientais. Nas explicações dos estudantes, estas transformações eram protagonizadas pelos próprios organismos e dirigidas para as necessidades de sobrevivência. Os enunciados dos estudantes eram produzidos em uma linguagem teleológica, sendo freqüente o uso da expressão "teve de se adaptar para".

Durante a discussão dos resultados do jogo dos clipsitacídeos, realizada na terceira aula, parte dos estudantes descreveu e explicou a mudança adaptativa ocorrida ao final do jogo a partir de uma linguagem cotidiana de natureza teleológica, dando ênfase aos referentes empíricos que constituíram o contexto ecológico simulado. Outro grupo de estudantes, reconhecendo o gênero de discurso da sala de aula de ciências, buscou interpretar o jogo a partir de referentes teóricos, à medida que a linguagem social da ciência escolar era disponibilizada pela professora no decorrer da discussão. Ao longo da negociação em torno do significado do termo "adaptação", promovida pela professora, os estudantes desenvolveram um conceito absoluto e prospectivo de adaptação. A adaptação era concebida como a capacidade ou propriedade de um grupo de organismos de sobreviver com maior facilidade, por apresentarem determinado fenótipo. Desta perspectiva, a adaptação não era vista como resultado de um processo evolutivo, mas, antes, como um fenômeno que o antecederia. Por esta razão, dizemos que esta perspectiva é prospectiva. Este conceito de adaptação também é absoluto, porque considera o fenótipo em questão como adaptativo em termos absolutos, e não em relação a alternativas fenotípicas competidoras e a um dado regime seletivo.

Na quarta aula, os estudantes passaram a empregar com maior freqüência termos da linguagem social da ciência escolar para se comunicar em sala de aula, como "evolução", "geração", "espécie", "herança" "herdar" "descendente". Estas palavras ainda eram usadas, naquele momento, de modo incerto e hesitante, assumindo uma função mais nominativa do que propriamente conceitual[37].

Nesta aula, a noção de que a diversidade tem origem em um processo evolutivo de natureza gradual alcançou grande grau de univocidade entre os estudantes. Em termos lingüísticos, um indício deste fato foi o uso freqüente do gerúndio para descrever eventos de mudança adaptativa que deram origem às diferentes espécies de tentilhões das Galápagos: *"eles foram evoluindo", "eles foram alterando", "ele foi mudando", "foram se adaptando"*.

---

[37] Segundo Vygotsky (2001, p.161), todos as funções psíquicas superiores têm como traço comum o fato de serem mediados, ou seja, de terem como parte central de todo processo o emprego do sigo. No processo de formação dos conceitos, esse signo é a palavra. Como signo, a palavra pode servir de meio para diferentes operações intelectuais. Ao longo do desenvolvimento do pensamento por conceitos, é dado à palavra diferentes empregos funcionais (Vygotsky, 2001, p. 227), desde à função de nome de família e unificação de grupos cognatos segundo a impressão obtida a partir dos objetos – função nominativa, referencial ou indicativa da palavra – à função semântica ou conceitual, em que a palavra nos orienta arbitrariamente para determinados atributos dos referentes esse constitui no meio para os sintetizamos em um conceito abstrato com o qual podemos operar.

Entre a segunda e a quarta aula, os estudantes foram se apropriando de algumas noções da ciência escolar, a exemplo da idéia de que tanto fatores ambientais como genéticos têm papel causal na origem e diversificação da forma orgânica, e da noção de que as mudanças fenotípicas nas populações ocorrem ao longo de gerações. Em conseqüência desta apropriação, os estudantes foram sofisticando suas explicações, mas mantendo, ainda, o compromisso com a perspectiva transformacional. Estas explicações podem ser descritas, em termos genéricos, como narrativas em que os organismos se transformam no espaço de tempo de uma geração, em resposta direta às mudanças nas condições ambientais e, então, esta transformação é transmitida às novas gerações, através da reprodução. Este novo fenótipo tem sua proporção aumentada na população a cada geração, a ponto de toda população passar a apresentá-lo, com o decorrer do tempo.

Ao final da quarta aula, foi proposto pela estudante 1 um mecanismo a partir do qual esta transformação fenotípica dos indivíduos se daria em conseqüência de mudanças nas condições ambientais. A estudante propôs que as mudanças ambientais geravam uma mudança no genótipo dos indivíduos e, por isso, tais mudanças poderiam ser transmitidas ao longo das gerações. Deste modo, a estudante 1 procurou satisfazer o princípio da herança, o qual foi evocado pela estudante 6 para questionar a plausibilidade das explicações transformacionais propostas por ela e pelo estudante 2.

A quinta aula constituiu um momento bastante conspícuo no que diz respeito à construção de univocidade em torno da perspectiva da ciência escolar. O estudante 3, que até o momento não havia se disposto a compartilhar da perspectiva evolutiva em desenvolvimento na sala de aula, mantendo-se compromissado com uma perspectiva mais próxima à forma de pensar própria da zona ajuste providencial, propôs e colocou em negociação uma perspectiva transformacional para explicar a mudança fenotípica das populações de clipsitacídeos simuladas no jogo. Este estudante fez esta proposição no contexto em que a professora estava construindo uma explicação narrativa variacional para descrever e explicar teoricamente esta mudança adaptativa.

Naquele momento, um grupo de quatro estudantes (1,2, 5 e 20) que, até então, haviam desenvolvido explicações também de natureza transformacional, reagiram negativamente à proposta do estudante 3. Estes estudantes argumentaram contra dois pressupostos sugeridos e postos em negociação por ele: (1) de que poderíamos partir da situação hipotética de que a população inicial de clipsitacídeos era composta de pássaros com o mesmo tamanho de bico, ou seja, sem variação fenotípica intrapopulacional; e (2) de que uma alimentação diferencial poderia ocasionar o crescimento dos bicos dos pássaros, ou seja, a idéia de que a ação direta

do ambiente, através de mecanismos eficientes, poderia gerar transformações fenotípicas nos organismos, as quais, por sua vez, seriam acumuladas de modo a levar à mudança evolutiva.

Os estudantes 5 e 20 recorreram a analogias com fatos que observamos cotidianamente em nossa própria espécie para argumentar que toda população natural apresenta variação fenotípica entre seus membros, em relação a uma série de características (estudante 5), e que não é possível ocorrer mudanças fenotípicas de grande monta, a exemplo do desenvolvimento de uma estrutura ao longo da vida adulta de um organismo, em decorrência apenas de uma mudança na alimentação (estudante 20). Os estudantes 1 e 2, por sua vez, procuraram argumentar contrariamente à proposta do estudante 3, construindo uma narrativa que tratava dos eventos que ocorreram ao longo do jogo com base na descrição de referentes empíricos. Esta narrativa, diferentemente das explicações transformacionais, descrevia a mudança de proporção de variantes fenotípicas em uma população, o grupo de estudantes que simulava os clipsitacídeos de uma região, em decorrência da sobrevivência e reprodução diferenciais. Ainda que tenha sido construída empregando-se uma linguagem cotidiana, ao mobilizar apenas referentes empíricos, apresentava a característica distintiva de uma explicação variacional: a mudança de um sistema estava sendo explicada pela mudança na proporção de seus componentes.

Portanto, os mesmos estudantes que, entre a segunda e a quarta aula, tinham proposto explicações transformacionais, após terem sido apresentados mais formalmente às noções que estruturam o pensamento darwinista, e diante de uma análise do jogo dos clipsitacídeos fortemente ancorada em dados empíricos e no uso da linguagem social da ciência escolar, desenvolveram uma explicação narrativa de natureza variacional, ainda que de modo bastante rudimentar.

Após apresentarem este progresso, os estudantes, solicitados a interpretar dois novos casos de mudança adaptativa – resistência bacteriana a antibióticos e de insetos a inseticidas – voltaram, no entanto, a expressar compromissos epistemológicos próprios da perspectiva transformacional. Foi o caso, por exemplo, da noção de que a variação intrapopulacional é resultante de um processo dirigido de transformação dos organismos para responder a desafios impostos por condições ambientais adversas. Os enunciados sobre a mudança evolutiva no episódio 6.1 voltaram a ser produzidos a partir de uma linguagem teleológica, tendo como marca discursiva o uso das expressões *"se tornaram mais fortes"*, *"cria uma defesa", "possui variações para se adaptarem"*.

Estes novos cenários foram discutidos brevemente ao final da sexta aula e no início da sétima aula pela professora. Durante a sétima aula, os estudantes, reunidos em pequenos

grupos, realizaram a interpretação de um caso particular e hipotético de surgimento de resistência a inseticidas numa praga agrícola. Por questões de natureza técnica e ética[38], só obtivemos registros das interações discursivas que ocorreram durante a apresentação da conclusão de um dos grupos à professora e à pesquisadora, os quais permitiram a produção do episódio 7.1, analisado acima. Ao apresentar a sua interpretação do caso proposto, após interação com as estudantes 1 e 4, o estudantes 2 construiu uma narrativa em que o surgimento da resistência de uma praga agrícola a inseticidas foi explicada a partir de uma perspectiva variacional.

Durante a construção da narrativa apresentada oralmente para a professora e a pesquisadora no episódio 7.1, o estudante 2 empregou, em alguma medida, a linguagem social da ciência, ao apresentar argumentos e evidências que sustentavam alguns dos fatos apresentados por ele para estabelecer certos eventos. O estudante mencionou, por exemplo, um dado empírico que o levou a concluir que a variedade vermelha da praga era mais resistente ao antibiótico: *"E na primeira figura a gente tá vendo que só tem um vermelho/ porque ele sobreviveu/ então ele é forte"*. No entanto, fez uso de uma linguagem antropomórfica cotidiana, quando, por exemplo, descreveu o evento de cruzamento dos besouros que sobreviveram à aplicação do inseticida. Foi atribuído aos besouros um comportamento humano no modo como cortejavam os parceiros. É notável também o fato de os eventos serem descritos e explica-os geralmente com base em referentes empíricos, e raramente em referentes teóricos.

A despeito do uso da linguagem cotidiana, a narrativa produzida por este estudante apresenta uma característica importante do modo de falar próprio da perspectiva variacional, o fato de os organismos figurarem como objetos da mudança evolutiva. Na narrativa do estudante 2, os besouros desempenham às ações relativas à corte e procriação, mas tanto e os besouros vermelhos e verdes, como organismos, quanto a população de que fazem parte, são pacientes do regime seletivo à que estão submetidos, e do processo de sobrevivência e reprodução diferencial que levou à mudança adaptativa.

[38] Os estudantes não consentiram que as discussões no pequeno grupo fossem filmadas ou gravadas em áudio. Após terem feito a discussão entre eles, e pedido auxílio à professora e à pesquisadora para que os ajudassem a sistematizar as discussões, e lhes dessem alguma confirmação acerca da correção do raciocínio que estavam desenvolvendo, apenas dois grupos permitiram que fosse registrado em vídeo este momento da interação.

5.4. Estratégias enunciativas articuladas pela professora e a dinâmica discursiva da sala de aula

Na seção 5.2, realizamos uma micro-análise das estratégias enunciativas articuladas pela professora em cada um dos episódios de ensino. Nesta seção, pretendemos resgatar estas análises de modo a construir um quadro mais geral da performance docente ao longo de toda a seqüência didática. Desse modo, esperamos descrever o ritmo a partir do qual a professora buscou desenvolver a estória científica em sala de aula. Analisaremos as mudanças no conteúdo do discurso, na abordagem comunicativa e na estrutura de interação discursiva entre professora e estudantes. Daremos destaque às estratégias enunciativas que nos pareceram decisivas para a promoção da apropriação do perspectiva da ciência escolar pelos estudantes.

No que diz respeito às mudanças no conteúdo do discurso, observamos o estabelecimento, entre a segunda e a quinta aulas, de três ciclos em torno das seguintes etapas: (1) fenômenos relativos à diversificação e adaptação da forma orgânica foram descritos empírica e teoricamente, para, em seguida, serem (2) propostas explicações empíricas e teóricas para os mesmos, ao longo ou ao final das quais, foram feitas (3) generalizações empíricas ou, mais freqüentemente, teóricas.

O primeiro ciclo se deu ao longo da segunda aula. A professora iniciou a aula descrevendo empírica e teoricamente a diversificação dos tentilhões das Galápagos. No episódio 2.1, ela dirigiu o discurso para a busca de explicações para a diversidade morfológica dos bicos destes pássaros e para a existência das treze espécies que ocupam o arquipélago. No episódio 2.2., além de descrever empírica e teoricamente a variação fenotípica intrapopulacional em populações de tentilhões, a professora generalizou este conceito para todas as populações naturais. No episódio 2.3, um problema novo foi apresentado aos estudantes, que foram solicitados a fazer previsões acerca de mudanças em populações de pássaros frente a uma situação hipotética de alteração ambiental. Ao final da aula, durante o episódio 2.4., a professora fez nova generalização: as mudanças evolutivas são resultantes tanto de fatores ambientais como de fatores internos ao organismo, relativos à variabilidade genética.

O segundo ciclo se iniciou com a descrição empírica e teórica das mudanças ocorridas nas populações de clipsitacídeos, após isolamento geográfico, simuladas no jogo, seguida da proposição de explicações para estas mudanças (episódio 3.1). No episódio 3.2, a professora propôs aos estudantes que relacionassem o que haviam observado no jogo com a análise que fizeram da diversificação dos tentilhões das Galápagos, mais especificamente, no que diz respeito ao uso do temo “adaptação” para explicar as mudanças evolutivas. Ao final, a

professora, através de uma abordagem interativa de autoridade, introduziu o conceito darwinista de adaptação, ao propor que o resultado obtido no jogo poderia ser generalizado como a permanência de uma característica que se mostrou vantajosa para determinada população, fenômeno denominado adaptação.

Na terceira aula, a professora retomou a discussão do jogo dos clipsitacídeos com a intenção de, a partir dela, apresentar formalmente o mecanismo da seleção natural. Inicialmente, ela analisou com os estudantes os dados obtidos com a realização do jogo em outra turma, promovendo, deste modo, a descrição empírica e teórica da mudança adaptativa ocorrida nas populações das terras norte e sul (episodio 4.1). Em seguida (episódio 4.2), apresentou uma explicação narrativa para esta mudança, na qual mobilizou os princípios que estruturam a explicação selecionista. Ao finalizá-la, enunciou: *"E aí a gente chega na teoria da seleção natural"*, sugerindo, portanto, que a explicação narrativa apresentada poderia ser generalizada nos termos de uma teoria darwinista para a mudança evolutiva.

Na quinta aula, a professora revisou idéias científicas já introduzidas, como as de descendência comum e variabilidade intrapopulacional, e introduziu novas idéias, a exemplo dos conceitos de isolamento geográfico e especiação. Ela retomou, então, a interpretação dos dois cenários discutidos, a diversificação dos tentilhões das Galápagos e a mudança adaptativa das populações de clispsitacídeos. Nesta ocasião, mais uma vez apresentou uma narrativa que descrevia e explicava teoricamente a mudança adaptativa ilustrada no jogo (episódios 5.1 e 5.2). Ao final desta narrativa, a professora fez uma síntese na qual generalizou o resultado obtido no jogo em termos do conceito de adaptação, ou seja, da predominância de uma característica fenotípica em uma população natural em decorrência de uma mudança na proporção de variantes fenotípicas, devido ao mecanismo da seleção natural (turno 74, episódio 5.2).

No decorrer de toda seqüência didática, prevaleceu uma abordagem comunicativa de autoridade, na maior parte das vezes, interativa. Através desta abordagem comunicativa, a professora articulou as intenções de explorar as idéias dos estudantes, criar problemas, e introduzir e desenvolver a estória científica. A despeito de propiciar a enunciação das idéias dos estudantes, as estratégias enunciativas articuladas pela professora não favoreceram que os diferentes pontos de vista que emergiram fossem de fato explorados, ou que houvesse uma inter-animação de idéias, uma vez que o discurso foi sistematicamente dirigido para a perspectiva mais próxima da ciência escolar.

O uso recorrente das seguintes estratégias enunciativas propiciou o estabelecimento desta abordagem comunicativa: (1) ignorar falas e intervenções que contrariavam ou

dispersavam o desenvolvimento da estória científica; (2) selecionar interlocutores privilegiados com os quais eram estabelecidas interações diádicas, de modo a explorar idéias que propiciavam a introdução e o desenvolvimento da perspectiva da ciência escolar (ver, por exemplo, a estrutura de interação do episódio 1.1 representada na figura 1); (3) parafrasear e remodelar enunciados de estudantes, tornando-os compatíveis com a perspectiva da ciência escolar que pretendia tornar unívoca; (4) usar o dêitico "a gente" para impor um consenso na turma em torno de uma idéia científica (episódio 2.2.), ou para demarcar discursos legitimados pela ciência escolar em relação àqueles que se distanciavam do desenvolvimento da estória científica em curso (episódios 4.1 e 5.2); (5) apresentar, ao final dos episódios, uma síntese em que enfatizava ou apresentava idéias científicas, geralmente na forma de generalizações de casos particulares que foram analisados com os estudantes.

No conjunto de episódios que selecionamos para análise, em apenas dois momentos foi estabelecida uma abordagem comunicativa dialógica. No primeiro deles, a professora manteve trocas diádicas com um estudante (estudante 3) que enunciava um ponto de vista contrário ao da ciência escolar, de modo a tornar explícitos para toda turma os pressupostos que fundamentavam a perspectiva trazida por este estudante (episódio 5.2). A professora também propiciou que fossem apresentados e examinados argumentos a favor e contra a plausibilidade da explicação proposta pelo estudante em questão, inserindo os debates paralelos entre estudantes nas trocas discursivas entre ela e toda a turma (ver figura 22). Esta atitude foi oposta ao modo como a professora tratou os diálogos travados entre os estudantes no episódio 2.3, quando estabelecu uma abordagem interativa de autoridade, usando estratégias para manter os diálogos entre os estudantes isolados da dinâmica discursiva orquestrada por ela (ver figura 14).

O episódio 6.1 foi o segundo momento na seqüência no qual identificamos o estabelecimento de uma abordagem comunicativa dialógica, articulada com a intenção da professora de guiar os estudantes no trabalho com as idéias científicas.

Em nosso entendimento, o predomínio da abordagem comunicativa interativa de autoridade pode ser explicado pelos seguintes fatores: (1) a postura política da professora de não deixar de cumprir o programa da disciplina que foi acordado no projeto político-pedagógico da escola e, portanto, evitar que assuntos planejados para uma aula fossem transferidos para mais adiante; (2) a falta de tempo disponível para investir em interações que propiciassem uma dinâmica discursiva em que as abordagens dialógica e de autoridade tivessem maior alternância, em decorrência de restrições próprias do tempo escolar; e (3) o desafio docente analisado por Scott e colaboradores (2006), entre disponibilizar a perspectiva

da ciência escolar e socializar os estudantes na linguagem social da ciência, o que demanda necessariamente uma abordagem comunicativa mais próxima ao pólo de uma abordagem de autoridade, e, ao mesmo tempo, mantê-los motivados e engajados no trabalho em sala de aula, o que demanda uma abordagem mais dialógica.

Possivelmente, estas foram algumas das razões que levaram a professora a não estabelecer um ritmo de alternância entre uma abordagem comunicativa de autoridade e uma abordagem dialógica. Na ausência dessa alternância, não foi possível promover momentos importantes de transição entre estas abordagens (*turning points)*, identificados por Scott e colaboradores (2006, p. 617) como um aspecto fundamental de seqüências de ensino que promovem a aprendizagem significativa do conhecimento científico.

A despeito disso, consideramos que a performance da professora propiciou um progresso notável na apropriação da perspectiva da ciência escolar pelos estudantes, como argumentamos na seção anterior. Além disso, isso ocorreu em um espaço de tempo bastante curto, tendo em vista a natureza dos desafios a serem enfrentados na compreensão do pensamento darwinista, que é consideravelmente difícil de promover, tal como apontado exaustivamente pela literatura sobre concepções alternativas e mudança conceitual no ensino de evolução (Brumby, 1983; Clough e Wood-Robinson, 1985; Bishop e Anderson, 1990; Jiménez, 1992; Ohlsson e Bee, 1992; Smith; Siegel; McInerney, 1995; Desmastes, Sttalage, Good, 1995; Desmastes, Good, Peebles, 1996; Ayuso e Banet, 1997; Ferrari; Chi, 1998).

Destacaremos, a seguir, algumas das estratégias enunciativas articuladas pela professora que consideramos fundamentais para que o discurso da sala de aula fosse gerenciado de modo a promover este progresso, tendo em vista as etapas percorridas pelos próprios estudantes (ver seção anterior).

O primeiro passo importante foi dado na primeira aula, quando a professora propôs que a interpretação dos fenômenos a serem analisados deveria se restringir à perspectiva da biologia, sugerindo que os estudantes se situassem em um determinado grupo de social de falantes, aquele dos estudantes de biologia. Isso indicava, ainda, a necessidade do uso de uma linguagem social específica (episódio 1.1).

Um segundo movimento discursivo foi importante para propiciar o reconhecimento do fenômeno da diversidade orgânica como um problema legítimo, que demanda explicação: a apresentação de um caso específico de diversificação orgânica, concernente às espécies de tentilhões das Galápagos, em que foram apresentados dados relativos à distribuição biogeográfica e a correlações entre uma estrutura morfológica diversificada (o bico dos pássaros) e estratégias de exploração de recursos. Este contexto discursivo, que teve lugar na

segunda aula, propiciou a emergência da zona ajuste providencial, de acordo com nosso modelo de perfil conceitual de adaptação, e a negociação entre alguns de seus compromissos e compromissos das perspectivas transformacional e variacional.

Em seguida, um conjunto de estratégias enunciativas propiciou o desenvolvimento de uma perspectiva evolutiva de interpretação da adaptação e explicação da diversificação orgânica, promovendo o desenvolvimento de uma forma de pensar que compartilhava com a maior parte dos compromissos da perspectiva transformacional. Estas estratégias foram: (1) a introdução do conceito de descendência comum e a ação docente de marcá-lo como uma idéia chave, a partir de uma abordagem comunicativa de autoridade; (2) o uso de recursos fraseológicos que sugeriam a ocorrência de uma seqüência de eventos, a exemplo da indagação "o que ocorreu?", feita de modo recorrente ao final do episódio 2.1., de modo a estimular aos estudantes a construírem narrativas; (3) o apoio dado aos estudantes 1 e 2 na elaboração de narrativas para explicar a origem das treze espécies das Galápagos e propor previsões para o que aconteceria com uma população hipotética de pássaros, frente a uma situação de escassez de alimento.

No que diz respeito à apropriação da linguagem social da ciência escolar e ao reconhecimento do gênero de discurso da sala de aula de ciências, foram fundamentais os seguintes movimentos discursivos realizados pela professora durante os episódios 3.1 e 3.2: (1) substituir referentes empíricos citados nas falas dos estudantes por referentes teóricos; (2) reconstruir enunciados elaborados pelos estudantes em linguagem teleológica e antropomórfica em termos de um modo de falar mais próximo da linguagem social da ciência escolar; e (3) tornar claro o papel pedagógico do jogo, ao propor uma generalização a partir da discussão de seus resultados.

Por fim, destacaremos algumas estratégias que contribuíram para o desenvolvimento de uma perspectiva variacional de interpretação da adaptação no plano social da sala de aula, as quais foram articuladas ao longo de toda a seqüência: (1) a introdução do conceito de variação intrapopulacional através de uma abordagem comunicativa de autoridade (episódio 2.2) e o esforço para torná-lo mais inteligível e plausível para os estudantes ao longo da seqüência; (2) a insistência para que a mudança adaptativa fosse interpretada a partir de uma perspectiva populacional (episódios 2.4; 4.1; 4.2; 6.1); (3) o esclarecimento de que tanto forças internas ao organismo, relativas à variabilidade genética, quanto forças externas a ele, concernentes aos fatores ambientais, participam da causalidade da forma (episódio 2.4) (4) a avaliação positiva de modos de falar próprios da perspectiva variacional empregados pelos estudantes, a exemplo do uso de comparativo de superioridade no contexto da comparação da

eficiência de variantes fenotípicas de uma população (episódio 4.1, por exemplo); e (5) a introdução de modos de falar próprios da perspectiva variacional de interpretação da mudança adaptativa, ao longo de toda a seqüência.

Em relação a esta última estratégia citada, um movimento discursivo muito importante consistiu no deslocamento do agente das narrativas construídas pelos estudantes para explicar a mudança adaptativa a partir de uma perspectiva transformacional. Nas narrativas elaboradas pelos estudantes, o papel de protagonista do processo evolutivo era exercido pelos organismos. Ao propor desafios e fornecer apoios aos estudantes na elaboração de narrativas, a professora procurou deslocar este papel para as populações de organismos (episódios 2.1 e 2.3), o que ainda não estava de acordo com a perspectiva darwinista, mas era mais próximo desta, pela introdução do pensamento populacional. No episódio 2.4, a professora deslocou, então, este papel para os fatores ambientais, introduzindo um modo de falar próprio de uma perspectiva variacional, de caráter externalista (ver quadro 1, capítulo II e caracterização abordagem adaptacionista no capítulo III). No decorrer dos episódios 5.1 e 5.2, a professora, de modo não interativo, enunciou narrativas em que não havia agentes claros, mas uma cadeia de eventos que levava à mudança evolutiva de populações de organismos[39].

A despeito do progresso na apropriação da perspectiva da ciência escolar, de caráter variacional, ela não foi construída nas interações discursivas em sala com consistência suficiente para que emergisse uma tomada de consciência de sua demarcação em relação a outros modos de pensar. A tomada de consciência acerca do perfil conceitual, ou seja, a consciência de que existem diferentes perspectivas de interpretação da adaptação, as quais estão sendo negociadas nas interações discursivas, e a compreensão dos aspectos que as distinguem, foi dificultada, em grande parte, pelo curto tempo disponibilizado para a abordagem do tema. Este é um aspecto de central importância, em virtude da ubiqüidade das restrições relativas ao tempo escolar.

Contudo, algumas características da dinâmica discursiva estabelecida também não favoreceram tal tomada de consciência. Como discutido acima, no contexto de uma abordagem comunicativa de autoridade, a professora remodelou, em várias ocasiões, os enunciados dos estudantes de modo a torná-los condizentes com a perspectiva da ciência escolar, uma estratégia que foi produtiva para os objetivos de introduzir e desenvolver a estória científica. Todavia, ao fazê-lo, ela não delimitou claramente as fronteiras entre as perspectivas trazidas pelos estudantes, na maioria dos casos mobilizando compromissos que

[39] No capítulo seguinte, seção 6.2.1. argumentamos que este tipo de agência é adequada para narrativas que explicam as mudanças adaptativas de uma perspectiva darwinista.

fundamentam a perspectiva transformacional, e a perspectiva da ciência escolar. Desse modo, ela não deixou claro em quais aspectos as explicações dos estudantes não se ajustavam à explicação variacional que estava sendo desenvolvida e disponibilizada por ela em sala de aula.

De modo semelhante, ao estabelecer uma abordagem comunicativa mais dialógica, em momentos em que pretendia guiar os estudantes na aplicação das idéias científicas (episódio 6.1), a professora, não contrastou, ao menos de modo sistemático e explícito, as diferentes perspectivas que estavam dialogando e os pressupostos que as fundamentavam.

Em algumas circunstâncias, ela evitou fornecer avaliações negativas que seriam estratégicas para o desenvolvimento da estória científica, bem como para a tomada de consciência mencionada acima. Um exemplo emblemático consistiu no episódio em que o estudante 2 questionou se o modelo explicativo apresentado por ele estava de fato equivocado (episódio 2.4, turno de fala 107), conforme o reclame feito pela estudante 6 a respeito do caráter hereditário dos bicos dos pássaros. Naquele momento, a professora poderia ter assumido uma abordagem de autoridade mais clara, explicitando o problema com a noção de hereditariedade tênue pressuposta pelo estudante e introduzindo a noção de hereditariedade dura, para usar a distinção sugerida por Mayr (1998, p. 766). Neste caso específico, mais uma vez o problema da gestão do tempo escolar pode ter sido um fator preponderante na tomada de decisão da professora.

Na figura 24, também procuramos sistematizar a relação entre as etapas do progresso dos estudantes na apropriação da perspectiva variacional, darwinista, descritas na seção anterior, os diferentes contextos discursivos e pedagógicos constituídos ao longo da seqüência e algumas das estratégias enunciativas articuladas pela professora. Desse modo, podemos construir uma descrição integrada do processo de significação e de sua relação com o discurso produzido em sala de aula.

CAPÍTULO VI: Aperfeiçoamento do modelo

Neste capítulo, pretendemos propor um aperfeiçoamento do modelo de perfil conceitual apresentado no capítulo III. No capítulo antecedente, avaliamos o poder heurístico do modelo como ferramenta de análise do discurso produzido na sala de aula de biologia em situações de ensino de evolução. Os dados produzidos a partir desta avaliação, ou seja, da aplicação do perfil à análise discursiva de episódios de ensino, sugeriram duas diretrizes para ampliar o poder heurístico deste modelo: (1) a caracterização enunciativa das zonas e; (2) uma análise a respeito do valor pragmático das zonas geneticamente anteriores à perspectiva variacional – esta última correspondente à perspectiva da ciência escolar. Ao final do capítulo, discutimos algumas implicações do trabalho com o conceito de adaptação para a abordagem dos perfis conceituais.

6.1. Modos de falar sobre adaptação: em busca de uma caracterização enunciativa das zonas do perfil.

Os dados referentes às interações discursivas em sala de aula, apresentados no capítulo precedente, ao lado de dados de entrevistas e questionários, nos permitiram caracterizar modos de falar típicos de cada uma das zonas no modelo de perfil que construímos. Estas zonas foram caracterizadas não só em termos do uso de expressões recorrentes, mas também em termos de linguagens sociais empregadas e formas típicas de enunciados produzidos na significação do conceito de adaptação.

Para identificar e caracterizar a linguagem social empregada nos contextos discursivos em que cada uma das zonas do perfil emergiu em sala de aula e em entrevistas, usamos como apoio estudos epistemológicos a respeito da estrutura de explicações empregadas em diferentes domínios da investigação sobre os seres vivos e em determinados momentos da história das ciências biológicas. Em particular, esta caracterização foi significativamente amparada na análise da estrutura das explicações selecionais e funcionais na biologia realizada por Gustavo Caponi (2002) e na análise deste mesmo filósofo acerca do "re-ordenamento epistemológico" que o programa darwinista promoveu em relação às explicações pré-darwinistas da evolução, de caráter transformacional (Caponi, 2005). Outro referencial importante foi a análise de Lewontin (1983) a respeito do contraste entre explicações transformacionais e variacionais da mudança evolutiva, entre outras fontes usadas. De igual modo, a literatura sobre concepções alternativas nos forneceu informações acerca de aspectos característicos da linguagem social cotidiana que constituem os modos não-científicos de falar sobre adaptação, mais especificamente, aqueles relativas ao uso da

linguagem teleológica e do recurso à personificação ou antropomorfização como fontes de analogias para pensar e falar sobre a origem e diversificação das formas orgânicas (Molina, 2007; Ash, 2008).

Além de caracterizar os modos de falar em termos da noção de linguagem social (Bakhtin, 1981; 2000), procuramos verificar se era possível encontrar regularidades temáticas e/ou estruturais entre os enunciados produzidos na significação de cada uma das formas de pensar a origem e diversificação da estrutura orgânica representadas pelas zonas do perfil de adaptação. Em um primeiro tratamento indutivo dos dados referentes às entrevistas e às interações discursivas em sala de aula, pareceu-nos que seria possível caracterizar formas típicas de enunciados produzidos na significação deste conceito. Para refinar esta análise, tomamos como inspiração a noção de gênero de discurso de Bakhtin, mais especificamente, os elementos que são reconhecidos como identificadores dos tipos estáveis de enunciados que dão origem aos gêneros de discurso (Bakhtin, 2000). Segundo Bakhtin,

> "Uma dada função (científica, técnica, ideológica, oficial, cotidiana) e dadas condições, específicas para cada uma das esferas da comunicação verbal, geram um dado gênero, ou seja, um dado tipo de enunciado, relativamente estável do ponto de vista temático, composicional, estilístico. O estilo é indissociavelmente vinculado a unidades temáticas determinadas e, o que é particularmente importante, a unidades composicionais: tipo de estruturação e de conclusão de um todo, tipo de relação entre locutor e os outros parceiros da comunicação verbal (relação com o ouvinte, ou com o leitor, com o interlocutor, com o discurso do outro)." (BAKHTIN, 2000, p. 284).

Como analisa Rodrigues (2007, p. 164), quando dizemos que a noção de gênero de discurso do Círculo de Bakhtin é um tipo de enunciado, estamos fazendo referência a "uma tipificação social dos enunciados que apresentam certos traços (regularidades) comuns, que se constitui historicamente nas atividades humanas, em uma situação de interação relativamente estável, que é reconhecida pelos falantes". Estes traços comuns ou regularidades podem ser investigados em relação a três dimensões essenciais e indissociáveis, nas quais os enunciados singulares podem ser decompostos. Esta são as dimensões às quais Bakhtin se refere na citação acima: o tema; a estrutura ou forma composicional; e o estilo ou as marcas lingüísticas. Segundo Rodrigues (2007), o tema constitui o objeto e a finalidade do discurso; o estilo verbal é constituído pela seleção de recursos léxicos, fraseológicos e gramaticais empregados para realizar este "querer dizer" do locutor; e a forma composicional diz respeito aos procedimentos composicionais usados para a organização, a disposição e o acabamento da totalidade discursiva e da relação dos participantes da comunicação discursiva.

Rojo (2007) propõe uma ordem metodológica necessária na análise bakhtiniana do enunciado, na qual se parte sempre da análise dos aspectos sócio-históricos da situação

enunciativa – da vontade, da intenção e da apreciação valorativa do locutor acerca de seus interlocutores e dos temas discursivos – em direção à análise das propriedades do texto, das formas de composição e demais maneiras lingüísticas de configurar a significação. Desse modo, as teorias textuais e as análises lingüísticas habituais podem vir a ser instrumentos no método bakhtiniano, desde que utilizadas neste nível inferior de análise, o qual deve estar subordinado e articulado aos níveis superiores, referentes aos aspectos sociais da situação de enunciação. Seguindo-se o método de trabalho que Rojo (2007, p.199) denomina *top-down*, de idas e vindas da situação social de enunciação ao texto, espera-se que o analista possa chegar às regularidades do gênero, as quais não são devidas às normas fixas da língua, mas sim "às regularidades e similaridades das relações sociais numa esfera de comunicação específica".

Procuramos proceder de forma análoga à metodologia proposta por Rojo (2007). No entanto, em nosso caso, o foco não recaiu propriamente sobre as similaridades das relações sociais entre os falantes, numa dada esfera de comunicação. Este fator determinante da produção de regularidades do gênero discursivo foi re-significado em termos de aspectos lingüísticos e sociais que caracterizaram os contextos discursivos em que cada zona emergia, a exemplo de estratégias discursivas usados pelo entrevistador e pelo professor que levavam ao estabelecimento de certos contratos de intersubjetividade entre os participantes da interação discursiva.

Propusemos, então, uma caracterização enunciativa das quatro zonas do modelo de perfil conceitual apresentado no capítulo III, no que diz respeito à linguagem social empregada e às formas típicas de enunciados produzidas nos contextos em que estas zonas emergem. Os enunciados foram caracterizados no que diz respeito à estrutura composicional, à temática e às marcas lingüísticas, entre as quais enfocamos os termos recorrentes e o modo como o termo "adaptação" e suas flexões são empregados (ver quadro 25). Nas seções a seguir, apresentamos a caracterização de cada um destes modos de falar sobre adaptação.

6.1.1.Caracterização enunciativa da zona funcionalismo intra-orgânico

Dois fatores dificultaram a caracterização dos modos de falar relativos à zona funcionalismo intra-orgânico: (1) o fato de termos dados menos ricos e abundantes em relação a situações de sala de aula em que esta zona emerge; (2) o fato de esta zona abranger dois modos de falar sobre adaptação que têm em comum o aspecto de não reconhecerem o problema darwinista da adaptação – o ajuste da estrutura orgânica às exigências postas pelo ambiente – como um problema que demande uma resposta de natureza etiológica.

O aspecto que torna um destes modos de falar distinguível dos demais é compartilhar de um dos aspectos típicos que a linguagem social cotidiana frequentemente exibe ao referir-se aos fenômenos naturais: o fato de considerarem tais fenômenos como dados, não demandando, pois, explicação. Entre as expressões que identificam este modo de pensar, temos: *"É da natureza mesmo"*, *"Veio da natureza mesmo"*. Este gênero de discurso tende a ser empregado pelos estudantes em situações em que lhes são feitas perguntas de caráter genérico, não contextualizadas, a respeito de como poderia ser explicada a diversidade de organismos vivos existentes ou como teria surgido uma determinada estrutura orgânica, ou, ainda, como poderia ser explicada a morfologia de um organismo. Isso ocorre, em especial, quando estas questões assumem um tom de "grande mistério" a ser desvendado. Este é o caso das seguintes questões feitas por professoras em salas de aulas do ensino médio, nas duas seqüências de aulas que utilizamos como fontes de dados neste estudo: "*E aí, eu pergunto/ por que esses seres vivos se apresentam em TAMANHA diversidade? Por que são tão diversos/ esses organismos?";* ou *"Como foi que chegou estes organismos nessas estruturas que os auxiliam na sobrevivência nesse ambiente? Como será? O que levou a isso? Eu gostaria que vocês refletissem sobre isso."*

O segundo modo de falar encontrado nesta zona é caracterizado pela análise funcional de natureza não etiológica das estruturas orgânicas adaptativas. Diante da solicitação de que seja explicada a origem e diversificação de estruturas adaptativas, analisa-se como cada uma das partes que compõem esta estrutura cumpre sua função, de modo a contribuir para o funcionamento de todo o sistema e, assim, de uma atividade vital do organismo.

Este tipo de análise funcional constitui em uma explicação legitima na biologia. Ela se assemelha a uma atribuição funcional sistêmica, tal como proposta na teoria da análise funcional Cummins ([1975]1998). Cummins defende que as explicações funcionais podem ser consideradas como um modo distinto de explicação, legítimo na biologia, cujo objetivo explanatório é explicar as capacidades de um sistema, apelando às funções desempenhadas pelos componentes nele contidos. Este não é, no entanto, o objetivo explanatório de uma explicação evolutiva. Esta última tem como foco a origem de uma estrutura, de um comportamento, ou de um mecanismo presente em um sistema vivo. Assim, este tipo de análise funcional não é uma explicação válida no contexto específico da biologia evolutiva.

Este segundo modo típico de falar da zona funcionalismo intra-orgânico, apresenta, portanto, alguns aspectos que o aproxima da linguagem social empregada no campo da biologia funcional. Contudo, a questão para a qual desejamos chamar atenção é o fato deste

modo de falar estar sendo usado para responder a questões que dizem respeito à origem e diversificação de uma estrutura orgânica, objetivo explanatório da biologia evolutiva.

No conjunto de dados primários que obtivemos no presente estudo, este modo de falar foi empregado de modo preponderante na interpretação de um cenário relativo à diversificação das mandíbulas dos mamíferos, tanto em entrevistas com estudantes do ensino médio, como em questionários aplicados a estudantes do ensino superior.

> *A variação no formato da mandíbula, no formato e disposição dos dentes nos diferentes grupos animais mamíferos pode ser analisada tomando como base a função exercida por cada um já que os grupos apresentam diferentes formas de obter e processar seu alimento ou presa, sendo que os carnívoros possuem dentes frontais e afiados para facilitar a captura da presa (associado ao processo dilacerador), nos herbívoros a disposição dos dentes facilita a chegada do vegetal aos dentes mastigadores (disposto externamente), já nos onívoros a dentição em forma de arco permite a dupla função – carnívora e herbívora.* (estudante segundo semestre da licenciatura, resposta a questionário)

Procurando razões para este fato, atentamos para os detalhes do cenário. Percebemos, então, que o texto e, especialmente, a figura utilizada, além de compararem o formato e a disposição dos dentes em grupos de mamíferos com hábitos alimentares diferentes, apresentavam uma descrição da estrutura interna dos dentes e dos tipos diferentes de dentes que compõem a arcada dentária dos mamíferos (ver figuras 1A e 1B do Apêndice 1). Nas ilustrações, os tipos de dentes se encontravam destacados em cada uma das arcadas dentárias, através do uso de cores fantasia. Uma evidência de que esta informação não passou desapercebida pelos estudantes reside no fato de encontramos em alguns questionários anotações em lápis indicando através de setas os nomes de cada um dos dentes dispostos nas arcadas dentárias de cada grupo de mamífero.

Algumas destas figuras foram retiradas e adaptadas de um livro didático do ensino superior (Purves, Sadava, Orians e Heller, 2002, p. 895) e, assim como em outros livros do ensino superior e do ensino médio, elas são encontradas em capítulos que versam sobre a biologia dos animais, especificamente aqueles relativos aos temas “sistema digestório” ou “nutrição animal”. Como observam Carmo, Nunes Neto e El-Hani (2009), estes são exemplos de contextos de produção do conhecimento escolar de biologia nos quais se faz largo uso de uma linguagem funcional e nos quais predominam exemplos de atribuições funcionais às estruturas morfológicas. A morfologia da mandíbula dos mamíferos é tratada nestes capítulos não a partir de uma abordagem evolutiva, mas, preferencialmente, como objeto de estudo da biologia funcional. Neste caso, não é enfatizada ou sequer é feita menção à origem destas estruturas por descendência comum e à sua diversificação por irradiação adaptativa. O foco

reside na análise da função que esta estrutura desempenha no sistema digestório de um dado grupo animal, a partir da atribuição funcional a cada uma de suas partes. Reproduzimos abaixo exemplos de atribuições funcionais desta natureza que encontramos na abordagem deste tema no livro do qual foi retirada a figura que ilustra o cenário:

> A forma e organização dos dentes dos mamíferos, entretanto, podem ser muito diferentes, já que são adaptados para dietas específicas. Em geral, os incisivos são usados para cortar; picar ou roer; os caninos são usados para furar, rasgar retalhar; os molares e os pré-molares (os dentes da bochecha) são usados para cortar, esmagar e tritura. A dieta altamente variada dos humanos é refletida pelo nosso conjunto de dentes com várias funções, como é comum entre os onívoros. (Purves et. al., 2002. p. 894)

Portanto, defendemos a hipótese de que os estudantes identificaram no cenário da diversificação das mandíbulas o gênero de discurso da ciência escolar, mas tratava-se, neste caso, do gênero de discurso próprio da biologia funcional, e não aquele próprio da biologia evolutiva. Ainda que a questão que acompanhava o cenário propusesse uma reflexão a respeito do fenômeno da diversificação das mandíbulas, um fenômeno estudado pela biologia evolutiva, os estudantes tenderam a reconhecer no cenário as características próprias do contexto discursivo da anatomia e fisiologia animal e, ao fazê-lo, empregaram o gênero de discurso próprio da biologia funcional.

Feita esta análise das características dos contratos de intersubjetividade entre os participantes das interações discursivas ou das relações que se estabelecem entre os falantes e o contexto discursivo em que estão inseridos, podemos apontar os seguintes aspectos característicos do modo de falar associado à zona funcionalismo intra-orgânico: (1) uso de uma linguagem social cotidiana, segundo a qual os fenômenos naturais são fenômenos dados, que carecem de explicações causais; (2) uso de uma linguagem funcional própria da ciência escolar, mais especificamente, do modo de falar da biologia funcional; (3) enunciados que se iniciam com a descrição da função realizada por cada uma das partes de um sistema orgânico e finalizam com a indicação de como estas funções contribuem para a funcionalidade do sistema como um todo; (4) uso do termo ‘adaptação’ como um princípio auto-explicativo.

6.1.2.Caracterização enunciativa da zona ajuste providencial

Os enunciados produzidos nos contextos discursivos em que emerge a zona ajuste providencial podem ser caracterizados por estabelecerem uma relação de conformidade necessária entre estrutura morfológica e atividade vital do organismo ou capacidade do organismo de realizar esta última. Estes enunciados se encontram organizados conforme a seguinte estrutura: *A estrutura x, ou a morfologia x dessa estrutura, capacita o organismo y,*

ou grupo w de organismos y, a desempenhar a atividade vital z e/ou a cumprir seu papel na economia natural. Além disso, é este ajuste entre estrutura e capacidade que explica, de acordo com este modo de pensar, a existência da estrutura. O termo 'adaptação', quando empregado nestes enunciados, designa uma propriedade ou um estado de ser de uma estrutura e é, também, a explicação para a existência da forma orgânica. É recorrente, no modo de falar associado a este modo de pensar, o uso das seguintes expressões: *"está adaptado"; "é adaptado"; "tem adaptações"; "tem capacidade de adaptação"*. Também é freqüente o uso de uma linguagem teleológica. A linguagem social empregada na produção de enunciados que representam esta forma de pensar é caracterizada, ainda, pela exaltação à complexidade da forma viva e de seu ajuste perfeito à função.

6.1.3.Caracterização enunciativa da zona perspectiva transformacional

Nas interações discursivas em sala de aula, o modo transformacional de falar é empregado com maior freqüência em situações em que os estudantes são desafiados pela primeira vez a fazer previsões acerca do que poderá ocorrer com populações naturais frente a alterações ambientais, ou a explicar a mudança evolutiva de uma população de organismos frente a mudanças ambientais. Isso ocorre especialmente nos casos em que a professora usa recursos fraseológicos que sugerem a ocorrência de uma seqüência de eventos, a exemplo da indagação "O que ocorreu?".

A linguagem social empregada nos contextos discursivos em que o conceito de adaptação é significado a partir de uma perspectiva transformacional se caracteriza pelo recurso à personificação ou antropomorfização como fonte de analogias para falar sobre o processo de mudança evolutiva; pelo uso de formulações teleológicas; pela ênfase na idéia de progresso; e pelo foco em processos que ocorrem no organismo individual.

Os enunciados são estruturados na forma de uma narrativa protagonizada por um organismo, ou por um grupo de organismos, que dirige sua própria transformação em direção a um estágio final de ajuste às necessidades de sobrevivência em determinadas condições ambientais. Eles têm como temas fenômenos organísmicos, relativos ao funcionamento e à constituição do organismo individual; mecanismos eficientes que atuam no nível do organismo; e a acomodação da forma orgânica ao ambiente. As marcas discursivas distintivas deste modo de falar residem no fato de os organismos figurarem como agentes de sua própria mudança evolutiva, assim como no uso recorrente da expressão *"ter de se adaptar"*. O termo adaptação denomina o próprio processo de mudança evolutiva e geralmente é empregado na forma de verbo, *"adaptar-se"*.

6.1.4.Caracterização enunciativa da zona perspectiva variacional

Este modo de falar começa a ser empregado pelos estudantes, nas interações discursivas em sala de aula, quando já se construiu uma univocidade em torno de certos conceitos característicos da linguagem social da ciência escolar, a exemplo do conceito de descendência comum, do princípio de que a diversidade orgânica deve ser investigada de uma perspectiva histórica e, fundamentalmente, de que é preciso analisar a relação entre recursos disponíveis e eficiência diferencial de organismos em sua exploração, para compreender a evolução por seleção natural. A análise de dados referentes a mudanças demográficas em populações naturais, frente a eventos de mudanças ambientais, também favorece o emprego de um gênero de discurso próprio de uma narrativa variacional da mudança adaptativa, tal como proposta pela ciência escolar. Apenas quando se estabelece uma espécie de contrato intersubjetivo para aceitar a perspectiva da ciência escolar como unívoca, é que este modo de falar passa a ser empregado com maior fluência pelos estudantes.

O modo variacional de falar sobre adaptação tem como características o foco nas relações entre os organismos e seu entorno ecológico; a tendência de considerar fatores internos e externos ao organismo na análise das origens das formas orgânicas; e a comparação da eficiência com que uma variante fenotípica, em uma determinada população, pode desempenhar uma função em condições ambientais particulares. Os enunciados são estruturados na forma de narrativas em que os organismos são objetos de forças evolutivas, internas e externas a eles. Os eventos comumente citados são: produção e/ou existência de variação na população, mudança ambiental, sobrevivência e reprodução diferenciais, seleção de variantes e mudanças nas freqüências fenotípicas e/ou genotípicas da população. Em termos estilísticos, os enunciados são caracterizados pelo uso freqüente de comparativos de superioridade – usados para exprimir a eficiência diferencial de variantes fenotípicas –, bem como pelo uso recorrente das expressões *"ter maior sucesso"; "ter maior capacidade de", "ser favorecido", "ser selecionado".* O termo "adaptação" denomina o resultado de um processo de mudança evolutiva por seleção natural e figura nos enunciados como algo a ser explicado.

Uma síntese da caracterização enunciativa das zonas do perfil conceitual proposto neste trabalho é apresentada no Quadro 25.

Quadro 25: Caracterização enunciativa das zonas de um perfil de adaptação.

Zonas		Funcionalismo Intra-orgânico	Ajuste Providencial	Perspectiva Transformacional	Perspectiva Variacional
Linguagem social		•Linguagem cotidiana: fenômenos da natureza não demandam explicação. •Linguagem social da ciência escolar: Análise funcional não-etiológica.	•Linguagem teleológica; •Análise funcional de natureza etiológica;	•Antropomorfização; •Linguagem teleológica; •Foco no organismo individual; • Ênfase na idéia de progresso	•Exame de fatores internos e externos ao organismo na análise da causalidade da forma orgânica; • Análise de condições particulares em que certas variantes conferem ao seu portador maior eficiência na exploração de recursos.
Formas Típicas de Enunciados	Estrutura composicional	Descrição da função desempenhada por estruturas que compõem um sistema orgânico, em termos de sua contribuição para o funcionamento do sistema como um todo.	A estrutura x, ou a morfologia x dessa estrutura, capacita o organismo y, ou grupo w de organismos y, a desempenhar a atividade vital z e/ou a cumprir seu papel na economia natural	Narrativas em que organismos ou grupos de organismos são protagonistas de sua transformação evolutiva.	Narrativas em que os organismos de uma população são objetos de forças evolutivas.
	Tema	Correlação funcional entre partes de um sistema.	•Harmonia entre propriedades dos organismos e condições ambientais. •Exaltação à complexidade da forma viva e ajuste da estrutura dos organismos à função.	•Fenômenos organísmicos. •Mecanismos eficientes que atuam no organismo. •Acomodação da forma orgânica ao ambiente.	•Fenômenos populacionais, demográficos e biogeográficos. •Luta pela sobrevivência. • Vínculo entre problemas enfrentados pelas populações de organismos e sua solução via evolução.
	Estilo (termos recorrentes)	*"surgiu da natureza", "veio da natureza"; "é da natureza mesmo".*	*está adaptado; é adaptado, têm adaptações; tem capacidade de adaptação.* *"é para"; "é próprio para"; "serve para"; "serve de";" é apropriado para"; "feito para".*	• Organismo ou grupos de organismos são sujeitos da ação *ter de (que) se adaptar; ser acomodado à necessidade; desenvolver-se.*	•Uso de comparativo de superioridade. *"ter maior capacidade de"; "ter maior sucesso"; "ser mais vantajoso"; "ser mais eficiente";* •Organismo ou populações de organismos são objetos de uma ação. Normalmente, figuram como sujeitos de um verbo na voz passiva. *"ser favorecido";* *"ser selecionado";"sofrer seleção"*
	Uso do termo 'adaptação'	Empregado como princípio auto-explicativo.	Designa propriedade ou estado de ser de uma estrutura. É a explicação para a existência de tal estrutura.	Denomina processo de transformação. É empregado na forma de verbo.	Denomina o resultado do processo de mudança evolutiva por seleção natural. É objeto de explicação.

6.2.Valor pragmático das zonas anteriores à perspectiva variacional:

Como analisamos no capítulo I, a concepção de aprendizagem da abordagem dos perfis conceituais se apóia no pressuposto de coexistência de formas de pensar um conceito e na idéia de que estas formas apresentam valor pragmático para lidar com problemas diferentes. Assim, do ponto de vista desta abordagem, a elaboração conceitual dos estudantes, ao longo da aprendizagem de um conceito científico, deve envolver não só a compreensão e o domínio de novas formas de significar este conceito, como também a tomada de consciência acerca da multiplicidade de significados que ele apresenta em diferentes linguagens sociais e, ainda, dos contextos em que cada um destes significados pode ser aplicado de modo poderoso.

Portanto, se temos a intenção de contribuir com diretrizes para o ensino do conceito darwinista de adaptação, além de caracterizarmos a heterogeneidade de formas de pensar e modos de falar sobre este conceito, como buscamos fazer no capítulo III e na seção anterior, é preciso que façamos também uma análise do valor pragmático que cada um dos significados que lhes são atribuídos apresenta na resolução de diferentes problemas.

Ao fazê-lo, constatamos uma peculiaridade do conceito de adaptação: nem todas as formas de pensar adaptação, representadas em nosso modelo de perfil conceitual, apresentam significados correspondentes na linguagem cotidiana que tenham, como no caso das zonas não científicas de perfis de outros conceitos, o mesmo tipo de valor pragmático no dia-a-dia do cidadão comum.

Não detectamos nas zonas não científicas do modelo de perfil de adaptação o valor pragmático, por exemplo, que as zonas correspondentes do perfil conceitual de calor apresentam em relação à tarefa trivial de adquirirmos um casaco apropriado para enfrentarmos uma estação com baixas temperaturas. Muito provavelmente, se chegássemos a uma loja e solicitássemos ao vendedor "um casaco feito de um bom isolante térmico, que evite a transferência de energia térmica do corpo para o ambiente", não teríamos o mesmo sucesso que, fazendo uso da linguagem cotidiana, lhe pedíssemos "um casaco quente de lã". (Mortimer; Scott; El-Hani, 2009; El-Hani; Mortimer, 2010). Esta é uma situação em que a forma não científica de pensar sobre o conceito de calor apresenta um valor pragmático na comunicação entre pessoas de formação não especializada diante de uma situação cotidiana. Conforme argumentam Amaral e Mortimer (2001, p. 6), o modo substancialista de falar sobre calor também é empregado de modo pragmático por engenheiros para resolver problemas relativos, por exemplo, ao isolamento térmico de uma sala de aula – neste caso, é atribuída ao

calor a qualidade de uma substância que se desloca no ambiente. Nos dois casos citados, o conceito substancialista de calor pode ser fundamental para que haja uma comunicação efetiva entre pessoas na resolução de problemas práticos.

No caso do conceito de adaptação, encontramos, basicamente, dois significados para o termo na linguagem cotidiana: (1) ajustamento de um organismo, mais freqüentemente, de um ser humano a condições circunstanciais novas; (2) a adequação de um utensílio, objeto, obra literária, teatral ou musical a um fim diverso daquele para o qual se destinava inicialmente (Ferreira, 1985, p. 40). Poderíamos dar os seguintes exemplos para o primeiro uso do termo: "Depois que mudei meu turno de trabalho, me adaptei a acordar cedo" ou "Preciso me adaptar a um novo hábito alimentar para conseguir perder peso". Exemplos para o segundo significado que pode ser atribuído ao termo incluem: "Os transportes públicos devem passar por uma adaptação para atender às demandas de cidadãos portadores de necessidades especiais" ou "O filme ao qual assistimos ontem é uma adaptação do livro de Chico Buarque".

O primeiro significado, além de ser usado no âmbito da linguagem social cotidiana, também está presente no discurso escolar a respeito da adaptação fisiológica. Poderíamos, em alguma medida, encontrar certa correspondência entre este significado e aquele que o conceito de adaptação apresenta na forma de pensar e falar da zona perspectiva transformacional. Esta correspondência residiria no fato de que, em ambos o caso, o termo se refere a um processo de mudança gradual de um organismo em direção a um melhor ajuste a uma circunstância ou à realização de uma meta. No entanto, há um limite nesta correspondência. No caso da forma de pensar da zona perspectiva transformacional, o termo se refere tanto à mudança em um organismo como à mudança que ocorre em uma espécie. A despeito de ser usado com freqüência na linguagem cotidiana para descrever processos de adequação e ajuste de organismos individuais a novas circunstâncias, este significado do conceito de adaptação não apresenta um valor pragmático para comunicar-se e resolver problemas cotidianos de igual monta àquele apresentado, por exemplo, pelas formas não-científicas de interpretar o conceito de calor.

Como podemos concluir dos exemplos de seu uso, os quais constam de qualquer dicionário da língua portuguesa, o termo 'adaptação', sua flexão verbal 'adaptar' e o termo derivado 'adaptador', quando empregados com este significado, apresentam considerável valor pragmático em práticas sociais relacionadas, por exemplo, aos campos da arquitetura, da engenharia e das artes.

Este segundo significado, a princípio, encontra alguma correspondência com a forma de pensar a adaptação caracterizada pela zona ajuste providencial, segundo a qual a adaptação é a propriedade de uma estrutura orgânica, um processo fisiológico ou um comportamento de encontrar-se ajustado à função ou, ainda, a propriedade de um organismo de estar ajustado ao papel que exerce na economia natural. No entanto, há uma distinção importante a fazer: o uso do termo *"adaptação"* na forma de pensar caracterizada na zona ajuste providencial se aplica a uma classe diferente de objetos daqueles aos quais o termo é aplicado na linguagem social cotidiana. No primeiro caso, o termo é aplicado a estruturas orgânicas, enquanto, no segundo caso, se aplica a artefatos humanos. Trata-se, portanto, da aplicação do termo não só para resolver problemas diferentes, mas também relativos a classes de objetos pertencentes a dois domínios ontológicos diferentes.

Estas observações aparentemente nos colocam alguns desafios: é o caso, então, de concluir que as formas não darwinistas de pensar o conceito de adaptação, caracterizadas nas zonas geneticamente anteriores à perspectiva variacional, não apresentam valor pragmático para lidar com problemas práticos da vida cotidiana? E, se for este o caso, este fato desafiaria o pressuposto da coexistência de diferentes perspectivas de significação de um conceito e, conseqüentemente, a base epistemológica pragmatista da abordagem dos perfis conceituais?

Examinando os dados relativos à análise discursiva de episódios de ensino realizada no capítulo anterior, encontramos uma possível resposta para estas questões: o valor pragmático das zonas anteriores à perspectiva variacional pode residir em suas aplicações como instrumentos de pensamento para a produção de novos significados no contexto escolar de aprendizagem do pensamento evolutivo darwinista. Chegamos a esta proposição ao constatarmos o papel que a construção de narrativas de caráter transformacional, ao longo das interações discursivas em sala de aula, exerceu na gênese de uma perspectiva evolutiva variacional a partir de perspectivas não evolutivas de interpretação da adaptação.

Ao longo das interações que tinham como foco a explicação para a diversificação da forma orgânica, foram produzidas, com freqüência, narrativas em que um organismo individual de uma espécie protagonizava uma mudança adaptativa. Por exemplo, narrativas em que certos pássaros modificavam seus bicos à medida que tentavam se alimentar de determinado tipo de semente, o qual não estavam aptos a explorar antes de um período de escassez de alimento. Estas narrativas eram estruturadas por compromissos epistemológicos próprios de uma perspectiva transformacional de interpretação da adaptação: (1) a idéia de que as mudanças filogenéticas podem ser explicadas pelo acúmulo de mudanças ontogenéticas, que ocorrem ao longo da vida do organismo individual, e (2) o pressuposto

essencialista de que todos os membros de uma espécie passam por mudanças orientadas numa mesma direção, rumo ao ajuste às condições ambientais. A produção destas narrativas disponibilizou no plano social da sala de aula, portanto, um modo de falar sobre a adaptação de natureza transformacional. A despeito deste fato, esta estratégia discursiva constituiu o primeiro passo para que os estudantes, que interpretavam a adaptação como uma propriedade dos organismos dada providencialmente, começassem a interpretar a adaptação de uma perspectiva evolutiva, ainda que não darwinista.

Como vimos no capítulo I, Mortimer, Scott e El-Hani (2009, p. 10) advertem que, quando o pragmatismo propõe que o conhecimento deve ser julgado, pelo menos em parte, em termos de sua utilidade, deve-se ter em vista que esta utilidade não se restringe apenas às aplicações práticas, mas abrange a extrema utilidade do conhecimento para outras coisas além destas aplicações, como, por exemplo, como "instrumento de pensamento" (Lotman, 1998, pp. 36-37 apud Wertsch, 1991, p.74). Portanto, ainda que seja o caso de as formas não darwinistas de pensar a adaptação, representadas nas zonas anteriores à perspectiva variacional, não apresentarem aplicações práticas na resolução de problemas cotidianos, a base pragmatista da abordagem dos perfis conceituais não será desafiada, caso seja possível sustentar o argumento de que estas zonas apresentam valor pragmático no contexto escolar da aprendizagem do pensamento darwinista, como instrumentos de pensamento para que os estudantes se apropriem do modo de pensar e falar sobre a adaptação característico da ciência escolar.

Nesta seção, pretendemos fortalecer este argumento a partir do exame do papel que três aspectos que caracterizam formas de pensar e modos de falar das zonas geneticamente anteriores à perspectiva variacional podem exercer no desenvolvimento do conceito darwinista da adaptação, ao longo das interações em sala de aula: a produção de narrativas de caráter transformacional, a construção do problema do design e o uso de uma linguagem teleológica.

Examinaremos estes três aspectos a partir de informações obtidas nos estudos epistemológicos acerca do desenvolvimento do pensamento darwinista, de dados da literatura em ensino de ciências e dos dados relativos às interações discursivas em sala de aula, apresentados no capítulo V.

6.2.1. O papel da construção de narrativas na significação do conceito darwinista de adaptação

Segundo Norris e colaboradores (2005), muitos pesquisadores da área de ensino de ciências, atraídos pelo presumido poder da narrativa como instrumento de comunicação e por seus potenciais efeitos educacionais positivos, têm argumentado a favor de um uso mais intensificado de narrativas na educação científica. Um exemplo emblemático desta posição é a proposição de Millar e Osborne (1998), em *Beyond 2000*, de que o ensino de ciências "faça maior uso de um dos modos de comunicação de idéias mais poderoso e persuasivo do mundo – o modo narrativo" (p. 2013).

Os argumentos mais persuasivos a favor do poder pedagógico das narrativas, na visão de Norris e colaboradores (2005, p, 554), dizem respeito ao privilégio que este gênero textual apresenta no sistema cognitivo. Eles argumentam que

> (...) narrativas são de fácil compreensão, porque os elementos mais básicos de uma narrativa são aspectos seminais de nossa experiência humana: Todos nós somos *agentes* com *propósitos* de algum tipo, cuja vida consiste, inevitavelmente, em uma série de *eventos* situados no *tempo*. (Norris et.al. 2005, p. 554, grifos no original).

De acordo com Norris e colaboradores (2005), grande parte das propostas implementadas dizem respeito ao uso de narrativas extrínsecas à ciência, àquelas que versam sobre a ciência e que, portanto, são externas ao seu corpo de conhecimento. No caso do nosso estudo, interessam-nos investigações acerca do uso de narrativas intrínsecas à ciência, aquelas através das quais fenômenos naturais são explicados, e que fazem parte do corpo de conhecimento da ciência. Além disso, desejamos compreender não apenas os efeitos meramente instrucionais, como o aumento de interesse e motivação, mas, mais especificamente, o papel que a construção destas narrativas pode desempenhar na significação da perspectiva da ciência escolar pelos estudantes e na apropriação da linguagem social da ciência.

Dados importantes sobre este possível papel das narrativas foram produzidos e analisados por Molina (2007), em uma investigação a respeito da relação entre processos analógicos e formação do pensamento científico, através da análise de desenhos de crianças de 8 a 13 anos sobre as funções dos espinhos de cactos. Nesta investigação, foi proposto às crianças que criassem desenhos para explicar as seguintes funções atribuídas por outras crianças aos espinhos dos cactos: (a) defender-se do homem e de outros animais; (b) defender-se do sol; (c) cobrir-se do sol; (d) coletar água; (e) guardar água.

Molina (2007, p. 98) observou que as crianças resolveram esta situação-problema recorrendo à construção de narrativas e ao uso de analogias, de modo a recuperar suas

experiências. Na metade dos desenhos (17 do total de 34), as crianças apresentaram situações fictícias, na forma de histórias, que apresentavam conteúdo estranho ao cotidiano e, nas quais, a estrutura do cacto era antropomorfizada. Foi comum, por exemplo, elas explicarem a função de defesa dos espinhos dos cactos através da analogia com confrontos humanos (ver figura 25). Em um número menor de desenhos (11), foram narradas situações realistas, nas quais ocorriam contingências cotidianas. Estas contingências eram criadas pelos estudantes como estratégia discursiva para explicar as atribuições funcionais aos espinhos dos cactos (ver figura 26). Por fim, apenas dois dos trinta e quatro desenhos, apresentaram uma solução realista que envolvia informações sobre lugares – sobre o ambiente em que vive o cacto –, ou a proposição de mecanismos através dos quais estruturas não visíveis do cacto – imaginadas pelos estudantes – exerciam sua função (ver figura 27).

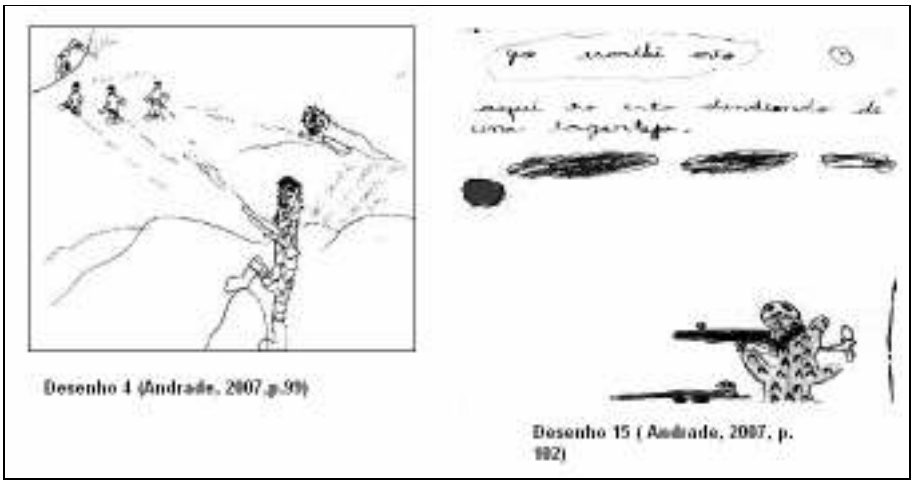


Figura 25 : Desenhos em que estudantes (8 a 13 anos) explicam a função dos espinhos de cactos recorrendo a histórias fictícias. A estrutura do cacto é antropomorfizada. Retirado de Molina (2007). Legenda do desenho 15: *"Eu escrevi isto: aqui se esta defendendo de uma lagartixa"*.

Figura 26: Desenho em que são narradas contingências cotidianas para explicar a função dos espinhos de cactos. Neste caso, o evento de a aranha subir no cacto faz com que seja ferida. Retirado de Molina (2007).

Figura 27: Desenhos em que a função dos espinhos de cactos é explicada apresentando-se informações sobre o ambiente (desenho 13) e/ou propondo-se um mecanismo de funcionamento (desenho 14). Legenda do desenho 14: *Os espinhos fazem uma cobertura e ficam ameaçadores quando o cacto sente o sol e quase se queima*. Retirado de Molina (2007).

Molina (2007) faz uma análise destes dados tendo como base nas previsões de Bruner e Haste (1990) sobre a importância do pensamento narrativo na elaboração de sentido a partir da recuperação da experiência cotidiana, a qual oferece marcos de referência para o aprendiz. Segundo ela, Bruner (1988) apresenta o pensamento narrativo e o pensamento paradigmático como duas maneiras diferentes de conhecer o mundo, dois modos de organizar a experiência e a realidade, que possuem princípios de funcionamento próprios e critérios de correção diferentes em seus processos de verificação. O aspecto analisado por este último autor que mais nos interessa é a proposição de que estes dois modos de pensamento podem ser usados para convencer um ao outro: o pensamento pragmático convence pelos argumentos, enquanto os relatos convencem pela sua semelhança com a vida.

A partir desta perspectiva, Molina faz a seguinte interpretação dos dados sumarizados acima: os autores dos desenhos que apresentaram situações fictícias e cotidianas para solucionar o problema recorreram ao pensamento narrativo para dar sentidos à experiência. Os autores dos desenhos realistas, por sua vez, se encontravam em uma etapa posterior, em que conseguiam elaborar uma solução através de uma linguagem mais próxima ao pensamento paragmático. Estes estudantes construíram seus argumentos mediante critérios lógicos e empíricos, propuseram um mecanismo para explicar o funcionamento da estrutura adaptativa do cacto e estabeleceram relações entre este funcionamento e os problemas impostos pelas condições ambientais. Para Molina, a freqüência baixa em que o pensamento pragmático apareceu, bem como as características dos desenhos em que este pensamento foi

empregado, permitem estabelecer a hipótese de que o pensamento narrativo se coloca sempre como uma exigência para a emergência do pensamento pragmático.

Os resultados de Molina nos fornecem importantes elementos para interpretar o papel das narrativas na significação do conceito darwinista de adaptação nos episódios de ensino analisados no capítulo V. A despeito de seu estudo ter sido realizado com estudantes de outra faixa etária e de não ter como base dados de sala de aula, ele nos apresenta dados relativos à resolução de um problema referente à adaptação, os quais sugerem possíveis etapas no desenvolvimento das formas de pensar e dos modos de falar dos estudantes a respeito deste fenômeno. Este desenvolvimento se iniciou com a construção de narrativas produzidas em linguagem cotidiana, as quais deram lugar a explicações que incorporavam alguns aspectos da linguagem social da ciência, a exemplo da busca por um mecanismo que explique como uma estrutura adaptativa exerce uma função, problema que foi posto aos estudantes.

As conclusões apresentadas por Molina são formuladas em termos muito próximos à tese que pretendemos defender nesta seção: "Aquilo que usualmente se tinha visto como negativo, permitiu enriquecer a idéia de pensamento infantil" (p. 105). A autora se refere ao papel desempenhado pelo uso de analogias, pela linguagem teleológica e pela antropomorfização, encontradas nas narrativas produzidas pelas crianças, no desenvolvimento do pensamento científico infantil. Estes aspectos próprios da linguagem social cotidiana foram considerados por educadores de ciências como aspectos que precisam ser superados na aprendizagem de ciências, para que os estudantes possam se apropriar da forma científica de pensar (Schwab, 1963; Jungwirth, 1975) Para Molina (2007), os dados de seu estudo sugerem, no entanto, que as crianças conseguem entrar no mundo da ciência, completamente desconhecido para elas, recorrendo ao pensamento narrativo e adotando analogias:

> Com sensações de calor, espinhos que parecem sombrinhas ou unhas, com cactos de aparência de guerreiros, com suas brincadeiras, suas histórias de heróis e lendas, as crianças iniciam seu processo de se instaurar no mundo da ciência, um mundo completamente desconhecido para eles. (Molina, 2007, p. 105- 106).

De modo análogo, queremos argumentar que alguns aspectos próprios das formas de pensar e dos modos de falar que constituem zonas do perfil conceitual geneticamente anteriores à perspectiva variacional, em lugar de impor, necessária ou exclusivamente, dificuldades para a aprendizagem, podem dispor sementes conceituais e se constituírem em instrumentos para que os estudantes se aproximem da linguagem social da ciência escolar, no caso, do modo darwinista de falar sobre adaptação.

Ao longo dos episódios de ensino que analisamos no capítulo V, a construção de narrativas, em que uma seqüência de eventos levava à mudança da forma orgânica, se

apresentou como um caminho para que a adaptação deixasse de ser significada como uma propriedade fixa, ou um estado de ser dos organismos de se encontrar ajustados às condições de vida – uma forma de pensar caracterizada pela zona ajuste providencial –, e passasse a ser interpretada como um processo evolutivo e, posteriormente, como um resultado deste processo. Inicialmente, estas narrativas foram produzidas a partir de um modo de falar próprio da zona "perspectiva transformacional".

As primeiras narrativas construídas pelos estudantes tinham como característica o fato de os organismos exercerem o papel de protagonistas de um processo de transformação que levava à adequação de suas estruturas morfológicas a novas condições ambientais. É compreensível que, em um primeiro momento, seja mais intuitivo e inteligível para os estudantes que a narrativa histórica de uma mudança adaptativa apresente um protagonista claro, que assuma o papel de agente. Organismos individuais preenchem mais facilmente os requisitos para exercerem tal papel.

Outra característica das primeiras narrativas elaboradas pelos estudantes é o fato de apresentarem uma seqüência muito pobre de eventos. Inicialmente, estas narrativas eram reduzidas a dois eventos, a migração de um grupo de organismos para um novo ambiente e a adaptação destes organismos às novas condições de vida (ver Figura 10, p. 235). Nestes casos, o termo 'adaptação' significava um fenômeno que explicaria, por si só, a diversificação da forma orgânica, ou seja, a adaptação era tomada como um princípio auto-explicativo. Estas narrativas eram produzidas em uma linguagem teleológica, sendo freqüente o uso da expressão *"teve de se adaptar para"*.

Ao longo da seqüência didática analisada, no entanto, estratégias enunciativas da professora levaram a um deslocamento do agente das narrativas construídas pelos estudantes. Ao propor desafios e fornecer apoios aos estudantes na elaboração de narrativas, nos episódios 2.1 e 2.3, a professora procurou deslocar este papel para as populações de organismos (ver Figuras 11 e 13, p. 237 e 251). No episódio 2.4, a professora deslocou este papel para os fatores ambientais, introduzindo um modo de falar próprio de uma perspectiva variacional externalista de interpretação do processo evolutivo. E finalmente, no decorrer dos episódios 5.1 e 5.2, a professora, de modo não interativo, enunciou narrativas em que não havia agentes claros, mas uma cadeia de eventos que levavam à mudança evolutiva de populações de organismos.

Outro movimento discursivo realizado pela professora consistiu em sugerir a alteração da ordem de eventos e a inserção de outros eventos entre o evento inicial de migração dos organismos, ou de mudança das condições ambientais, e o evento final de adaptação dos

organismos às novas condições de vida. Estes novos eventos diziam respeito, por exemplo, a mudanças na disponibilidade de recursos e mudanças no comportamento dos organismos ou das populações frente a situações em que os recursos se tornavam limitados, a exemplo de mudanças no sucesso reprodutivo de grupos de organismos e mudanças demográficas (ver Figura 13, p. 251).

A partir destes movimentos discursivos em torno da produção de narrativas pelos estudantes, em interação com a professora, o modo darwinista de falar sobre adaptação foi sendo elaborado em sala de aula. As mudanças nos modos de pensar e de falar sobre adaptação ao longo da seqüência didática e a importância da produção de narrativas neste processo podem ser evidenciadas através da análise das etapas da elaboração conceitual vivenciadas pelo estudante 2, sumarizadas no Quadro 26.

Quadro 26: Elaboração conceitual desenvolvida pelo estudante 2

ETAPAS DE ELABORAÇÃO CONCEITUAL		EXEMPLOS DE ENUNCIADOS
1. Explica a diversidade orgânica com base no princípio da economia natural		*Porque um precisa do outro para viver/ professora.*
2. Constrói narrativa transformacional	Agência da narrativa: Organismo	*Do continente* [o ancestral comum] *foi lá para as ilhas e acabou se adaptando lá.*
	Agência da narrativa: População	*Ela* [a população de pássaros] *vai tentar comer aquele alimento duro mesmo/ E isso vem as modificações do bico.*
3. Constrói narrativa variacional	- População sofre mudança - Uso de linguagem cotidiana (formulações antropomórficas)	*O besourinho vermelho é mais forte/ foi dada a primeira aplicação do inseticida/ então morreu quase a população toda do/ dos verdes/ (....)Então ele vai fazer um negócio/ ele vai se entrosar com esse/ vai conversar direitinho (risos)/ e vai conseguir ter filhotes. E esses filhotes podem nascer verde ou vermelho/ (....) Então/ no que nasceu filho verde/ morreu de novo. (....)Resistiu o que nasceu vermelho. (...) E começou/ aí agora/ vermelho com vermelho/ e de novo vermelho com vermelho/ nasceu mais vermelho/ e tá aqui hoje.*
	- Organismos sofrem seleção -Uso da linguagem da ciência escolar	*É que os organismos de uma mesma população têm variações diferentes entre eles, algumas mais fracas e outras mais fortes, podendo sofrer uma seleção natural para então se adaptar a um novo ambiente.*

Na primeira aula, o estudante 2 explicou a diversidade orgânica a partir de uma perspectiva providencial de interpretação da adaptação, apoiada no princípio de economia natural: a idéia de que a diversidade orgânica pode ser explicada pelo fato de que cada ser vivo tem uma função a cumprir em relação a outros seres vivos com os quais se relaciona. A ênfase recaia sobre a idéia de que cada espécie precisa da outra para viver, dentro de uma ordem estável e harmônica do mundo natural.

Na segunda aula, diante de um novo contexto discursivo em que professora e estudantes analisaram um caso específico de diversificação orgânica, para o qual foram apresentados dados biogeográficos, e no qual a professora usou de recursos fraseológicos que sugeriam a ocorrência de uma seqüência de eventos, o estudante 2 se engajou num processo de construção de narrativas, em interações com a estudante 1 e com a professora, para explicar a diversificação dos bicos dos tentilhões das Galápagos (episódio 2.1). Como podemos ver no Quadro 26, estas narrativas, inicialmente, têm o organismo como um agente claro da mudança evolutiva.

Este papel de agente, logo em seguida, foi deslocado para a população de organismos. Outra distinção importante é a de que, nestas novas versões da narrativa, a população de organismos protagoniza apenas a ação de tentar mobilizar os recursos alimentares disponíveis, em decorrência da nova condição ambiental à qual está submetida. No entanto, a população não é claramente apontada como agente do evento de adaptação, ou seja, da suposta mudança morfológica do bico. Esta mudança é apresentada como um evento que ocorre sem um agente claro que o protagoniza: *E isso vem as modificações do bico* (ver figura11, capítulo V).

Este estudante participou efetivamente da produção de narrativas apenas na segunda aula, sendo que as narrativas estavam vinculadas, como discutido acima, a uma perspectiva transformacional de interpretação da adaptação. Durante as demais aulas, o estudante 2 não produziu ou participou da produção de narrativas – papel assumido mais frequentemente pela estudante 1 e pela própria professora –m mas se manteve engajado ativamente, propondo mecanismos explicativos e verificando idéias com a professora e com os colegas. Então, nNa sétima e última aula da seqüência didática, ele desenvolveu uma narrativa variacional para explicar a resistência de pragas agrícolas a inseticidas, no contexto de uma discussão em pequeno grupo, no momento em que a professora e a pesquisadora estavam interagindo com os estudantes deste grupo. A despeito dos apoios dados pela professora e pela pesquisadora, foi o estudante 2 quem escolheu os eventos importantes a serem narrados e a seqüência em que deveriam ser contados, assim como o tipo de agência.

Os personagens da narrativa foram besouros verdes, besouros vermelhos e seus filhotes. Ao longo da narrativa, estes personagens tanto protagonizavam como sofriam ações. As ações deliberadas dos besouros eram referentes ao acasalamento e à reprodução. Os besouros não protagonizaram nenhuma ação que levasse à mudança de seu fenótipo ou da distribuição de fenótipos da população. Nesta narrativa, a população tampouco era agente de ações, ao contrário, ela sofria a mudança evolutiva, neste caso, uma mudança na freqüência das variantes nela existentes. Em um primeiro momento, a população era composta de besouros verdes e vermelhos em proporções semelhantes, enquanto, ao final do processo evolutivo, passou a ser composta predominantemente por besouros vermelhos.

Ao construir esta narrativa, o estudante recorreu a formulações antropomórficas, quando descreveu o evento de cruzamento dos besouros sobreviventes à aplicação do antibiótico. Foram atribuídos aos besouros comportamentos humanos, mais especificamente, no modo como cortejavam os parceiros.

Um dado interessante é que este estudante, assim como os demais, foi solicitado a transcrever esta narrativa, construída em interação com colegas e professora, em uma narrativa escrita, na qual deveria utilizar os termos *"organismo"*, *"população", "variação", "adaptação"* e *"seleção natural"*. Em resposta a esta atividade, o estudante produziu a seguinte narrativa:

> *É que os organismos de uma mesma população têm variações diferentes entre eles, algumas mais fracas e outras mais fortes, podendo sofrer uma seleção natural para então se adaptar a um novo ambiente.*

Embora os organismos sejam apresentados como agentes do último evento - "se adaptar a um novo ambiente" –, no evento anterior, eles figuram como entidades que sofrem uma ação, "podendo sofrer seleção natural". Esta narrativa se encontra estruturada com base em alguns compromissos epistemológicos próprios da perspectiva variacional de pensar a adaptação. Claramente, as noções de variação intrapopulacional e eficiência diferencial das variantes fenotípicas são reconhecidas como premissas para explicar a mudança adaptativa. A adaptação é significada a partir de uma visão retrospectiva, concebida como um resultado de uma história passada de seleção natural. Contudo, um dos aspectos mais importantes é que, ao transcrever a narrativa que produziu oralmente, e tendo à disposição os termos da ciência, o estudante 2 conseguiu sistematizar a narrativa anterior, empregando uma linguagem mais próxima da linguagem social da ciência.

No nosso entendimento, o processo de elaboração conceitual do estudante 2 apresenta evidências que corroboram a defesa de Molina (2007), bem como de outros autores em que

ela se apóia (Bruner; Haste, 1990; Tamir; Zohar, 1991; Zohar e Ginossar, 1998), de que o pensamento narrativo, assim como o uso de uma linguagem teleológica e do recurso à personificação e antropomorfização como fonte de analogias para pensar fenômenos biológicos, devem ser avaliados de maneira mais positiva, dado o papel que exercem na aproximação dos estudantes à linguagem científica, ao permitir a elaboração de sentidos para as experiências de aprendizagem, que podem, então, ser posteriormente organizados e especializados.

De fato, como vimos acima, o uso da narrativa foi fundamental ao longo de todo o processo de desenvolvimento, pelo estudante 2, de uma perspectiva darwinista de interpretação da adaptação. Foi empregando o pensamento narrativo e fazendo uso de uma linguagem teleológica e antropomórfica que o estudante foi gradualmente atribuindo sentido ao discurso da ciência escolar, até que conseguiu se apropriar do significado que alguns dos termos fundamentais na explicação darwinista.

6.2.2. O papel da construção do problema do design na significação do conceito darwinista de adaptação

Tem sido proposto por filósofos e biólogos evolutivos que, em sua construção por Darwin, a teoria da seleção natural foi fundada na premissa do *design*, herdada da teologia natural de Paley (Amundson, 1996; Godfrey-Smith, 1999; Ruse, 2002; Ayala, 2009). Darwin teria aceitado o problema do *design* nos termos da teologia natural: Como explicar o intrigante fato de os organismos se encontrarem funcionalmente organizados de maneira tal que aparentam terem sido projetados para seu modo de vida? O ponto distintivo, no entanto, reside na natureza da resposta darwinista a este problema. Darwin procurou explicar o *design* aparente dos organismos a partir de uma perspectiva naturalista, propondo o mecanismo da seleção natural, em lugar de explicá-lo aludindo à intervenção direta de um Deus de intenções benevolentes e criações inteligentes (ou qualquer outra forma de *designer* inteligente), como propunha a teologia natural britânica do século XVIII e XIX.

De acordo com Ruse (2002), ao contrário da seleção natural, que teve de esperar um longo período para que fosse aceita como um mecanismo completamente adequado e satisfatório, a premissa do *design* foi amplamente compartilhada entre os evolucionistas. Assim, foi sendo gradualmente aceito que o *design* aparente do mundo orgânico era uma conseqüência do mecanismo darwinista da seleção natural, sendo esta uma noção que tem permanecido central para a biologia evolutiva até os dias de hoje. Citando Niles Eldredge, Caponi (2003) compartilha da interpretação de que a concordância em torno da idéia de

design – explicado de modo naturalista – é tão válida para os darwinistas atuais, como o foi para o darwinismo do século XIX:

> Podemos, contudo, concordar com Niles Eldredge (1995, p. 184) de que se existem duas coisas que não se discute entre os evolucionistas, são elas, a idéia de que há um desenho na natureza e a tese de que é a seleção natural que efetua esse ajuste estreito entre os organismos e o ambiente. Sendo que isto é tão válido para o darwinismo heróico do século XIX como para o atual (Caponi, 2003, p. 994)

Portanto, de uma perspectiva epistemológica, pode-se considerar que um dos primeiros passos para o desenvolvimento do conceito darwinista de adaptação foi a construção do problema do *design*, interpretado como o problema de explicar como estruturas ou padrões de comportamento foram moldados de modo a se constituírem em soluções para os problemas impostos pelo ambiente aos organismos.

Nossos dados empíricos apontam que alguns estudantes sequer consideram características adaptativas, a exemplo da cor e forma camufladas de insetos, como fenômenos instigantes, que mereçam explicações. Estes dados sugerem que a relação entre forma e função, ou entre organização estrutural e condições de vida, não é percebida de modo trivial. Portanto, esta percepção precisa ser construída. Esta demanda também foi reconhecida por Ash (2008), quando propôs que, a partir de investigações acerca de hábitos alimentares, estratégias reprodutivas e de defesa apresentados por diferentes espécies de animais, bem como do desenvolvimento de um raciocínio forma/função, os estudantes fossem levados a reconhecer que adaptações estruturais e comportamentais não são casos particulares associados a uma espécie ou um habitat específico, mas se constituem em um padrão na natureza. Ash denominou tal reconhecimento 'princípio biológico da adaptação'. (ver capítulo I, seção, 2.2.)

Levando em conta estes argumentos, propomos que a ênfase na relação funcional entre estrutura e condições de vida, um dos componentes do problema do *design*, e um dos compromissos ontológicos da zona ajuste providencial, quando negociado nas interações discursivas em sala de aula, pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento do conceito de adaptação. A construção do problema do *design* pode vir a ser uma estratégia discursiva produtiva, especialmente, em situações em que estudantes sequer se interessam pela adaptação como um fenômeno instigante, a ser explicado.

Este parece ter sido o caso no processo de mudança de ponto de vista do estudante 3, entre a primeira e segunda aulas da seqüência didática analisada no capítulo precedente. Na primeira aula, este estudante apresentou uma postura negativa em relação à proposta da

professora de discutir possíveis explicações para a existência de diversidade entre os organismos vivos, deixando a entender, através de uma brincadeira satírica, que considerava este fato como algo dado, que não demanda explicação, assim como outros fenômenos observados na natureza, como a cor do céu, do mar e a necessidade de os seres vivos beberem água (episódio 1.1, p. 220). Na aula seguinte, após ter sido explorado um caso específico de diversificação – a origem das treze espécies de tentilhões que habitam as ilhas Galápagos –, o estudante 3 mudou de postura e se engajou nas interações discursivas através das quais estudantes e professora buscavam explicações possíveis para o fenômeno (episódio 2.1, p. 231 e 232). É importante destacar que, no início desta aula, além de fornecer informações a respeito da distribuição geográfica das espécies de tentilhões no arquipélago e da diversidade de condições ambientais encontradas em cada ilha, a professora tratou da relação funcional entre a morfologia dos bicos, os tipos de recursos alimentares consumidos por cada espécie e as estratégias empregadas para explorá-los.

Durante este episódio de ensino (2.1), o estudante 3 propôs uma explicação para a diversidade de bicos dos tentilhões das Galápagos, produzindo um enunciado que apresentava uma marca lingüística própria da perspectiva do ajuste providencial, a saber, o uso do termo *"de acordo*" para estabelecer uma relação de adequação necessária entre a estrutura morfológica, o bico, e a realização de uma atividade vital do organismo, a exploração de um recurso alimentar:

5. **Professora:** E? / Tá. Mais alguém? Diga/ estudante 3. Como é que você explica a diferença nesses bicos?
6. **Estudante 3:** De acordo com o/ tipo de alimentação que eles usavam para sobreviver e de acordo com habitat dele.

É preciso reconhecer, no entanto, que outros compromissos ontológicos que estruturam a forma de pensar da zona ajuste providencial têm de ser ressignificados para que o problema darwinista da adaptação seja construído. O primeiro deles diz respeito ao princípio de economia natural. O apego a este princípio dificulta o desenvolvimento da noção de luta pela sobrevivência, que é fundamental para que o problema do *design* seja interpretado a partir de uma perspectiva darwinista. Desta perspectiva, o *design* não é visto como a solução em absoluto para um problema ideal, mas como a melhor solução – entre as variantes disponíveis – para o enfrentamento de problemas reais, os quais estão sempre em mudança, em vista das transformações do ambiente.

Quando o darwinismo se refere à adaptação como a **melhor** solução para o problema imposto pelas condições ambientais, está pressupondo a existência de alternativas viáveis e

reais, bem como de situações ambientais concretas, sujeitas a transformações dinâmicas. Para que esta concepção de design como a "melhor solução entre outrsa possíveis" se desenvolva é preciso que sejam assumidos dois pressupostos: (1) nas populações naturais, que se reproduzem sexualmente, os indívíduos não são idênticos, mas variam em muitas características; (2) algumas destas características provêm vantagens aos indivíduos que as possuem em relação a outros numa situação ambiental partícular, aumentando as suas chances de sobrevivência e reprodução. Portanto, um segundo compromisso próprio da zona ajuste providencial que precisa ser ressignificado diz respeito ao pensamento essencialista, segundo o qual as espécies são vistas como classes constantes (tipos) de organismos. Por fim, para que a resposta darwinista ao problema do *design* possa ser desenvolvida, é preciso que seja especificada a história causal por trás da prevalência de um determinado *design*, em relação a outros *designs* alternativos.

Como analisa Burian (2005), o conceito de adaptação relativa de Darwin demanda não apenas o reconhecimento e a investigação da adequação do *design* a um problema particular, como também a investigação do processo pelo qual este *design* foi produzido. A noção de que há uma relação entre forma e função, própria da forma de pensar da zona ajuste providencial, é uma semente para o desenvolvimento apenas do primeiro requisito apontado por Burian. Uma das vias para o desenvolvimento do segundo requisito, como vimos na seção anterior (6.2.1), pode vir a ser a construção de narrativas pelos estudantes para explicar processos de mudanças adaptativas e diversificação da forma orgânica.

Analisando como o problema do *design* tem sido ressignificado no seio da biologia evolutiva, em conseqüência das controvérsias atuais sobre a relação entre função e *design* (Buller, 2002) e das críticas ao programa adaptacionista (Godfrey-Smith, 1999; 2001), podemos encontrar em um dos compromissos epistemológicos que estruturam a zona do funcionalismo intra-orgânico, a teleologia intra-orgânica, uma semente para o desenvolvimento de um conceito de design *natural* mais condizente com uma perspectiva crítica à abordagem adaptacionista da origem da forma orgânica.

Há dois tipos de abordagens do problema do *design* na biologia evolutiva, ambas compatíveis com a noção darwinista de que o *design* é produto da operação da seleção natural. Segundo o exame de Buller (2002. p. 223), é possível distinguir a abordagem do *design* centrada no traço – denominação dada por este autor para a definição de *design* natural proposta por Allen e Bekoff (Allen e Bekoff, 1995) – e o design centrado no organismo, abordagem por ele próprio defendida.

A primeira abordagem tem origem em um dos objetivos explanatórios da teoria da evolução por seleção natural, o de explicar como surgiram "os órgãos com perfeição extrema" (Buller, 2002, p. 234). Segundo esta abordagem, o *design* é visto em primeira instância como uma propriedade do traço, ou seja, de uma característica estrutural ou um comportamento de um organismo. O modo de investigar o *design* natural a partir desta abordagem é especificar as condições sob as quais é possível dizer que um traço foi moldado para uma determinada função. Tais condições serão especificadas em termos de uma história particular de seleção natural agindo diretamente sobre um traço do organismo, independentemente de como este traço se ajusta à estrutura do organismo como um todo (Buller, 2002, p. 234).

A abordagem do *design* centrado no traço, tal como descrita por Buller, compartilha dos seguintes compromissos epistemológicos e ontológicos da abordagem adaptacionista da origem da forma orgânica: a crença no poder da seleção natural como agente de otimização, a tendência de entender a natureza da solução adaptativa a partir de uma perspectiva otimizadora, e o procedimento metodológico de repartir os organismos em características unitárias e propor uma história adaptativa para cada uma delas, consideradas separadamente. Tal procedimento metodológico constitui um dos principais focos do ataque de Gould e Lewontin (1979) ao programa adaptacionista.

De acordo com a segunda abordagem, centrada no organismo, o *design* é concebido como uma propriedade do organismo como um todo. Neste caso, o objetivo explanatório da teoria da evolução por seleção natural é explicar a origem de organismos complexos, que exibem "interdependência funcional das partes" e adaptabilidade como um todo em relação ao ambiente (Buller, 2002, p. 234). Para Buller, responder a esta questão foi um dos maiores triunfos do princípio da seleção natural de Darwin, em relação ao argumento do desígnio de Paley.

Deste segundo ponto de vista, os traços são vistos como "componentes do *design*" (Lauder, 1996, p. 56). Buller argumenta que, visto desta maneira, o problema do *design* não implica a necessidade de que a seleção natural tenha atuado diretamente sobre o traço para que ele se encontre moldado (*designed*) para sua função e, *ipso facto*, não é necessário que um traço tenha sido modificado pela seleção natural para desempenhar sua função. É suficiente, simplesmente, que ele contribua para o *design* do organismo como um todo.

Esta condição, no entanto, não é trivial de se alcançar. É preciso ter em conta que o traço se encontra embebido em um sistema hierárquico, de tal maneira que sofre restrições tanto de subsistemas, num nível inferior, quanto de sistemas mais inclusivos, num nível superior. Assim, para que um traço possa ser um item funcional que contribua para a

realização de alguma capacidade do sistema como um todo, ele precisa satisfazer um conjunto de propriedades altamente específicas, que lhe permitam ocupar um determinado *locus* no sistema. Da perspectiva do *design* centrada no organismo, quando um traço apresenta tal conjunto de propriedades e efetivamente interage com outros componentes do sistema de modo a satisfazer as restrições de *design* decorrentes do *locus* que ocupa, pode-se dizer que, em um sentido forte, ele se encontra moldado para (*designed for*) seu papel dentro do sistema. E tal condição pode ser alcançada, no entanto, sem que este traço tenha sido diretamente modificado para melhor exercer a função que lhe é requerida (Buller, 2002, p. 237).

Na abordagem do *design* proposta por Buller, o papel atribuído à seleção natural é o de moldar as condições que as partes de um organismo devem satisfazer de modo a auxiliá-lo a responder às demandas ambientais. Essas condições, por sua vez, decorrem de como a seleção molda o organismo como um todo para responder a certos problemas adaptativos (Buller, 2002, p. 238), e não de como ela molda diretamente cada uma das estruturas funcionais hoje encontradas no organismo. Estamos diante, portanto, de uma abordagem do *design* compatível com uma abordagem mais pluralista da origem da forma orgânica, em que o poder explicativo da seleção natural no processo evolutivo é relativizado, em prol de outros fatores evolutivos, a exemplo das restrições físicas, do desenvolvimento, ou daquelas impostas pela história filogenética do grupo.

A análise funcional de como cada um dos componentes de um sistema pode interagir de modo causal com outros componentes, contribuindo para alguma capacidade do sistema como um todo, é um dos caminhos para a construção do problema do *design* sob a ótica da abordagem centrada no organismo (Buller, 2002). Este tipo de análise caracteriza, em certa medida, a forma de pensar o conceito de adaptação representada na zona do funcionalismo intra-orgânico, podendo estar estruturada em termos de uma teleologia intra-orgânica, o compromisso epistemológico de explicar a existência das estruturas em virtude de seu papel causal na preservação de uma economia interna do organismo (Caponi, 2002, p. 59). Vários estudantes por nós investigados realizaram uma análise semelhante a esta em resposta ao cenário das mandíbulas dos mamíferos (cenário 1 do questionári, ver Apêndice 2).

Para que análises como estas possam vir a compor uma explicação darwinista da adaptação, seria preciso que os estudantes considerassem o fato de que o sistema hierarquicamente articulado teria prevalecido em virtude de seu *design* como um todo, e não do papel de cada traço, considerado separadamente. É este sistema como um todo que pode apresentar maior eficiência do que outro sistema no enfrentamento de problemas ambientais reais. Alguns estudantes que investigamos chegaram a ensaiar o desenvolvimento de

explicações desta natureza nos questionários, ainda que sem a elaboração conceitual esperada, no que diz respeito à reflexão sobre as restrições impostas às partes do sistema em função de sua integração com o todo, bem como à clareza acerca do papel exercido pela seleção natural na origem do *design* do sistema:

> *A variação no formato da mandíbula, no formato e disposição dos dentes nos diferentes grupos animais mamíferos pode ser analisada tomando como base a função exercida por cada um já que os grupos apresentam diferentes formas de obter e processar seu alimento ou presa, sendo que os carnívoros possuem dentes frontais e afiados para facilitar a captura da presa (associado ao processo dilacerador), nos herbívoros a disposição dos dentes facilita a chegada do vegetal aos dentes mastigadores (disposto externamente), já nos onívoros a dentição em forma de arco permite a dupla função – carnívora e herbívora. Estas diferentes formas são prováveis que tenham surgido de variações de grupos originais, de ambientes e formas de explorá-los, onde por um processo adaptativo foram se estabelecendo de acordo com a função.* (resposta dada à questão 1 do questionário por estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).

Procuramos argumentar nesta seção que alguns compromissos ontológicos e epistemológicos das zonas funcionalismo intra-orgânico e ajuste providencial – a teleologia intra-orgânica e a ênfase na relação entre estrutura e função, respectivamente – podem apresentar um valor pragmático como instrumentos de pensamento no processo de aprendizagem de uma perspectiva darwinista de compreensão do conceito de adaptação.

A ênfase na relação entre forma e função é uma semente para a construção do problema do *design*, do qual o conceito darwinista de adaptação pretende dar conta. A teleologia intra-orgânica, por sua vez, direciona a atenção dos estudantes para a integração funcional das partes que compõem um sistema orgânico, favorecendo uma compreensão problema do *design* próxima à abordagem centrada no organismo proposta por Buller (2002), a qual, por sua vez, favorece o desenvolvimento de uma abordagem pluralista do processo evolutivo. Esta última, no entanto, não é considerada por nós como um objetivo a ser alcançado, necessariamente, no ensino médio, mas a ser alcançado na formação de biólogos e professores de biologia no ensino superior.

6.2.3. O uso da linguagem teleológica na significação do conceito darwinista de adaptação

Como foi analisado na primeira seção deste capítulo, o uso de uma linguagem teleológica é uma das características dos modos de falar próprios das zonas ajuste providencial e perspectiva transformacional. Sendo que no caso desta última, é comum

também o uso do recurso à personificação ou antropomorfização como analogia para pensar e falar sobre a origem e diversificação da forma orgânica.

Os resultados dos estudos em concepções alternativas e mudança conceitual analisados no capítulo II, por sua vez, nos mostram que frequentemente os estudantes iniciam o processo de significação do conceito de adaptação a partir da noção de que a diversificação da forma orgânica é dirigida pela necessidade, e ainda que, com freqüência, as primeiras explicações para a existência das adaptações construídas por estes estudantes consistem em formulações teleológicas, que podem ou não incluir formulações antropomórficas. Tanto nestes estudos, quanto em a nossa análise de interações discursivas em sala de aula, observou-se que mesmo os estudantes que desenvolvem uma perspectiva darwinista de interpretar adaptação, a partir da negociação da idéia de necessidade em favor de algum mecanismo causal que possa explicar como se processa a mudança adaptativa, continuam empregando, em alguma medida, formulações teleológicas e mesmo antropomórficas para explicá-la.

Este fato pode ser visto como um indício de que a aquisição de uma nova forma de pensar nem sempre vem acompanhada da apropriação de uma novo modo de falar. Provavelmente, esta apropriação é mais demorada. Contudo, visto a partir de outra perspectiva, estes resultados também podem ser interpretados como uma evidência de que o uso da linguagem teleológica não constitui propriamente um obstáculo ou uma dificuldade para o desenvolvimento de uma perspectiva variacional de significar adaptação. Ao contrário, é possível que possa cumprir um papel positivo em uma primeira etapa de aproximação dos estudantes à perspectiva da ciência escolar, como sugerido no estudo de Molina (2007), descrito na seção 6.2.1. acima.

Nesta seção pretendemos argumentar que o uso da linguagem teleológica apresenta um valor heurístico e pedagógico na significação das explicações darwinistas para a origem e diversificação da forma orgânica, desde que fique claro o seu caráter metafórico e/ou instrumental. O valor heurístico reside no fato de a linguagem teleológica permitir que os estudantes se aproximem dos fenômenos biológicos, especificamente do fenômeno da adaptação tal como é reconhecido no pensamento darwinista, e em possibilitar que professores e estudantes se comuniquem a respeito destes fenômenos em sala de aula. O valor pedagógico, por sua vez, diz respeito ao fato de que ao se permitir que estas formulações surjam, cria-se oportunidades para discutir seu significado e deste modo auxiliar em uma melhor compreensão do pensamento científico. Pretendemos defender estas proposições a partir de três estratégias: (1) discutindo argumentos da filosofia da biologia de que a linguagem teleológica permeia a biologia evolutiva, e de que há um modo de empregá-la que

não só é apropriado como cumpre um papel heurístico neste campo do conhecimento (Ruse, 2002; Caponi, 2003); (2) discutindo argumentos da literatura em ensino e aprendizagem de ciências que defendem a adoção de uma visão mais positiva em relação ao uso de formulações teleológicas e antropomórficas na sala de aula de ciências (Molina, 2007; Zohar e Ginnossars, 1998; Tamir e Zohar, 1991); (3) discutindo nossos dados produzidos a partir da análise de interações discursivas em situações de ensino de evolução, incluindo a análise que apresentamos no capítulo precedente.

Como já comentamos no capítulo II, não há um consenso na filosofia da biologia em torno da questão da legitimidade ou não do uso de explicações teleológicas (Mayr, 1988) e de seu estatuto como explicação causal na Biologia. De um lado muitos filósofos rejeitam o uso de formulações teleológicas na biologia, sob o argumento de que as mesmas implicariam conflitos com a causalidade fisico-química. De outro, muitos filósofos e biólogos (*e.g.*, Taylor 1964; Wright [1973]1998; Mayr 1982, 1988) têm afirmado que a eliminação da linguagem teleológica das proposições acerca de um número significativo de processos biológicos levaria a uma grande perda no conteúdo de tais proposições e, conseqüentemente, na análise dos respectivos processos.

Esta polêmica apresenta uma versão específica no campo da biologia evolutiva. Há aqueles que defendem que a grande contribuição do darwinismo foi prover a biologia de uma explicação não-teleológica da adaptação (Ghiselin, 1969; 1994), enquanto outros argumentam que a explicação darwinista da adaptação apresenta um caráter teleológico (Ayala, 1999; Brandon, 1990; Ruse, 2002; Caponi, 2003), o qual não implica na noção de ação deliberada de um artífice divino ou na idéia de uma meta transcendente que impulsione a evolução (Caponi, 2003), nem tão pouco apela a causalidades retroativas (Brandon, 1990; Ruse, 2002), mas a torna uma explicação distinta das explicações mecanicistas da física (Caponi, 2003; Ruse, 2002).

Certamente, esta é uma descrição muito rasa deste debate, o qual mereceria uma análise mais aprofundada, entre outros aspectos, sobre o significado que estes autores atribuem à teleologia em seus argumentos. No entanto, este não é o foco de nosso trabalho. Para efeito do argumento que queremos desenvolver a respeito do valor heurístico do uso da linguagem teleológica no ensino de evolução, exploraremos aqui a defesa de Ruse (2002) de que a biologia evolutiva é permeada pela linguagem e pensamento teleológicos, e que esta teleologia não constitui um sinal de fraqueza. Ao contrário, Ruse (2002) propõe que a linguagem e o pensamento teleológicos são poderosos para o enfrentamento dos problemas

que a biologia evolutiva se propõe a responder, os quais são diferentes daqueles das ciências físicas.

Ruse (2002) inicia sua análise acerca do uso da linguagem e do pensamento teleológico na biologia evolutiva, fazendo uma análise conceitual acerca de tipos de explicações teleológicas no âmbito da vida humana. O autor identifica três contextos em que a linguagem teleológica é utilizada neste âmbito: (1) na descrição ou análise da intencionalidade humana; (2) na manufatura de artefatos humanos; (3) e na descrição da história. Para efeitos do nosso argumento, apresentaremos o exame de Ruse (2002) acerca dos dois primeiros contextos.

O primeiro deles diz respeito à intencionalidade e subseqüentes ações humanas, que têm lugar na medida em que os seres humanos lutam para alcançar metas que lhes são postas ou as que almejam. Ruse (2002, p.34) nos dá o exemplo de um estudante que tem o desejo de ser professor de fiolosofia. Tendo se dado conta de que para obter este cargo é necessário ter o grau de Ph.D., o estudante pleiteia uma vaga para um curso desta natureza na universidade. Caso seja considerado qualificado, o estudante é aceito, faz o curso, os exames, e a tese e obtém o grau de Ph.D. Ruse (2002) considera que este exemplo ilustra uma situação teleológica na medida em que o comportamento do estudante, atual ou passado, é guiado, ou foi guiado, por uma meta futura de obter o grau de Ph.D. Dito deste modo, pode-se incorrer no problema de que, então, um evento no futuro, ganhar o grau de Ph.D. é considerado a causa de um evento atual ou passado, pleitear uma vaga em uma instituição universitária para realizar pós-doutorado. Segundo o argumento de Ruse (2002, p. 35), este problema – inexistente em uma causação regular – pode ser evitado, no entanto, se tivermos em mente que o comportamento do estudante em pleitear a vaga e realizar o curso é afetado pelas suas intenções e crenças atuais ou passadas de obter o grau de Ph.D. e, assim, poder vir a ser professor de filosofia. Neste caso, não se está propondo que o comportamento atual ou passado do estudante é causado pelo evento futuro de obter sucesso nestas metas.

O segundo tipo de teleologia humana diz respeito à função ou design que é concebido quando da criação ou manufatura de um artefato. Novamente, Ruse (2002, p. 35) nos propõe um exemplo: Tem-se um pão fresco e se deseja cortá-lo. Uma faca normal não parece realizar esta tarefa bem, pois, embora afiada, esbagaça o pão. Foi feita, então, uma faca com serras, e observou-se que esta sim realizava a tarefa a contento. Temos, então, um objeto produto de um design, o qual foi projetado para cortar o pão satisfatoriamente. Desejávamos como resultado final uma boa fatia de pão e para tanto, fizemos uma faca com extremidade serreada com a finalidade de obter este resultado final. De novo, tem-se uma explicação teleológica: a

faca manufaturada no presente ou no passado é explicada em termos de seus efeitos futuros. Ruse (2002, p. 35) argumenta que, uma vez que esta formulação é parasitária da anterior, ou seja, da intencionalidade humana, pode-se evitar o problema da causação reversa e da meta não realizada, do mesmo modo: a faca foi moldada para cortar o pão, mas mesmo que o pão não seja cortado a contento, continuará sendo o caso de que a minha intenção passada é que foi a causa da criação da faca e não um evento futuro que pode ou não se realizar – a meta de cortar o pão sem que se esbagace.

Feita esta análise, Ruse (2002) propõe que o uso da linguagem teleológica se torna apropriada na biologia evolutiva a partir da metáfora do design. Ruse (2002, p. 39) argumenta que os biólogos evolutivos usam uma linguagem teleológica porque os organismos através de suas adaptações se apresentam como sendo similares a artefatos humanos. Uma vez que as adaptações são explicadas como sendo resultantes do processo da seleção natural, a linguagem teleológica na biologia evolutiva refere-se a entidades que foram produzidas pela seleção natural. Mas a razão pela qual a linguagem teleológica é apropriada não é porque a seleção natural é o fator causal, mas antes, porque a seleção natural produz entidades, adaptações, que aparentam ter sido projetadas, ou dito de outra forma, apresentam design.

Como evidência a favor do seu argumento, Ruse (2002) nos apresenta uma citação de Williams em que este biólogo evolutivo justifica o uso da linguagem teleológica no contexto do tratamento das adaptações e da distinção entre função e efeito:

> Sempre que eu acredito que um efeito é produzido como uma função de uma adaptação aperfeiçoada pela seleção natural para servir àquela função, eu usarei termos próprios aos artefatos humanos e ao design consciente. A designação de algo como sendo o meio ou o mecanismo para uma determinada finalidade ou função ou propósito implica que a maquinaria envolvida foi moldada pela seleção natural para a finalidade a ela atribuída. Quando eu não acreditar que tal relação existe, eu irei evitar tais termos e usarei as palavras apropriadas para relações fortuitas tais como causa e efeito. (Williams, 1966, p. 9).

Ruse (2002, p. 40) argumenta que ao aplicarem o conceito de design, relativo aos artefatos humanos, ao mundo orgânico, os biólogos evolutivos estão fazendo uso de uma metáfora. Ainda que tenhamos que reconhecer que o mundo orgânico deve ser de uma determinada natureza para que esta metáfora possa funcionar bem, utilizá-la não implica em fazer reclames ontológicos sobre o mundo. Não se trata de afirmar que os organismos são de fato produtos de um design, mas de tomá-los como se fossem, e a partir desta metáfora, olhar o mundo orgânico através da lente da manufatura de artefatos humanos.

Desta perspectiva, é possível argumentar que o uso da linguagem teleológica baseado na metáfora do design na biologia evolutiva não viola a redução dos sistemas vivos à física e a química, nem tão pouco implica no problema da causação reversa, ou seja, de que o presente

esteja sendo explicado pelo futuro. Para Ruse (2002, p. 40), não há nada no emprego metafórico e heurístico da linguagem teleológica pela biologia evolutiva que implique a incorporação de forças não-materiais pelos organismos ou algo do gênero. De igual modo, não há razão para se achar que tal emprego da linguagem teleológica incorre no problema de se explicar o presente em termos do futuro. Tenta-se explicar o presente a partir do que se pensa que deve ser o futuro.

Para argumentar a este respeito, Ruse faz alusão ao clássico exemplo do leque dorsal do réptil extinto Dimetrodonte:

> ...ninguém está dizendo que o leque dorsal do Dimetrodonte é explicado atualmente em termos da ação futura de espantar predadores. Em um nível estritamente causal, se está querendo dizer que leques dorsais existem porque os primeiros Dimetrodontes com leques dorsais amedrontaram predadores. (Ruse, 2002, p. 41)

Ruse (2002) propõe ainda que a linguagem e o pensamento teleológicos, mais do que serem apropriados, desempenham um papel vital na prática investigativa dos biólogos evolutivos. Para Ruse (2002, p. 47), a metáfora do design provê fertilidade preditiva à teoria evolutiva darwinista, aspecto que para ele constitui "uma das mais estimadas virtudes epistêmicas que se pode ter em uma teoria científica". Ao olhar para a estrutura orgânica como se ela tivesse sido moldada de modo consciente à semelhança dos artefatos humanos, em lugar de se lançar em questões impossíveis acerca de como a seleção natural teria operado no passado, os biólogos evolutivos começam sua investigação fazendo perguntas sobre como as coisas funcionam hoje. Uma vez que tenham respondido a esta questão, torna-se possível falar em termos de seleção natural, ao tentar remeter seus estudos ao que ocorreu no passado.

Uma ponderação que pode ser feita em relação ao argumento de Ruse (2002) reside no fato de a metáfora do design não ser adotada de modo unânime entre os biólogos evolutivos. Ao contrário, ela vem sofrendo sérias críticas proferidas pelos biólogos evolutivos anti-adaptacionistas, a exemplo de Gould e Lewontin (1979) e Godfrey-Smith (1999).

Ruse (2002) reconhece esta dificuldade, e argumenta que tais discordâncias não invalidam sua proposição a respeito da adequação e do poder heurístico do uso da linguagem teleológica na biologia evolutiva, se tivermos em consideração o papel das metáforas na construção do conhecimento. É esperado que haja debates acerca da validade das metáforas para casos particulares, e neste caso, que existam biólogos evolutivos que se sintam confortáveis em usar a metáfora do design de modo mais extensivo, enquanto outros sejam mais restritivos, ou ainda aqueles que se sintam desconfortáveis em usar a linguagem do design (Ruse, 2002, p. 43).

Para Ruse (2002), os outros dois tipos de explicação teleológica que têm lugar na teleologia humana, aquela relativa a intencionalidade das ações humanas e a que descreve a história de modo progressista, não são apropriados no contexto da biologia evolutiva. Para Ruse (2002, p. 51) a teleologia ingressa na biologia evolutiva a partir do fato de que as adaptações podem ser vistas como se apresentassem design à semelhança de artefatos humanos, mas não porque as adaptações têm o caráter de serem dirigidas a uma meta. Desta perspectiva, Ruse (2002) considera inadequado o uso de uma linguagem da intencionalidade que atribui algum tipo de intenção consciente ou ação dirigida por metas ao comportamento de organismos na explicação da origem de estruturas.

Ruse (2002) conclui sua análise reafirmando que a persistência do uso da linguagem teleológica na biologia não está relacionada a uma questão ontológica, mas sim a uma questão de perspectiva: a adaptação dos organismos vivos convida ao pensamento teleológico de um modo que os objetos da física não o fazem.

Caponi (2003) concorda com esta idéia mais geral de que a explicação darwinista para adaptação é uma explicação distinta das explicações físicas, e que é com base em tal distinção que podemos argumentar que a explicação darwinista apresenta um caráter teleológico. No entanto, em lugar de estruturar seu argumento com base no uso heurístico da linguagem teleológica, como o faz Ruse (2002) a partir da análise do uso da metáfora do design pelos biólogos evolutivos, Caponi (2003) estrutura seu argumento a partir da análise de semelhanças que existem entre a estrutura de uma explicação intencional e a estrutura da explicação selecional.

Analisando o objetivo explanatório das explicações darwinistas, Caponi (2003) propõe que é possível encontrar um isomorfismo significativo entre a explicação selecional e as explicações intencionais, tais como àquelas empregadas pelas ciências humanas que apelam ao modelo da opção racional para explicar o comportamento humano. Caponi (2003, p. 1007) apresenta o seguinte modelo segundo o qual pode ser pensada a explicação intencional:

Explanans:

- *Um agente P procura alcançar a meta S.*
- *Conforme os critérios e informações que guiam a ação de P, existem dois modelos alternativos (X e Y) de alcançar S; e também segundo estes critérios e informações, X constitui o melhor entre eles.*

Explanandum:

- *P opta por X*

Este modo de representar a explicação intencional contempla o que Caponi (2003, p. 1007) considerou a insistência "geralmente ignorada" de Von Mises de que a explicação intencional deve ser entendida mais como uma explicação de uma opção do que a explicação de uma ação. Deste modo, põe-se em evidência o fato de que a explicação intencional, assim como a explicação selecional, explica a retenção ou preferência de uma alternativa, a qual, entre outras possíveis, se apresenta em um contexto dado como a solução mais satisfatória para um determinado problema.

O modelo geral da explicação selecional proposto por Caponi (2002, p. 77; 2003, p. 1007), apresentado a seguir, deixa claro que a explicação darwinista é uma explicação da diferença de freqüência entre duas alternativas – ou mais especificamente, da maior incidência de uma variável fenotípica em relação a outra em uma população – que, à semelhança da explicação intencional modelada acima, nos diz porque algo pode ser melhor do que outra coisa em um determinado contexto, ao nos indicarmos uma opção ou uma preferência:

Explanans:

- *Uma população P está submetida a uma pressão seletiva S.*
- *A estrutura X (presente me P) constitui a melhor resposta a S que a alternativa Y (também disponível em P).*

Explanandum:

- *A incidência de X em P é maior que a de Y.*

Ao descrever este modelo, Caponi (2003, p. 1008) argumenta que os fatos descritos no *explanans* não se apresentam como a *causa humeana* do fato descrito no explanandum – não há entre eles uma relação do gênero causa e efeito, mediada por leis físicas. A descrição das pressões seletivas a que estão submetidas às populações explica a retenção de uma estrutura adaptativa não pelo fato de descrever as causas eficientes que produz esta estrutura, mas sim por mostrar as razões de sua retenção. Nos termos de Brandon (1990, p. 166), por mostrar as razões ecológicas que explicam porque um organismo está mais adaptado que outro em um determinado ambiente. A partir deste argumento, Caponi (2003, p. 1008) propõe que é neste sentido que se pode dizer que a explicação selecional, a semelhança da explicação intencional, exibe um nexo teleológico e não uma conexão causal do tipo mecânica.

Feita esta argumentação, Caponi (2003, p. 1008) faz a ressalva de que ao propor que a explicação darwinista da adaptação exibe uma conexão de caráter teleológico e não de caráter causal ou mecânico, não está se referindo a vinculação entre variações e pressões seletivas. Fazê-lo significaria romper com o darwinismo ao propor algum tipo de intencionalidade que guiaria a oferta de variações. É preciso deixar claro que em sua proposta a referência a um

nexo teleológico alude à relação, estabelecida na explicação selecional, entre pressões seletivas e a maior freqüência de uma determinada estrutura orgânica em uma população.

Como podemos concluir, as análises de Ruse (2002) e Caponi (2003) concordam no que diz respeito ao fato de que o caráter teleológico da explicação darwinista para adaptação não está relacionada à ontologia dos fenômenos biológicos, mas sim a uma questão epistemológica, relativa à natureza das perguntas que a biologia evolutiva se propõe a responder quando considera as estruturas orgânicas em termos adaptativos, e ao modo como estrutura suas respostas.

Caponi (2003), ao examinar porque a pergunta darwinista a respeito da estrutura orgânica não pode ser traduzida em termos físicos, deixa claro em que sentido é possível argumentar que a explicação darwinista para adaptação conserva um caráter teleológico. Segundo a análise da estrutura da explicação selecional feita por Caponi (2003), o objetivo explanatório da explicação darwinista é responder "Porque a variante fenotípica P resultou ser mais vantajosa que a variante fenotípica alternativa R no contexto T?" Esta pergunta não pode ser traduzida em termos físicos e tão pouco podem existir respostas físicas para a mesma. A física pode indicar como uma determinada estrutura se comportou ou atuou, mas não é capaz de dizer sob que condições uma estrutura pode ter sido mais vantajosa que outra.

Caponi (2003, p. 1011) propõe que esta impossibilidade de tradução obedece ao fato de que os conceitos chaves da teoria darwinista, como os de pressão seletiva e adaptação, são tributários de um par categorial para o qual não é possível se encontrar um correspondente físico, qual seja a noção de problema e solução. Caponi argumenta que, quando enunciamos que uma estrutura biológica apresenta alguma vantagem em relação a outra ou responde a uma pressão seletiva melhor que a outra, estamos, ao menos tacitamente, dizendo que essa estrutura é mais adequada que a outra para a solução de um problema: "e deste modo introduzimos uma perspectiva de análise que excede à física". Citando Dennett, Caponi (2003) nos propõe que o vinculo do tipo solução-problema, característico da estrutura da explicação darwinista, em lugar de nos colocar na ordem da necessidade galileana nos introduz no domínio

> de uma "variedade de necessidades inevitavelmente teleológicas" que é muito próxima daquela que, estando na base do silogismo prático, se expressa no imperativo hipotético. "Se queres alcançar a meta M, então isto é o que deves fazer dadas as circunstâncias". Trata-se, em efeito, de uma necessidade teleológica da razão instrumental (crf. Dennett, 1995, p. 129); e é essa necessidade, que resulta da escassez e não do determinismo físico, a que na explicação darwinista se complementa com o cego azar da variação. (Caponi, 2003, p. 1006)

A conclusão importante para nosso estudo que podemos chegar das análises de Ruse (2002) e Caponi (2003) é a de que certos tipos de formulações teleológicas, ou certos modos de usar a linguagem teleológica, podem ser considerados apropriados, ou mesmo, como sendo inerentes à forma darwinista de investigar a estrutura orgânica a partir do conceito de adaptação. Enquanto outros tipos de formulações teleológicas são inaceitáveis por contrariar pressupostos centrais da perspectiva darwinista de explicar este fenômeno.

As primeiras dizem respeito a formulações teleológicas relativas à metáfora do design, ou seja, à descrição da estrutura orgânica a semelhança de um artefato humano, ou ainda formulações relativas à noção de solução de problemas. Estamos nos referindo aos enunciados em que o tema consiste em designar uma estrutura orgânica, um padrão de comportamento ou um processo fisiológico, como sendo o meio ou o mecanismo para realização de uma determinada função ou propósito. Podemos citar os seguintes exemplos: *"O pica-pau tem de se apoiar na madeira, no caso o movimento que ele tem de fazer e como ele tem de ficar na vertical. Para isso, nós temos músculos mais resistentes. Devem ser para o sustento deste corpo do pica-pau"*; *"O bico forte da espécie de tentilhão de bico grande* G. margnirostris *foi moldado para quebrar transversalmente os frutos duros e assim comer todas as sementes do fruto"*.

O segundo tipo de formulações teleológicas são aquelas em que se atribui intencionalidade e progressão em direção a uma meta como fatores que guiam o processo evolutivo. Podemos citar os seguintes exemplos de enunciados em que a linguagem teleológica é usada deste modo, produzidos pelos estudantes que participaram de nossa investigação, em interações discursivas em sala de aula, questionários e entrevistas: *"Chegando às ilhas, a espécie ancestral foi modificando o tamanho do bico para se adaptar ao tipo de alimento que lá havia"*; *"A espécie de orquídea sofreu uma mutação para atrair a vespa que a poliniza e conseguir se reproduzir*".

Do ponto de vista da epistemologia, este segundo tipo de formulação teleológica é, portanto, inaceitável e deve ser combatido para que a perspectiva darwinista possa ser desenvolvida. Do ponto de vista da literatura em ensino de ciências, contudo, pode ser defensável que este segundo modo de usar a linguagem teleológica também pode apresentar um valor heurístico no processo de significação do ponto de vista da ciência escolar pelos estudantes.

Se tivermos em vista que a produção do conhecimento escolar tem sua epistemologia própria, diferente da esfera de produção do conhecimento científico, como advogam diferentes autores que se dedicam ao problema da re-contextualização didática, a exemplo de

Astolfi e Devaley (1991), Forquin (1993) e Lopes (1997), formulações teleológicas que apresentam eficácia pedagógica podem vir a tornar-se aceitáveis no ambiente escolar, desde que, como sugere Molina (2007, p. 95), citando Lemke, professores e estudantes tenham consciência que ao fazê-lo estão rompendo com as regras da ortodoxia da ciência.

A despeito de todos os reclames contrários, vindos tanto do domínio da epistemologia como da literatura em concepções alternativas, especificamente relativas à aprendizagem da seleção natural e do conceito de adaptação, alguns estudos têm proposto que seja assumida uma visão mais positiva em relação ao uso de formulações teleológicas e antropomórficas no ensino de ciências, tendo em vista o valor pedagógico que elas podem assumir em sala de aula (Zohar; Ginnossars, 1998; Molina, 2007). São apontadas as seguintes vantagens pedagógicas do uso de formulações teleológicas em sala de aula de ciências (Zohar; Ginnossars, 1998): (1) proporcionam o aumento da empatia dos estudantes com os tópicos científicos e (2) os auxiliam na organização de informações em perspectivas que lhe são familiares, além de (3) oportunizar discussões sobre o significado de tais afirmações de caráter teleológico, distinguindo-as de explicações de outra natureza, ajudando, assim, a melhorar a compreensão do pensamento científico.

Argumenta-se ainda que o uso da linguagem teleológica pelos estudantes cumpre um papel heurístico no processo de negociação de significados em direção à compreensão e apropriação do ponto de vista da ciência escolar. Molina (2007) conclui seu estudo acerca do uso de analogias e narrativas por crianças de 8 a 13 anos de idade para explicar a atribuição de função ao espinho de cactos, propondo que o uso do pensamento narrativo e por analogias, assim como da linguagem teleológica e de antopomorfismos, constituem caminhos que as crianças encontram para se aproximar do pensamento científico, a partir da recuperação de sua experiência cotidiana, que será organizada e especializada.

Zohar e Ginossar (1998), por sua vez, recorrendo aos resultados de estudos empíricos com estudantes do equivalente ao ensino médio, argumentam que o uso da linguagem teleológica corresponde ao interesse dos estudantes por se comunicar melhor e se fazer entender, e que muitos dos estudantes que usam e aceitam como válidas formulações teleológicas, necessariamente, não pensam os fenômenos biológicos de modo teleológico, ou pelo menos, quando o fazem, o fazem de modo integrado a outras formas de explicá-los mais próximos à explicação causal mecanicista.

O primeiro estudo empírico analisado pelos autores foi desenhado de modo a avaliar o reclame de Clough e Wood-Robinson (1985) de que, possivelmente, estudantes que usam

formulações teológicas e antropomórficas para explicar mudanças adaptativas não as consideram, necessariamente, as causas destas mudanças.

Foram feitas entrevistas clínicas com 28 estudantes de Jerusalém que faziam cursos equivalentes ao ensino médio brasileiro, e que já haviam estudado genética, mas não evolução (Tamir; Zohar, 1991). Na primeira seção da entrevista, investigava-se se os estudantes aceitavam ou não formulações antropomórficas e teleológicas como válidas cientificamente. Para tanto, eram apresentadas 10 afirmações aos estudantes, oito das quais eram formuladas em termos teleológicos e antropomórficos. Os estudantes tinham de avaliar para cada uma destas afirmações se deveriam ou não ser incluídas em um livro didático de biologia. E nos casos em que avaliassem negativamente, deveriam expor as razões para tanto. Na segunda seção, os estudantes eram questionados explicitamente se eles acreditavam que as plantas de fato, tinham desejos, buscavam soluções e lutavam? A mesma questão era feita para os animais. Aqueles estudantes que respondiam negativamente eram solicitados a reformular as formulações antropomórficas da seção anterior.

Para avaliar se os estudantes interpretavam os fenômenos biológicos a partir de um pensamento teleológico, eles eram confrontados com três situações conflitantes, através das quais era possível avaliar claramente a habilidade deles em distinguirem entre explicações causais mecanicistas e teleológicas. Cada uma destas situações consistia em um caso em que a "meta" em direção a qual o organismo, presumivelmente, luta para atingir, é eliminada. O estudante era, então, solicitado a prever o que ocorre nestes casos. Assumiu-se que o pensamento teleológico levaria ao aluno a prever que uma vez que a "meta" fosse eliminada, o processo biológico iria ser interrompido, dado que a motivação para que o processo fosse executado havia sido eliminada. Por outro lado, um raciocínio causal mecanicista levaria a previsão de que a eliminação da meta não afetaria o efeito.

Um das situações conflitantes estruturava-se do seguinte modo. Apresentava-se a seguinte afirmação para o entrevistado: *Em uma das frases acima (a3), foi postulado que uma planta que cresce em um quarto se inclinaria em direção a janela para obter mais luz, a qual é necessária para a fotossíntese*. E em seguida propunha a seguinte questão: *O que iria ocorrer se colocássemos para crescer no quarto uma planta albina – ela iria se inclinar? Explique.*

Por fim, para avaliar se os estudantes empregavam o pensamento teleológico no contexto da evolução, os estudantes eram relembrados acerca de uma das afirmações teleológicas apresentadas na primeira seção da entrevista sobre a pelagem espessa do urso polar do Ártico. A respeito desta afirmação, eram feitas duas questões: *Como eles pensavam*

que esta pelagem espessa dos ursos polares era desenvolvida? e *Qual a duração de tempo, aproximadamente, levava este processo para ocorrer?*

Os autores relataram os seguintes resultados. A maioria dos estudantes não viu problemas com as formulações teleológicas e antropomórficas apresentadas na primeira seção da entrevistas, considerando-as adequadas para serem incluídas nos livros didáticos.

Em relação ao pensamento teleológico, 29% dos estudantes investigados foram classificados como estudantes que apresentaram um padrão de pensamento absolutamente teleológico, uma vez que suas respostas às três situações apresentadas na entrevista clínica implicavam em teleologia. A maioria dos estudantes (57%), no entanto, apresentaram um padrão misto, uma vez que apresentaram tanto respostas que implicavam em pensamento teleológico, como respostas que implicavam em explicações causais mecanicistas; e por fim, 14% dos estudantes foram classificados como apresentando um padrão não teleológico de pensamento, uma vez que responderam as três situações a partir de explicações causais não teleológicas. No caso de problemas relativos à evolução, 76% dos estudantes que estavam na faixa etária de 15 anos e 56% de estudantes com faixa etária em torno de 17 anos apresentaram pensamento teleológico.

Os autores apresentaram os seguintes exemplos de respostas baseadas no pensamento causal mecanicista e no pensamento teleológico, respectivamente para o cenário relativo às plantas albinas: "*Se o mecanismo não depende da clorofila, elas continuaram pendendo em direção a janela"* e *"Eu penso que, uma vez que a planta não precisa da luz, ela não irá se inclinar, não há razão para se inclinar"*.

O segundo estudo empírico analisado por Zohar e Ginossar (1998) consiste em um estudo de campo planejado para acessar a influência do uso de um livro texto com numerosas formulações teleológicas e antropomórficas na aprendizagem de estudantes de biologia (Ginossar, 1993). O livro *"Communication in Plants"* (Ginossar, 1993) abordava o tópico relativo à sensibilidade das plantas e às respostas a estímulos bióticos e abióticos e foi escrito para ser aplicado com estudantes com a faixa etária em torno de 17 a 18 anos. O livro foi usado em seis turmas experimentais, totalizando a participação de 87 alunos. Os resultados obtidos com estes grupos foram comparados aos resultados obtidos em quatro classes, nas quais o mesmo tópico foi ministrado sem o uso deste material didático. Ao todo, 156 estudantes participaram da pesquisa, e foram investigados a partir de um teste escrito. Uma amostra de 26 estudantes que participaram das turmas experimentais respondeu a uma entrevista quatro semanas antes de fazerem a avaliação final da disciplina.

O teste escrito era composto de 20 itens de múltipla escolha, dez dos quais versavam sobre os assuntos de botânica abordados no livro e dez sobre zoologia. Os itens eram estruturados da seguinte forma: apresentava-se uma descrição de um fenômeno biológico e quatro frases que "o explicavam". A primeira delas tinha o caráter de uma explicação causal mecanicista; a segunda consistia em uma frase teleológica; a terceira em uma frase antropomórfica e a quarta era uma frase teleológica e antropomórfica. Os estudantes eram solicitados a escolher a frase que representava a melhor explicação para o fenômeno. A entrevista clínica foi guiada por um conjunto de questões que enfocavam a habilidade dos estudantes em apresentar explicações causais mecanicistas, e suas atitudes em relação à teleologia e ao antropomorfismo.

Os resultados encontrados pelos autores indicaram que o emprego do material didático em que os fenômenos biológicos eram abordados a partir de uma linguagem antropomórfica e teleológica não gerou um aumento na aplicação de formulações teleológicas e antropomórficas pelos estudantes. O número médio de explicações causais mecanicistas escolhidas pelos estudantes nos 20 itens que compunham o teste foi de 10% por estudantes no grupo experimental e 8.94% por estudante no grupo controle. Embora não tivessem excluído totalmente de seu discurso formulações teleológicas e antropomórficas, a maioria dos estudantes do grupo experimental foi capaz de construir explicações causais mecanicistas na entrevista clínica.

Quando eram solicitados a refletirem sobre o processo de aprendizagem que haviam passado, a maioria dos estudantes (77%) declarou que as formulações teleológicas e antropomórficas contidas no livro aumentaram seu interesse e empatia pelo assunto e melhoraram sua compreensão a respeito. Apenas dois estudantes julgaram impróprio o uso de formulações desta natureza em livros didáticos de biologia. Alguns estudantes, no entanto, ponderaram que eles teriam dificuldade em traduzir as formulações teleológicas em formulações causais não finalistas, e justificaram esta preocupação, alegando a proibição de usar formulações teleológicas e antropomórficas em exames escritos da disciplina. Reproduzimos dois exemplos de falas de estudantes que expressam esta atitude, dentre os exemplos apresentados por Zohar e Ginossar (1998, p. 692):

> *No livro havia muitas explicações antropomórficas-teleológicas. Mas mais tarde é difícil de traduzi-las. Nós temos que fazê-lo, porque não nos é permitido escrever deste modo nos testes. Não, eu não estou errado no modo de eu pensar. Eu sei que plantas não "ouvem". Eu gostaria que fosse permitido eu escrever "ouvem" entre aspas.*

Para mim – me ajudou a entender. Eu o li como se fosse uma história. É como se tudo se tornasse bastante claro. Você pode imaginar melhor. Quando o tópico é realmente difícil, se você usa antropomorfismo – você entende os princípios.... Para mim, pessoalmente, não faz diferença. Eu sei que plantas não fazem as coisas porque elas querem...Tudo bem usá-lo para entender a questão, mas não lhe é permitido escrever deste modo nos exames.

Interpretando os resultados destes estudos empíricos à luz da noção de Piaget (1973) acerca da existência de estruturas cognitivas gerais, Zohar e Ginossar (1998, p. 694) argumentam que o pensamento teleológico pode ser considerado uma estrutura geral do pensamento infantil, um esquema a partir do qual as crianças explicam múltiplos fenômenos biológicos. Para os autores, os dados da literatura em concepções alternativas, a exemplo, especificamente dos resultados obtidos por Desmastes, Good e Peebles (1996), mostram que a idéia de "necessidade" exerce este papel na aprendizagem da evolução, mesmo entre estudantes com faixa etária maior. Zohar e Ginossar (1998, p. 694) propõem que este papel pode ser interpretado em termos do que diSessa (1993) designou "primitivos fenomenológicos", referindo-se a conceitos físicos que apresentam grande alcance em relação aos efeitos que provocam na aprendizagem dos estudantes, e que uma vez que são estabelecidos, constituem um rico vocabulário que as pessoas usam para recuperar e interpretar suas experiências.

Com base neste argumento, os autores defendem que não só é impossível, como indesejável, evitar-se o uso de formulações teleológicas no ensino de ciências. Antes, é fundamental que auxiliemos os estudantes a aproveitarem o valor heurístico das formulações antropomórficas e teleológicas, sem que para tanto, sacrifiquem o entendimento do pensamento científico. Para tanto, Zohar e Ginossar (1998, p. 695) sugerem que os estudantes sejam engajados em discussões explícitas a respeito do significado destas formulações.

Em nossa análise de episódios de ensino de evolução, apresentada no capítulo precedente, o uso da linguagem teleológica pelos estudantes, que iniciam a construção de narrativas para explicar a mudança adaptativa, e a permissividade inicial da professora em relação a estas formulações, se mostrou uma estratégia discursiva fundamental para que fosse estabelecida uma intersubjetividade em torno do reconhecimento da adaptação como um problema que merece explicação, e ainda, que tal explicação deve ser pensada a partir de uma perspectiva histórica.

A construção de narrativas, em que pássaros de uma população ancestral de tentilhão do continente migram para as Ilhas Galápagos e lá se adaptam, constituiu o primeiro passo

para que a diversidade dos bicos das espécies de tentilhões deste arquipélago fosse explicada pelos estudantes de uma perspectiva evolutiva. Na primeira narrativa construída pelo estudante 2 em interação com estudante 1 e a professora, durante a segunda aula da seqüência didática analisada (episódio 2.1), estes estudantes empregam formulações teleológicas, nas quais eram atribuídas intencionalidade às ações dos pássaros de aprender e se adaptar para alcançar a meta de sobreviver. Neste momento, a professora não avaliou negativamente este uso da linguagem teleológica. Como podemos ver na transcrição deste trecho de episódio, no turno de fala 34, a professora se preocupa em avaliar apenas a proposição do estudante de que o agente da narrativa seria um organismo e não uma população ou membros de uma população, ao propor que em lugar do verbo "ter" ser usado na terceira pessoa do singular, fosse usado na terceira pessoa do plural. No entanto, a professora repete a formulação teleológica usada pelo estudante 2:

29. **Estudante 1:** Então/ é que ele mudou do continente/ ele teve que aprender/
30. **Professora:** Ele saiu do continente para a ilha/ a população foi para lá. Chegando lá/ ele encontrou?
31. **Estudante 2:** Os alimentos/
32. **Professora:** Alimentos diferentes. Está mostrando aí/ que nas ilhas a gente encontrava aí uma diversidade grande de alimentos e de ambiente/ né? E aí?
33. **Estudante 2:** E aí teve que se adaptar para sobreviver.
34. **Professora:** Tiveram que se adaptar para sobreviver.
35. **Estudante 2:** E isso teve a mudança dos bicos.
36. **Professora:** Certo.

Ainda nesta mesma aula, durante o episódio de ensino 2.3, apesar de manterem a perspectiva transformacional, estes mesmos estudantes não usaram este tipo de formulação teleológica para explicar a mudança adaptativa. Na narrativa construída por eles para prever o que ocorreria com uma população fictícia de pássaros de bicos pequenos em situação de escassez de sementes pequenas e macias, a tentativa de comer os alimentos duros foi o único evento descrito como uma ação deliberada e consciente dos pássaros. A adaptação dos pássaros às condições ambientais e as mudanças ocorridas no bico, desta vez, não foram descritos como eventos que resultam de uma ação consciente e deliberada destes organismos em direção a uma meta, mas apenas como eventos que ocorrem em decorrência desta tentativa dos pássaros de comer sementes mais duras. Não há também menção explicita a uma meta que dirige a modificação dos bicos, como ocorria na narrativa anterior em que a ação de adaptar-se era dirigida a meta de sobreviver.

84. Estudante 2: Ou ela vai tentar comer aquele alimento duro mesmo. E isso vem as modificações dos bicos ((faz gesto representando alongamento do bico))

((risos da turma))
85. Professora: Eu não entendi direito. Fala aí de novo.
86. Estudante 1: É, como os bicos são hereditários/
87. Professora: Sim os bicos são hereditários/ são características hereditárias.
88. Estudante 1: Então/ com o passar/ vão crescendo os bicos e as novas gerações vão vir com bicos maiores.

Na terceira aula, ocorreu um dos momentos em que o uso da linguagem teleológica e antropomórfica se fez mais notável, quando os estudantes interpretaram os resultados obtidos no jogo dos Clipsitacídeos (episódios 3.1, p.267 a 268). Neste episódio, a estudante 16 propôs explicações para mudanças adaptativas nas populações de clipsitacídeos, simulada no jogo, a partir de uma linguagem teleológica e antropomórfica. Interpretamos este fato como um indício de que, possivelmente, de modo diferente de seus colegas, a estudante não conseguiu se deslocar da situação lúdica e competitiva do jogo, protagonizada por eles mesmos, para a situação de populações naturais de pássaros vivendo em contextos ecológicos específicos, que o jogo pretendia simular.

Mas, por outro lado, levando em conta as discussões acima sobre o papel do pensamento teleológico na aproximação dos estudantes aos fenômenos descritos pela ciência e à linguagem social da ciência escolar, é possível que esta tenha sido a estratégia que a estudante 16 usou para se comunicar, e partir daí atribuir significado ao discurso da ciência escolar que estava sendo introduzido pela professora. Um dado notável que fortalece esta interpretação é o fato de esse ter sido o momento, durante toda a seqüência didática, em que a estudante 16 mais interagiu, e principalmente, de um modo dialógico em relação ao discurso da ciência escolar introduzido pela professora. Em outros momentos – bastante raros – em que esta estudante se predispôs a interagir, freqüentemente, o fez de modo a demarcar a sua oposição ao ponto de vista da ciência escolar, a exemplo do questionamento acerca da idade de existência da terra proposta pela ciência. Reproduzimos, em seguida, o trecho do episódio 3.1, em que a estudante 16 participa da discussão acerca do ocorrido no jogo dos Clipsitacídeos:

19. Professora: Sim. O que tinha de diferente nos dois grupos? Que justifica esta diferença na mudança de composição que a gente está vendo aqui. Que a gente está vendo aqui que mudou/ certo? Então/ no final da temporada/ no norte por exemplo/ a gente pôde observar que ficou um bico grande e dois bicos médios. Já aqui/ a última temporada ficou quatro bicos grandes, dois bicos médios e três pequenos. O que é que tinha de diferente nos grupos para dar estes resultados?
20. Estudante 19: Porque eles roubaram e a gente não roubou. ((gera um burburinho entre os estudantes a este respeito))
21. Professora: Peraí. Isso aqui é um jogo/ eu acredito que nenhum de vocês tinha esta intenção. Alguém tenha feito isso.

22. **Estudante 16:** Eu falo.
23. **Professora:** Diga.
24. **Estudante 16:** Ó na terra norte/ tinha mais alimento calórico sim. Mas presta atenção/ os pássaros achando que tinha mais caloria/ comia pouco ((rindo)).
25. **Professora:** Comia menos.
26. **Estudante 16:** E no sul porque era menos calórico/ os pássaros era ó/ mais gulosos. ((rindo)).
27. **Professora:** E aí? Tinha competição.
28. **Estudante 16:** Tinha que comer muito.
29. **Professora:** Então/ vocês acham que tinha diferença na composição do alimento do norte e do sul?
30. **Estudante 16:** Tinha. Porque eu vi a última aí ó((referindo-se a outra equipe, a do norte))/ a última foi pinheiro e a nossa foi feijãozinho fradinho.
31. **Estudante(?):** Mas também ficou difícil para gente pegar. Como é que o pequeno ia pegar?
32. **Professora:** É isso/ Essa diferença na oferta de alimento de um grupo para outro fez com que?
33. **Estudante 16:** Que os pássaros do sul comessem mais.
34. **Estudante 6:** Não.
35. **Estudante 16**: Para poder ter mais caloria/ professora. Para poder se reproduzir. Porque era/ os pontos valia caloria/ né? Então/ as calorias da quarta temporada era menos a do Sul do que a da Norte/ na quarta.
36. **Professora:** Certo. A gente tem que/ o bico ele tem uma relação com o tipo de alimento/ não é isso? E o que é que vocês me dizem com relação a isso/ a relação do bico com a oferta diferente de alimento que a gente tinha aí?
37. **Estudante 4**: Que os bicos pequenos não conseguiam pegar os alimentos maiores.
38. **Professora:** Que os bicos menores não conseguiam pegar sementes maiores/ e com isso?
39. **Estudante 4:** Torna a reprodução/
40. **Professora:** Isso fez com que?
41. **Estudante 4:** Ficasse fraco.
42. **Professora:** Ficassem fracos e não conseguisse sobreviver/ e muitas vezes nem se reproduzir/ né? Que mais gente?

Entre os turnos 24 e 35, a estudante propôs que os pássaros da terra sul, conscientes do baixo valor calórico das sementes disponíveis, procuravam estrategicamente comer muito para conseguir se reproduzir, enquanto que os pássaros da terra norte, diante da oferta de sementes mais calóricas, comiam pouco. A despeito do equívoco em relação à atribuição de ação consciente e deliberada dos pássaros em relação ao valor calórico das sementes, o fato é que a estudante contribui para o desenvolvimento da perspectiva escolar, ao introduzir, naquele momento, outra variável. Além da disponibilidade diferencial dos alimentos, já citada para explicar os resultados do jogo, a estudante 16 chama atenção para o comportamento mais eficiente ou menos eficiente dos pássaros na exploração de recursos. Esta idéia se constituiu em uma semente para mudar a direção do discurso: em lugar de enfocar a análise apenas nos fatores externos, que da perspectiva darwinista descrita por Caponi (2003) seria aqueles que

dispõem o problema, foi possível propor aos alunos, que tivesse em vista também as características dos organismos – diferentes tamanhos de bicos – as quais se colocam como melhores ou piores soluções para os desafios ambientais impostos. Operação que a professora fez em seguida, no turno de fala 36, buscando construir a noção de que havia variantes nas duas populações em relação ao tamanho do bico que constituíam uma melhor alternativa para resolver o problema de se alimentar frente a escassez de sementes de variados tamanhos.

Durante a quarta e a quinta aula, os estudantes não lançaram mão de formulações teleológicas para explicar a diversificação dos bicos dos tentilhões e a mudança adaptativa das populações dos Clipsitacídeos, simulada no jogo realizado na terceira aula. Há exceção apenas de um momento inicial da quarta aula em que o estudante 6, pela primeira vez, propõe uma explicação para a diversificação dos Tentilhões de Galápagos.

43. **Estudante 5:** Professora?
44. **Professora:** Diga.
45. **Estudante 5:** Eu acho que a espécie do continente migrou pra ilha/
46. **Professora:** Sim?
47. **Estudante 5:** Aí/ chegando lá/ cada (+) tinha vários tipos de ilha/ né? Aí quem encontrava alimento pequeno/ maior/ ele teve que se adaptar e com isso/ teve o lance do bico ((faz gesto indicando formato do bico))/ então (+) o alimento maior outro menor/
48. **Professora:** Certo/ a gente vai caminhando por aí.

É preciso ter em conta que na quarta e na quinta aulas, estudantes e professores analisaram as explicações para dois fenômenos relacionados à mudança adaptativa que já vinham sendo abordados desde a segunda e terceira aulas, e que, ao longo deste processo, houve um empenho da professora em prover os estudantes de conceitos darwinistas e dar acesso à linguagem social da ciência escolar.

Na sexta aula, os estudantes foram solicitados a pensar a respeito de dois novos problemas relativos à adaptação por seleção natural. Estes dois novos problemas foram apresentados pela professora e pelo material didático utilizado como sendo problemas de um mesmo caráter, que demandavam a mesma explicação. As situações problemas se referiam ao surgimento da resistência bacteriana a antibióticos e de pragas agrícolas a inseticidas. Nesta ocasião, os estudantes, mais notavelmente a estudante 1, voltaram a empregar uma linguagem teleológica para interpretar a adaptação (episódios 6.1):

38. **Estudante 1:** É porque assim/ vários indivíduos de uma mesma espécie possui variações para se adaptarem aquele tipo de substância.
39. **Professora:** Certo. Vá/ destrinche mais ((risos. O estudante 2 faz gesto solicitando que a professora proceda o desenvolvimento da explicação da estudante 1))

40. **Professora:** Então/ os organismos/ como a estudante 1 falou/ os organismos de uma população/ apresentam variação para//
41. **Estudante 1:** Conseguir sobreviver àquela substância.
42. **Estudante (?):** Determinada substância.
43. **Professora:** Certo. Então/ a gente tem ali/ no caso dos insetos/ nós podemos ilustrar/ por exemplo/ no caso do antibiótico. A gente faz uso/ ao longo de nossa vida/ de antibióticos. Então/ os antibióticos/ eles são prescritos pelos médicos/ com base no que ele quer combater/ por exemplo. Na bactéria que ele quer combater. Então/ a gente tem/ complementando/ a gente tem no caso dos insetos/ uma população de insetos que apresentam variação/ não é isso?
44. **Estudante 1:** No caso/ com o passar do tempo/ essa bactéria se evolui/ e ela cria uma defesa contra aquele antibiótico. Em todo caso/ essa variação/ ela sofreu variação e uma evolução para conseguir sobreviver aquele antibiótico.

Nos turnos de fala 38, a estudante1 usou uma linguagem teleológica, sugerindo a idéia de que a produção de variação fenotípica, aqui entendida de uma perspectiva transformacional, é direcionada para o ajuste às condições ambientais, "para se adaptarem aquele tipo de substância". E, portanto, determinístico e dirigido a metas. No turno de fala 44, inicialmente é atribuído à bactéria a ação intencional de evoluir e criar defesa contra antibiótico, e em seguida muda-se a formulação de modo que a bactéria se torna o paciente desta ação, "sofreu variação e uma evolução para conseguir sobreviver aquele antibiótico".

O estudante 2 não teve uma participação muito efetiva nas explicações narrativas produzidas nesta aula, completando apenas algumas lacunas deixadas pela narrativa da estudante 1, mas pouco relevantes para a descrição do processo evolutivo em si. Na aula seguinte, e última da seqüência, contudo, o estudante 2 desenvolve uma narrativa variacional para explicar a resistência de pragas agrícolas a inseticidas como já comentamos na seção 6.2.1. acima. Nesta narrativa, o estudante 2 não recorre a formulações teleológicas para explicar o processo evolutivo em si. Uma linguagem antropomórfica é utilizada apenas quando descreve o evento de cruzamento dos besouros sobreviventes à aplicação do antibiótico. Neste contexto, é atribuído aos besouros um comportamento humano no modo como cortejam os parceiros. As únicas ações deliberadas dos besouros são referentes ao acasalamento e reprodução.

Portanto, ao que nos parece, o uso de uma linguagem teleológica e antropomórfica, característica do modo de pensar da zona "perspectiva transformacional" de nossa proposta de perfil, possibilitou aos estudantes se comunicarem no processo de negociação de significados em torno de perspectivas evolutivas de explicar adaptação. Sempre que novas situações relativas a mudanças adaptativas em populações eram exploradas, o uso desta linguagem se

apresentou como um primeiro passo para que os estudantes abordassem o fenômeno como um problema que demanda uma explicação causal, de natureza etiológica. Acima de tudo, esta linguagem se apresentou como o meio encontrado pelos estudantes para atribuir significados aos dados apresentados pela professora, pelas atividades e material didáticos, assim como para se engajarem nas interações discursivas em sala de aula. Como vimos, no caso da participação da estudante 16 na discussão do jogo dos clipsitacídeos, em muitas ocasiões, as contribuições feitas pelos estudantes a partir do uso de formulações teleológicas introduziram idéias e perspectivas de análise que geraram sementes para que o discurso da sala de aula pudesse ser orientado para a perspectiva da ciência escolar.

A medida que os estudantes tinham acesso ao modo de falar da ciência escolar a respeito dos processos evolutivos investigados, e era construída uma univocidade em torno desta perspectiva, a freqüência e abrangência do uso da linguagem teleológica em sala de aula, ia sendo reduzido, chegando a ser praticamente eliminado.

6.2.4 Compromissos estruturais das zonas anteriores ao ponto de vista escolar: obstáculos epistemológicos ou sementes conceituais?

A análise que fizemos nas seções anteriores, acerca do valor pragmático das zonas do perfil anteriores à perspectiva variacional, sugere que alguns dos compromissos epistemológicos e ontológicos das zonas pré-científicas – na falta de um termo mais adequado – que a princípio poderiam ser interpretados como obstáculos epistemológicos ao desenvolvimento do ponto de vista da ciência escolar, ao contrário, exercem, de modo paradoxal, o papel de instrumentos de pensamentos e ferramentas empregados pelos estudantes para se aproximarem gradualmente da linguagem social da ciência.

A emergência e negociação de significados em torno destes compromissos em sala de aula, a exemplo da linguagem antropomórfica e teleológica e das narrativas que explicam a adaptação de uma perspectiva transformacional, em primeira instância, permitem que os estudantes possam se comunicar a respeito dos fenômenos biológicos, tal como apresentados pelo discurso da ciência escolar, e lhes atribuam significados. Esta interpretação pode ser amparada pela noção de economia cognitiva, o reconhecimento de que tendemos a resolver os problemas fazendo uso de conceitos mais simples e empregando uma linguagem que nos é familiar. Os modos de falar das zonas ajuste providencial e perspectiva transformacional, aos quais nos referimos acima, são empregados com freqüência, e têm grande alcance, na linguagem cotidiana. Outra razão pela qual os referidos compromissos episetemológicos e ontológicos devem ser valorizados é o fato de exercerem importante papel que na tomada de

consciência pelos alunos dos aspectos que distinguem a linguagem social cotidiana da linguagem social da ciência.

A partir destes argumentos estamos propondo que tais compromissos sejam vistos como sementes conceituais e não propriamente, ou exclusivamente, como obstáculos epistemológicos. Esta proposta gera implicações para o modo como alguns aspectos do processo de elaboração conceitual dos alunos em sala de aula, especificamente do papel que o professor exerce neste processo, eram pensados quando do desenvolvimento inicial do modelo de mudança de perfis conceituais (Mortimer, 1994; 1995; 2000).

Ao analisar as conseqüências da noção de perfil conceitual para o planejamento de ensino, Mortimer (2000a, p. 143) propôs que um dos papéis fundamentais do professor era identificar os obstáculos ontológicos e epistemológicos à compreensão do conceito científico a ser ensinado, explicitar sua existência e discutir com os alunos as dificuldades de superação, de modo a auxiliá-los na transposição dos mesmos (Mortimer, 2000a, p.143).

Diante do argumento de que certos compromissos que estruturam as formas de pensar das zonas anteriores do perfil se constituem em sementes conceituais para o desenvolvimento do ponto de vista da ciência escolar, a elaboração conceitual não pode ser entendida, propriamente, como um processo que é dirigido pela superação de obstáculos ontológicos e epistemológicos. Mas sim por um processo em que estes supostos obstáculos, de início, se convertam em instrumento de pensamento que aproximam os estudantes gradualmente da linguagem social da ciência escolar, e em seguida, são re-significados para dar lugar a apropriação deste novo modo de falar.

É preciso que o emprego dos modos de falar e formas de pensar próprias das zonas "pré-científicas" – aqui designadas também de zonas anteriores ao ponto de vista escolar – passem por uma espécie de "depuração". Ao longo deste processo, devem ser conservados certos aspectos heurísticos que servem de sementes conceituais, e re-significados outros aspectos que de fato podem se colocar como dificuldades para apropriação do modo de falar da ciência escolar. Vamos explorar como exemplo o caso das narrativas transformacionais construídas pelos estudantes para explicar a mudança adaptativa. Há dois aspectos heurísticos que devem ser valorizados no uso destas narrativas: a abordagem histórica, evolutiva, de explicar a adaptação e a noção de que eventos de mudanças ambientais exercem um papel no processo evolutivo. No entanto, é preciso re-significar dois aspectos. O primeiro deles diz respeito à idéia de que o ambiente age diretamente nos organismos, distinguindo este papel causal do papel de agente seletivo. O segundo deles diz respeito ao tipo de agência. É preciso deslocar a agência dos eventos relativos à mudança evolutiva dos organismos em direção à

pressões seletivas exercidas pelo meio, ou ainda mais idealmente, à construção de uma narrativa em que eventos ocorrem sem que haja uma agência clara.

Este processo deve ser acompanhado pela tomada de consciência dos aspectos que distinguem a linguagem social do cotidiano da linguagem social da ciência. Para tanto, é possível que seja necessária uma abordagem explícita a respeito do significado destes modos de falar, como propõe Zohar e Ginossar (1998) a respeito das formulações teleológicas usadas em sala de aula para tratar dos fenômenos biológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Neste trabalho propusemos um perfil conceitual de adaptação, a partir do exame dialógico de informações advindas de estudos epistemológicos e históricos, da literatura em concepções alternativas, de dados obtidos em entrevistas e questionários com estudantes do ensino médio e do ensino superior, e da análise de alguns episódios de ensino de evolução.

Ao compararmos o processo de construção deste modelo com os processos de constituição de zonas de um perfil para outros conceitos, a exemplo do conceito de espontaneidade e entropia (Amaral, 2004), do conceito de vida (Coutinho, 2005), e do conceito de morte (Nicoli, 2009), concluímos que o modelo de perfis conceituais tem se mostrado aplicável a conceitos situados em campos de conhecimento diferentes. Contudo, podem ocorrer certas particularidades no processo de constituição das zonas, sem que sejam contrariados os princípios teórico-metodológicos a partir dos quais o programa de pesquisa em perfis conceituais tem sido desenvolvido.

A construção de perfis para conceitos centrais da física e da química relativos à matéria e energia, a exemplo dos conceitos de átomo e estados físicos da matéria (Mortimer, 1994; 2000), de molécula (Mortimer, 1997), de calor (Amaral e Mortimer, 2001), e de espontaneidade e entropia (Amaral, 2004), encontraram no perfil epistemológico de Bachelard para o conceito de massa um sistema filosófico adequado para pensar compromissos epistemológicos que estruturam as formas de pensar, ou os hábitos de pensamento, envolvidos na gênese destes conceitos. No entanto, o mesmo não ocorreu com conceitos relativos a outras áreas de conhecimento, para os quais, posteriormente, foram propostos perfis. Este foi o caso de conceitos relativos às ciências biológicas. Na construção do perfil de vida por Coutinho (2005), do perfil de morte por Nicoli (Nicoli, 2009; Nicoli; Mortimer, 2009), assim como em nossa experiência com o perfil de adaptação, foi necessário acessar outros sistemas filosóficos, ou fundamentar-se em diversos estudos epistemológicos acerca da gênese destes conceitos, para proceder a investigação dos compromissos ontológicos e epistemológicos que fundamentavam as diferentes perspectivas de interpretá-los.

As categorias propostas por Bachelard (1984) se pautam em sua análise acerca das diferentes maneiras de conceituar a realidade, formuladas em termos de sistemas filosóficos de pensamento. Esta análise, por sua vez, tem como referência a história da física, e os fatores que influenciaram os processos de construção de conhecimento deste campo científico. Tem se construído um consenso de que a biologia é uma ciência legítima e autônoma em relação à

física, e que apresenta particularidades no modo como constrói o conhecimento acerca dos sistemas vivos, gerando uma agenda própria de investigações para a filosofia da biologia (Mayr, 1988; 1998; 2005; Hull, 1997). Portanto, é compreensível que um sistema filosófico que tem como referência os processos de construção do conhecimento físico não seja adequado à investigação de compromissos epistemológicos que fundamentam as formas de pensar um conceito das ciências biológicas.

Uma das questões que vem ocupando a filosofia da biologia, por exemplo, diz respeito à existência, natureza e papel das leis na construção do conhecimento biológico. As controvérsias acerca deste tema nos apresentaram dois aspectos sobre a produção do conhecimento biológico que podem indicar razões para o enfrentamento de desafios diferentes na construção de perfis para conceitos da biologia. Um deles é destacado no argumento de Beatty (1995) de que a adesão ao pluralismo teórico e o interesse por controvérsias sobre a significância relativa das teorias e mecanismos pelos biólogos podem ser explicados como uma conseqüência da ausência de leis na Biologia. O segundo diz respeito mais a uma recomendação ou proposição do que numa descrição de como os biólogos procedem em relação ao papel das generalizações na investigação biológica. Consiste na proposta de Weber (1999) de que os biólogos adotem um conceito mais amplo de lei, compreendendo as generalizações da Biologia como enunciados que podem ser generalizados para um domínio restrito de aplicação, ou seja, enunciados que podem ser descritos como universalmente válidos dentro daquele domínio, mas inaplicáveis fora dele (El-Hani, 2006).

Este tipo de proposição pode indicar que a biologia tem caminhado para reconhecer um poder heurístico na variação conceitual e busca organizá-la por um caminho distinto da proposição de definições universais. Este fato aponta para uma tendência na Biologia em manter um elevado grau de polissemia semântica em torno de conceitos centrais, não só ao longo da história das idéias, como também contemporaneamente, em decorrência da estabilização de significados múltiplos em diferentes domínios de aplicação.

O exame que realizamos do desenvolvimento do conceito de adaptação nos três domínios genéticos, sócio-cultural, ontogenético e microgenético, levou-nos a concluir que certamente este é o caso do conceito de adaptação, o qual apresenta variação conceitual não só histórica, mas também derivada de divergências entre disciplinas, e mesmo, em decorrência do uso do termo com significados concorrentes no domínio mais restrito da biologia evolutiva.

Diante do grau de polissemia apresentado pelo conceito de adaptação, um passo metodológico que se mostrou fundamental na constituição de zonas do nosso modelo de perfil

de adaptação foi a construção de uma matriz epistemológica, na qual foram mapeados os aspectos epistemológicos e ontológicos envolvidos na significação do conceito de adaptação, identificados a partir do exame dialógico de diferentes fontes e dados primários que nos permitem compreender a gênese deste conceito.

A partir deste procedimento foi possível individualizar quatro zonas de um perfil conceitual de adaptação – funcionalismo intra-orgânico, ajuste providencial, perspectiva transformacional e perspectiva variacional – cuja caracterização epistemológica se mostrou adequada para modelar a heterogeneidade de formas de pensar este conceito no contexto da produção de conhecimento biológico no ensino médio.

Ainda que o foco do nosso estudo tenha sido a produção de significado no ensino médio, propusemos a caracterização de duas formas distintas de significar o conceito de adaptação, internas à perspectiva variacional, para que o modelo de perfil de adaptação também pudesse ser aplicável à análise do discurso em salas de aula de biologia do ensino superior. Foram identificadas duas abordagens variacionais de interpretar o conceito de adaptação, a abordagem adaptacionista e a abordagem pluralista, as quais se distinguem no que diz respeito, mais especificamente, a interpretação do papel exercido pela adaptação na causalidade da forma orgânica e à natureza da solução adaptativa.

A polêmica acerca destes dois temas epistemológicos dificilmente aparece na gênese deste conceito na produção do conhecimento escolar do ensino médio de biologia, contexto cultural em que domina o tema do mecanismo responsável pelas mudanças adaptativas. No contexto do ensino superior, no entanto, espera-se que o compromisso com a perspectiva variacional seja mais amplamente compartilhado, dado à proximidade da linguagem social da ciência com a linguagem social empregada na produção de conhecimento escolar neste nível de ensino. Assim sendo, os processos de negociação de significados podem se dirigir aos temas diversos do mecanismo causal, para os quais ainda há controvérsias no seio da própria biologia evolutiva, a exemplo dos temas citados acima – papel exercido pela adaptação na causalidade da forma orgânica e a natureza da solução adaptativa – em torno dos quais tem se dado o debate entre adaptacionistas e exaptacionistas ou entre os primeiros e àqueles defensores de uma abordagem pluralista do processo evolutivo (capítulo II, seção 2.1). Justifica-se, portanto, a inclusão destes temas na constituição de zonas de um perfil de adaptação que possa ser aplicável à investigação da aprendizagem de evolução que ocorre tanto em situações de ensino médio como de ensino superior.

Este modelo inicial do perfil de adaptação foi aplicado, de modo integrado a estrutura analítica de Mortimer e Scott (2002; 2003), à análise discursiva de episódios de ensino de

evolução, produzidos ao longo de uma seqüência didática para o ensino da teoria darwinista da seleção natural, em uma turma do terceiro ano do ensino médio. Os dados produzidos a partir desta análise nos permitiram avaliar: (1) Em que medida este modelo de perfil nos permite modelar, não só a heterogeneidade de formas de pensar, como também os modos de falar sobre este conceito na sala de aula de biologia do ensino médio; e (2) a heurística do modelo como ferramenta de análise da dimensão cognitiva do discurso produzido na sala de aula de biologia, no contexto do ensino de evolução.

A caracterização dos compromissos epistemológicos e ontológicos das zonas do perfil conceitual de adaptação se mostrou satisfatória para modelar a interanimação de vozes e a negociação de significados em torno das diferentes perspectivas de explicar a diversificação da forma orgânica, ao longo das interações discursivas em sala de aula. Foi possível perceber, contudo, que algumas categorias que haviam sido identificados na matriz epistemológica (capítulo II, p.158 e 159), mas que não foram consideradas de modo sistemático e expressivo na constituição das zonas, tiveram um papel significativo na análise discursiva dos episódios de ensino. Foi o caso especificamente da oposição entre visão prospectiva e retrospectiva de interpretar a natureza ontológica da adaptação e a oposição entre uma perspectiva internalista e uma perspectiva externalista de conceber a relação entre organismo e ambiente nos processos evolutivos. Seria o caso, portanto, de examinar a pertinência de incluí-las na caracterização das zonas já existentes.

No que diz respeito ao potencial heurístico do modelo como ferramenta da análise do discurso produzido em sala de aula, a análise de episódios de ensino apresentada no capítulo V nos mostrou que a aplicação do perfil, de modo integrado à estrutura analítica desenvolvida por Mortimer e Scott, nos permite construir uma descrição do processo de significação e de sua relação com a dinâmica discursiva estabelecida em sala de aula. Foi possível identificarmos e descrevermos etapas de apropriação do ponto de vista da ciência escolar pelos estudantes em sala de aula, e relacioná-las às estratégias enunciativas empregadas pela professora, assim como a outros aspectos do contexto discursivo, como a ênfase em certos conteúdos e mudanças na intenção da professora (Figura 24, p. 318).

Esta análise integrada possibilitou caracterizarmos, em termos semânticos, lingüísticos e sociais, os contextos discursivos em que houve negociação de significados em torno de diferentes modelos explicativos para a mudança evolutiva, assim como àqueles em que se construiu uma univocidade em direção a perspectiva darwinista.

Foi possível concluirmos, por exemplo, que os contextos discursivos em que o tema dos enunciados consistiu em enfatizar a relação forma e função, ou exaltar a harmonia entre

estrutura orgânica e modos de vida, propiciaram a emergência de uma perspectiva providencial de explicar adaptação.

A elaboração de uma perspectiva evolutiva de interpretar a diversidade da forma orgânica, por sua vez, ocorreu em contextos em que foram examinados casos específicos e bem documentados de irradiação adaptativa, que envolviam a apresentação de dados biogeográficos. Neste caso, a emergência de uma explicação evolutiva para adaptação ocorreu após a noção de ancestralidade comum ter sido introduzida, através de uma abordagem comunicativa de autoridade, e terem sido utilizados recursos fraseológicos que levavam ao desenvolvimento de uma narrativa histórica, como foi o caso das questões "O que ocorreu?", "Como surgiu?", "Como se explica o desenvolvimento?", ou que denotavam a idéia de processo gradual – "vão se adaptando" "vão mudando" "vão passando".

Uma estratégia enunciativa da professora, que nos pareceu fundamental para que ocorresse o desenvolvimento e a construção de univocidade em torno da perspectiva evolutiva de interpretar adaptação, foi o apoio dado aos estudantes na construção de explicações narrativas, ainda que neste momento estas narrativas fossem produzidas segundo um modo de falar próprio de uma perspectiva transformacional de interpretar adaptação. A construção de narrativas pelos estudantes foi essencial para que houvesse negociação de significados entre a forma de pensar representada pela zona do ajuste providencial e a perspectiva transformacional de explicar a mudança adaptativa.

A ênfase na variação fenotípica nas populações, a comparação entre a eficiência destas variantes no desempenho da mesma tarefa, e o tratamento de fenômenos demográficos, por sua vez, foram condições para que fosse desenvolvida a forma de pensar representada pela zona da perspectiva variacional darwinista de interpretar adaptação.

Uma mudança no modo de falar importante para o desenvolvimento desta perspectiva consistiu no deslocamento da agência das narrativas construídas pelos estudantes para explicar a mudança adaptativa. Inicialmente, as narrativas construídas em sala de aula tinham como agentes os organismos, os quais eram responsáveis pela própria mudança adaptativa. Uma marca distintiva deste modo de falar é o uso recorrente das expressões *"teve de se adaptar"* ou *"tiveram que se adaptar"*. Ao propor desafios e fornecer apoios aos estudantes na elaboração de narrativas, a professora conseguiu deslocar este papel para as populações de organismos, e posteriormente, de modo não interativo, foram enunciadas por ela mesma narrativas em que não havia agentes claros, mas uma cadeia de eventos que levavam à mudança evolutiva de populações de organismos. Neste novo modo de falar, as populações e os organismos passaram a ser objetos de um processo de evolução por seleção natural. O uso

de expressões como *"foram selecionados"*, *"foram favorecidos"*, *"sofreu mudança"* são marcas lingüísticas representativas deste modo variacional de falar sobre adaptação.

A aplicação do perfil de adaptação à análise de episódios de ensino tornou evidente, portanto, o fato de que na significação de explicações darwinistas não são negociados apenas compromissos epistemológicos e ontológicos que estruturam formas de pensar adaptação, mas também os modos de falar sobre este conceito.

Assim, um dos investimentos que empreendemos para aumentar o poder heurístico do modelo de perfil que propusemos neste estudo, consistiu em caracterizar modos de falar típicos de cada uma de suas zonas, não só em termos do uso de expressões recorrentes, mas também em termos de linguagens sociais empregadas e formas típicas de enunciados produzidos na significação do conceito de adaptação. Partindo das noções de linguagem social e gênero de discurso de Bakhtin (1981; 1992), propusemos uma caracterização enunciativa para cada uma das quatro zonas que compunham nosso perfil de adaptação (Quadro 25, p. 339).

Outro aspecto que se mostrou necessário ao aperfeiçoamento do modelo foi uma análise a respeito do valor pragmático das zonas geneticamente anteriores à perspectiva variacional – esta última correspondente ao ponto de vista da ciência escolar. Ao fazê-lo, constatamos uma peculiaridade do conceito de adaptação: nem todas as formas de pensar adaptação, representadas em nosso modelo de perfil conceitual, apresentam significados correspondentes na linguagem cotidiana que tenham valor pragmático no dia-a-dia do cidadão comum. O papel desempenhado por alguns modos de falar próprios das zonas ajuste providencial e perspectiva transformacional na aprendizagem da explicação darwinista – a exemplo da construção de narrativas e do uso da linguagem teleológica – nos levou a propor que o valor pragmático das zonas anteriores à perspectiva variacional reside em suas aplicações como instrumento de pensamento e ferramentas empregados pelos estudantes para atribuírem significado ao ponto de vista da ciência escolar e se aproximarem gradualmente da linguagem social da ciência.

Consideramos esta proposição uma das contribuições mais relevantes do nosso estudo ao programa de pesquisa em perfis conceituais, uma vez que apresenta as seguintes implicações para suas bases teóricas: os compromissos ontológicos e epistemológicos que estruturam as zonas anteriores do perfil– freqüentemente designadas pré-científicas – devem ser vistos como possíveis sementes conceituais, e não prioritariamente, ou exclusivamente, como obstáculos epistemológicos ao desenvolvimento das zonas posteriores. Em decorrência desta segunda proposição, argumentamos também que a elaboração conceitual dos estudantes

não pode ser entendida, propriamente, como um processo que é dirigido pela superação de obstáculos ontológicos e epistemológicos. Mas sim, como um processo em que, muitos destes "supostos" obstáculos, de início, se convertam em instrumento de pensamento que aproximam os estudantes gradualmente da linguagem social e do ponto de vista da ciência escolar, e em seguida, são re-significados para dar lugar à apropriação de novos modos de falar e novas formas de pensar.

Em termos da metodologia de constituição de zonas de um perfil, o estudo apresenta as seguintes contribuições: (1) a proposição da construção de uma matriz epistemológica como passo metodológico importante para organizar a polissemia em torno do conceito investigado, de modo a gerar categorias que serão derivadas às zonas de um perfil; (2) a proposição de que dados advindos da análise do discurso da sala de aula podem ser incorporados ao processo de construção de perfis conceituais, uma vez que estes dados permitem a caracterização dos modos de falar típicos de cada uma das zonas, descritos em termos de linguagens sociais empregadas, e formas típicas de enunciados produzidos, na significação do conceito. Deste modo, é possível incrementarmos a caracterização epistemológica das zonas de um perfil, integrando-a a uma caracterização enunciativa.

Em relação ao perfil conceitual de adaptação, sugerimos os seguintes investimentos futuros: (1) o uso deste modelo de perfil na elaboração e validação de seqüências didáticas para o ensino de evolução; (2) a construção de um perfil conceitual de adaptação que organize a variação conceitual em torno deste termo no domínio específico da biologia evolutiva, e a avaliação de seu potencial em esclarecer as ambigüidades geradas por esta polissemia, que afetam as atividades de pesquisa e projetos explanatórios relativos ao pensamento darwinista. Este segundo investimento, justifica-se pelo fato de que as principais controvérsias contemporâneas a respeito da teoria darwinista de evolução, as quais giram em torno do alcance, da eficiência e da agência da seleção natural (Gould, 2002; Meyer; El-Hani, 2005), encontram-se contaminadas pelo uso ambíguo do termo adaptação, e de sua fusão com outros conceitos relacionados, como o de adaptatividade e aptidão darwiniana (fitness) (Burian, 2005; Sepulveda; El-Hani, 2009).

O estudo também sugere ou reforça a relevância de algumas pautas para a agenda de pesquisa em ensino de evolução, como: (1) o exame teórico e a investigação empírica do papel que as narrativas podem desempenhar na aprendizagem de modelos darwinistas de explicar a evolução da vida; (2) a identificação de quais características uma explicação narrativa para a origem e diversificação da forma orgânica deve satisfazer para ser

considerada adequada do ponto de vista darwinista, no que diz respeito, por exemplo, à agência e seqüência de eventos; e (3) a análise mais aprofundada de como a linguagem teleológica pode ser empregada de modo a promover a significação da explicação darwinista no ensino médio, do ponto de vista epistemológico e da re-contextualização didática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALMEIDA, A. M.R de. **O papel funcional da diversidade biológica: uma análise da atribuição de função à biodiversidade na ecologia das últimas décadas.** 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana. 2004.

ALLEN, C.; BEKOFF, M. Biological function, adaptation and natural design. **Philosophy of Science**, v. 62, p. 609-622. 1995.

ALTERS, B.J.;NELSON, C.E. Teaching Evolution in Higher Education. **International Journal of Organic Evolution**, v. 56, n.10, p. 1891-1901. 2002.

AMUNDSON, R. Historical development of the concept of adaptation. In: ROSE,M.R.; LAUDER,G.V. (ed.) **Adaptation**. San Diego_CA: Academic Press. 1996.

AMARAL, E. M. R. **Perfil conceitual para a segunda lei da termodinâmica aplicada às transformações físicas e químicas e dinâmica discursiva em uma sala de aula de química do ensino médio**. 2004. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

AMARAL, E.M.; MORTIMER, E.F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira em Educação em Ciências**, v. 1, n.3, p. 5-18. 2001.

AMARAL, E; MORTIMER, E.F. Uma metodologia para estudar a dinâmica entre as zonas de um perfil conceitual no discurso da sala de aula. In: SANTOS, F. M.T.; GRACA, I. M.R.. (Org.). **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Injuí: Editora UNIJUÍ, 2006.

ANDERSON, D.L.; FISHER, K.M.; NORMAN, G.J.. Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. **Journal of Research in Science Teaching**, v.10, p. 952-978, 2002.

ASH, Doris. Negociation of biological thematic conversations in informal learning settings. In: LEINHARDT, G; CROWLEY, K.; KNUTSON, K. (eds.). **Learning conversations in museums**. Mahwah, n.j.: Erlbaum.. 2002. p. 357-400

ASH, Doris. Thematic Continuities: Talking and Thinking about adaptation in socially complex classroom. **Journal of research in Science Teaching**, vol. 45, n. 01, p. 1-30. 2008.

ASTOLFI, J.P.; DEVELAY, M. **A didática das ciências.** 2. ed. Campinas: Papirus, 1991.

AYALA, F.J. Adaptation and novelty: teleological explanation I evolutionary biology. **History & Philosophy of life Sciences**, vol. XIX, n. 1, p. 3-33. 1999.

AYALA, F.J. Darwin's explanation of design: From natural theology to natural selection. **Infection, Genetics and Evolution**. Artigo no prelo, prova retificada, disponível online desde outubro de 2009. doi: 10.1016/j.meegid. 2009.

AYUSO,E.; BANET, E. Relaciones genética-evolución em la educación secundaria. Concepciones de los alumnos y actividades de enseñanza em el marco del constructivismo. **Enseñanza de las ciencias**, número extra, v. congresso, p. 277-278. 1997.

BACHELARD, G. **A filosofia do não.** São Paulo: Abril Cultural p.1-87. (Coleção os Pensadores). 1984.

BANDEIRA, F. P. S. F.. Um estudo em perspectiva: etnopedologia e etnoecogeografia do grupo indígena Pankararé. **Cadernos de Geociências**, v. 5, p.107-128. 1996

BAKHTIN, M.M. Discourse in the novel. In: M. HOLQUIST (ed.). **Dialogical Imagination.** Austin: University of Texas Press. .1981.

BAKHTIN, M. M. **Speech genres and other late essays**. Austin, TX: University of Texas Press. 1986.

BAKHTIN, M. M. **Estética da criação verbal.** Tradução de M. E. Galvão. 3ed. São Paulo: Martins Fontes. 2000.

BAPTISTA, G.C.S.; EL-HANI, C.N. Investigações etnobiológicas e ensino de biologia: uma experiência de inclusão do conhecimento de alunos agricultores na sala de aula de biologia. In: TEXEIRA, P. M. (Ed.) **Ensino de Ciências. Pesquisa e reflexões**. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2006.

BEATTY, J. Why do biologists argue like they do? **Philosophy of Science**, 64, p. S432-S443. 1997.

BISHOP, B.A., ANDERSON, C.W. Student conception of natural selection and its role in evolution. **Journal of Research in Science Teaching,** v. 27, n. 5 , p.415-427.1990

BIZZO,N.M.V. **Ensino de evolução e história do Darwinismo**. 1991. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BIZZO,N.M.V. From Down House Landlord to Brazilian hight school students: what hás happened to evolutionary Knowledge on the way. **Journal of Research in Science Teaching,** v.31, n.5, p.. 517-556. 1994.

BOCK, W. The synthetic explanation of macroevolutionary change – a reductionisc approach. **Bulletin Carnegie Museum of Natural History**, v.13, p. 20-69. 1979.

BOCK, W. The definition and recognition of biological adaptation. **American Zoologist**, v.20, p.217-227. 1980.

BOCK, W.J.; WAHLERT,G. Adaption and the form-function complex. In: Allen,C: Becoff, M.; Lauder, G. (eds.) **Nature´s purposes: analysis of function and design in Biology**. Cambridge: MIT Press,. 1998. p. 117-169.

BOWLER, P. J.**El Eclipse del Darwinismo**. Barcelona: Labor. 1983

BOWLER, P.J. **Evolution**: The History of an Idea. 3ed. Berkeley-CA: University of California Press.2003. 464 p.

BRANDON, R.N. **Adaption and enviroment.** Princeton: Princenton University Press. 1990.

BRUMBY, M. N. Misconceptions about the Concept of Natural Selection by Medical Biology Students. **Science Education**, v.68, n.4, p.493-503, 1984.

BRUNER, J. **Acts of meaning**. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1990.

BULL, J. J.; WICHMAN, H. A. Applied evolution. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 32, p. 183-217, 2001

BULLER, D. J. Function and Design. In: ARIEN, A; CUMMIS, R; PERLMAN, M. **Functions:** New essays in the philosophy of psychology and biology. Oxford: Oxford University Press. 2002. p. 222-243.

BURIAN, R.M. **The epistemology of development, evolution and genetics**: selected essays. Cambridge: Cambridge University Press. 2005.

CANDELA, A. **Ciencia en la aula: los alumnos entre la argumentación y el consenso**. Cidade do México: Paidos Educador. 1999.

CAPONI, G. La regla de Darwin. **Principia**, vol. 4, n. 1, p.27-77. 2000.

CAPONI, G. Explicación selecional Y explicación funcional: la teleologia en la Biologia contemporanea. **Episteme**, n. 14, p.57-88. 2002.

CAPONI, G. Darwin: entre Paley y Demócrito. **História, Ciência, Saúde** - Manguinhos, vol. 10, n. 03, p. 993-1023. 2003.

CAPONI, G. O darwinismo e seu outro: a teoria transformacional da evolução. **Scientiae Studia**, v. 3, p. 233-242. 2005.

CAPONI, G. El vivente y su medio: Antes y después de Darwin. **Scientiae Studia**, v. 4, n. 1, p. 9-43. 2006.

CARMO; R. S.do.; NUNES NETO, N.F. ; EL-HANI, C.N. Explicações funcionais em livros didáticos de biologia do ensino médio**.** Em: MORTIMER, E. F. (ORG.). **Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte: ABRAPEC. 2009. CD-ROM.

CASTANHEIRA, L. **Aprendizagem contextualizada: discurso e inclusão na sala de aula**. Belo Horizonte: Autêntica. 2004.

CHI, M. T. H. Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In: GIERE, R. N. (Ed.), **Cognitive models of science.** Minneapolis, MN: University of Minnesota press. 1991. , p.129-186

CHI, M. T. H. Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In GIERE, R. N. (Ed.), **Cognitive models of science**. Minneapolis, MN: University of Minnesota press,. 1992. p. 129-186.

CLOUGH, E.E.; WOOD-ROBINSON, C. How secondary students interpret instances of biological adaptation. **Journal of Biological Education**, v. 19, n.2, pp. 125-130. 1985.

COBERN, W. W. **World view theory and science education research**. NARST Monograph, n.3. Manhattan, KS: National Association for Research in Science Teaching. 1991.

COBERN, W.W. Worldview theory and conceptual change in science education. **Science Education**, v. 80, n. 5, p. 579-610.1996.

COBERN, W.W.; LOVING, C.C. Defining Science in a multicultural world: Implications for Science Education**. Science Education**, v.85, p. 50-97, 2001.

COUTINHO, F. A. **Construção de um perfil conceitual de vida**. 2005. Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

COUTINHO, F.A; MORTIMER, E.F.; EL-HANI, C.N. Construção de um perfil para o conceito biológico de vida. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n.1. 2007.

CRUZ, A.R.S. da. **Mestras do sertão: reconstituindo caminhos percorridos**. 2000. 193f. Dissertação (Mestrado em Educação). Salvador. Faculdade de Educação. Universidade Federal da Bahia. 2000.

CUMMINS, R. Functional Analysis. In: ALLEN, C.; BEKOFF, M.; LAUDER, G. (Org.). **Nature's Purposes**: analyses of function and design in Biology. Cambridge, MA: MIT Press, 1998. p. 169-196.

DARWIN, C. **Origem das Espécies**. Tradução Eugênio Amado. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/EDUSP. [1859] 1985.

DAUGHER, Z.R, BOUJAOUDE, S. Students' Perceptions of the Nature of Evolutionary Theory. **Science Education**, v. 85, n3. pp.378-391.2005.

DEMASTES, S.S.; STTLAGE, J. ; GOOD, R. Students' Conceptions of Natural Selection and Its Role in Evolution: Cases of Replication and Comparison. **Journal of Research in Science Teaching** v.32, n. 5, p.535-50, 1995.

DEMASTES,S.S; GOOD,R.G.; PEEBLES, P. Patterns of conceptual change in evolution. **Journal of Research in Science Teaching, v.33, n.4,** pp.407-431, 1996.

diSESSA, A. A. Towards an epistemology of physics. **Cognition and Instruction**, v. 10, p. 101-104. 1993.

DUIT, R.,; TREAGUST, D. Learning science: From behaviourism towards social constructivism and beyond. IN: B. J. FRASER; K. G. TOBIN (EDS.), **International handbook of science education** . Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.1998.

DURKHEIM, E. **Selected writings**. Cambridge: Cambridge University Press. 1972.

EL-HANI, C. N. Generalizações ecológicas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 10, n. 1, p. 17-68. 2006.

EL-HANI, C.N.; BANDEIRA, F. P.S.F. Valuing indigenous knowledge: to call it ‘‘science’’ will not help. **Cultural Studies of Science Education,** v.3, p. 751–779. 2008. (DOI 10.1007/s11422-008-9129-6).

EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. Multicultural Education, Pragmatism, and the Goals of Science Teaching. **Cultural Studies of Science Education**, vol. 2, n. 4, p. 657-687. 2007 a.

EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. Understanding typically yields beliefs: a neglected point in Hoffmann reaction to our idea of “cultural sensitive science education”. **Cultural Studies of Science Education**, vol. 2, n. 3, p. 695-702. 2007 b.

EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. O Valor Pragmático da Linguagem Cotidiana. In: CUNHA, A. M.; MORTIMER, E. F.; AGUIAR JR., O. G.; NASCIMENTO, S. S.; FONSECA, M. C. F. (Orgs.). **Convergências e Tensões no Campo da Formação e do Trabalho Docente**: Educação Ambiental, Educação em Ciências, Educação em Espaços Não-Escolares, Educação Matemática - Coleção Didática e Prática de Ensino. Belo Horizonte: Autêntica. 2010. p. 327-350.

EL-HANI, C. N.,; PIHLSTRÖM, S. **A pragmatic realist view of emergence**. Manuscrito, XXV, p. 105-154. 2002.

EL-HANI, C. N.; SEPULVEDA, C. Referenciais teóricos e subsídios metodológicos para a pesquisa sobre as relações entre educação científica e cultura. In: F. M. T. SANTOS; I. M. R. GRECA (Orgs.), **A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias**. Ijuí-RS: UNIJUÍ. 2006, p. 161-212.

EL-HANI, C.N; SEPULVEDA, C. The relationship between science and religion in the education of protestant biology preservice teachers in a Brazilian university. **Cultural Studies of Science Education**, v.5, p.103–125. 2010.

FERRARI, M. ; CHI, M.T.H. The nature of naïve explanations of natural selection. **International Journal of Science Education**. , v. 20, n. 10, p. 1231-1256, 1998.

FERREIRA, A.B. de H. **Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.1985.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Tradução de Octanny S. da Mota e Leônidas Hegenberg.3ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves. 1998.

FORQUIN, J.C. **Escola e Cultura**: as bases sociais e epistemológicas do conhecimento escolar. Porto Alegre: Artes Médicas,1993

FREIRE Jr. , O. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. In: SILVA FILHO (ed.) **Epistemologia e ensino de ciências**.Salvador: Arcádia, 2002.

FUTUYMA,D. **Biologia evolutiva**. Ribeirão Preto: SBG/CNPq. 1992.

FUTUYMA, D. J. (Ed.). **Evolução, Ciência e Sociedade**. São Paulo: SBG, 2002.

GAGLIARDI, R. Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigacion. **Enseñanza de las Ciencias,** v. 4, n.1, p. 30-35, 1986.

GALILI, I; BAR, V. Motion implies force: where to expect vestiges of the misconceptions? **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 1, p. 63-81. 1992.

GEE, J.P. ; GREEN, J.L. Discourse analysis, learning and social practice: a methodological study. **Review of Reacsearch in Education,** v. 23, p. 119-169. 1998.

GENÉ, A. Cambio conceptual y metodológico en la enseñanza-aprendizaje de la evolución de los seres vivos. Un ejemplo concreto. **Ensenãnza de las ciencias**, v. 9, n. 1, p. 22-27. 1991.

GHISELIN, M.T. **The triumph of the Darwiniam Method**. Berkeley: University of California Press. 1969.

GHISELIN, M.T. Darwin's language may seem teleological, but his thinking is another matter. **Biology and philosophy**, vol. 9, p. 489-492. 1994.

GILBERT, J.K.; SWIFT, D.J. Towards a lakatosian analysis of the piagetian and alternative conceptions research programs. **Science Education**, v. 69, n. 5, p. 681-696.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. 2001.
Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n.2, p.125-153, 2001.

GINOSSAR, S. **Plant communication.** Jerusalem: Israeli Center for Science Education. 1993.

GODFREY-SMITH, P. Adaptationism and the power of selection. **Biology and Philosophy**, v.14, p. 181-194. 1999.

GODFREY-SMITH, P. **Three kinds of adaptationism**. In: S.H. ORZACK; E. SOBER (eds.) **Adaptationism and Optimality**. Cambridge: Cambridge Univerity Press. 2001, pp. 335-357.

GOES, M. C. R. de. A abordagem microgenética na matriz histórico-cultural: Uma perspectiva para o estudo da constituição da subjetividade. **Caderno Cedes**, XX , n.50, 2000.

GOULD, S.J. **The Structure of Evolutionary Theory**. Cambridge-MA: Harvard University Press. 2002. 1433p.

GOULD, S.; LEWONTIN, R. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of The Royal Society of London** v.205, p. 581-598. 1979 (reimpresso em SOBER, E. (ED.) Conceptual Issues in Evolutionary Biology, 2ed. Cambridge-MA: MIT Press. 1994)

GOULD, S.; VRBA, E.S. Exaptation – a missing term in the science of form. **Paleobiology**, v. 8, p..4-15.1982.

GRANT, P. R.; GRANT, B. R. Predicting microevolutionary responses to directional selection on heritable variation. **Evolution**, v .49, p. 241-251, 1995

HACKING, I. **Representing and Intervening**: Introductory topics in the philosophy of Natural Science. Cambridge: Cambridge University Press. 1983. 304p.

HALLIDAY, M. ., MARTIN, J.R. **Writing science**. Londres: Falmer Press. 1993.

HEMPEL, C. G. . **Philosophy of natural science.** Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 1996.

HEMPEL, C. G.,; OPPENHEIM, P. Studies in the logic of explanation. **Philosophy of Science**, v.15, n.2, p.135–175. 1948.

HEWSON, P. W. A conceptual change approach to learning science. **European Journal of Research in Science Education**, v. 3, n. 4, p. 383-396. 1981.

HICKS,D. Discourse, learning and teaching. **Review of Research in Education**, v.21, p.49-95. 1995.

HOFFMANN, M. H. G. (2007). Learning without belief-change? **Cultural Studies of Science Education,** vol.2, n.3, p. 688-694

HULL, D. Recent Philosophy of Biology: a review. **Acta Biotheoretica**, v. 50, n. 2, p. 117-128, 2002.

JACOB, F. Evolution and Tinkering. **Science**, vol. 196, n. 4295, p. 1161-1166. 1977.

JANULAW, A.; SCOTCHMOOR, J. **Clipbirds.** [S.I]: UCMP, 2003. Disponível em: < http://www.ucmp.berkeley.edu/education/lessons/clipbirds/> Acesso em: 21/05/09.

JENSEN, M.S.; FINLEY, F.N. Changes in students' understanding of evolution resulting from different curricular and instructional strategies**. Journal of Research in Science Teaching,** v.33, n.8, p.879-900, 1996.

JIMÉNEZ, A.M.P. Thinking about theories or thinking with theories? A classroom study with natural selection. **International Journal of Science Education**, v. 14, p. 15-21. 1992.

JUNGWIRTH, E. Caveat mentor – Let the teacher beware! **Research in Science Education**,v. 5, p. 153-160. 1975

KAMPOURAKIS, K.; ZOGZA, V. Students'preconceptions about evolution: How accurate is the characterization as "Lamarckian" when considering the history of evolutionary thought? **Science & Education**, 16, p. 393-422. 2007.

KITCHER, P. **The advancement of Science; Science without legend, objectivity without illusions.** Nova Yorque: Oxford University Press. 1973.

KOZULIN, A. **Vygotsky's psychology**: A biography of ideas. Nova York: Harvester Wheatsheaf. 1990.

LAKOFF, G.. **Women, Fire, and Dangerous Things**. Chicago: The University of Chicago Press. 1987.

LAUDAN, L. The demise of the demarcation problem. In: LAUDEN, R (ed.). **The demarcation between science and pseudo-science**, v. 21 (p. 7–35). Blacksburg: Virginia Tech Center for the Study of Science in Society/ Working Papers. 1983.

LAUDER, G.V. Historical biology and the problem of design. In: ALLEN,C; BEKOFF,M., LAUDER,G. (ed.) **Nature's Purposes:** Analyses of function and design in Biology.1988.

LAUDER, G.V. The argument from design. In: ROSE,M.R.; LAUDER,G.V. (ed.) **Adaptation**. San Diego_CA: Academic Press. 1996.

LENK, J.L. **Talking science: language, learning and values**. Norwood: Ablex, 1990.

LEVINS, R; LEWONTIN,R.**The dialectical biologist**. Cambridge-MA: Harvard University Press. 1985.

LEWONTIN,R.Adaptation. **Scientific American**, v. 249, pp. 212-222, nov., 1978.

LEWONTIN,R.The organism as the subject and object of evolution, **Scientia**, n 118, p. 63-82. 1983.

LEWONTIN, R. **A tripla hélice**. São Paulo: Companhia das Letras. 2002. 138p.

LOOIJEN, R.C. Functional explanations in Biology. In: **Holism and reductionism in biology and ecology**: the mutual dependence of higher and lower level research programmes. Groninger: University Library Groningen. 1998 (disponível em http:://docaerver.ub.rug.nl/eldoc/dis/fil/r.c.looijen. Acesso em 25 de agosto de 2003).

LOPES, A.R.C. Conhecimento escolar: processos de seleção cultural e mediação didática. **Educação e Sociedade**, v. 22, n. 1, p. 95-112, 1997.

LUCAS, A.M. The teaching of "Adaptation". **Journal of Biological Education**, v.5, p. 86-90. 1971.

KELLY GJ, BROWN C. Communicative demands of learning science through technological design: third grade students' construction of solar energy devices. **Linguistics and Education**, v. 13, p. 483– 532. 2003.

KRESS G, JEWITT C, OGBORN J, TSATSARELIS C. **Multimodal teaching and learning: the rhetorics of the science classroom.** Londres: Continuum, 2001.

MATOS, S. A.; COSTA, F. L. B. DA; SILVA, F. A. R. E; COUTINHO, F. A. Comparação de perfis conceituais de vida entre alunos de escolas evangélicas e não-evangélicas do ensino médio. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte, MG: ABRAPEC. 2007.

MARTINS, I. Dados como diálogo: construindo dados a partir de registros de observação de interações discursivas em sala de aula de ciências. In: Santos, F.M.T.; GRECA, I.M.R.. (Org.). **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Editora UNIJUÍ, 2006.

MARTINS, L. A. C. P. Lamarck e as quatro leis da variação das espécies. **Episteme**, v. 02, n. 3, p. 33-54, 1997.

MATTHEWS, M. R. **Science Teaching: The role of History and Philosophy of Science**. Nova York: Routledge, 1994.

MAYR, E. **The Growth of Biological Thought**. Cambridge-MA: Harvard University Press. 1982.

MAYR, E. **Toward a New Philosophy of Biology**. Cambridge: Harvard University Press. 1988.

MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico**: diversidade, evolução e herança. Tradução Ivo Martinazzo. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 1998.

MAYR, E. **Biologia, Ciência Única**. Tradução Marcelo Leite. São Paulo: Companhia das Letras. 2005.

MAYR, E. **Isto é biologia**: a ciência do mundo vivo. São Paulo: Companhia das Letras. [1997]. 2008.

MAYR, E. **O que é evolução**. Rio de Janeiro: Rocco, 2009.

MEYER.D.; EL-HANI, C.N. Evolução. In: EL-HANI, C.N.; VIDEIRA, A.A.P. **O que é vida afinal?** Para entender a Biologia do Século XXI. Rio de Janeiro: Relume Dumará. 2000. p 153-185.

MEYER,D.; EL-HANI, C.N. **Evolução: o sentido da Biologia**. São Paulo: Editora UNESP, 2005.

MILLAR,R.; OSBORNE, J. (Eds.) **Beyond 2000: Science education for the future**. Londres: King´s College London School of Education. 1998.

MOLINA, A. Investigaciones acerca de la enseñanza, el aprendizaje y los textos escolares en la evolución de la vida: enfoques culturales. In: MOLINA, A. **Enfoques culturales en la**

educación em ciencias: caso de la evolución de la vida. Cuadernos de investigación número 04. Bogotá: Universidade Distrital Francisco José de Caldas. 2004.

MOLINA, A. Analogias, pensamiento científico infantil y revalorización de las teleologias y el antopomorfismo. **TEA- Tecné, episteme y didaxis**. Número extraordinário Tecer Congreso Internacional sobre formación de profesores de Ciencias, p.88-107. 2007.

MORTIMER, E. F.. **Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais**. 1994. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education** v. 4, p. 267-285.1995.

MORTIMER, E. F. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. **Química Nova**, v. 20, n.02, p. 200-207. 1997.

MORTIMER, E. F. Sobre chamas e cristais: a linguagem cotidiana, a linguagem científica e o Ensino de Ciências. In: CHASSOT, A.; OLIVEIRA,R.J. **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: UNISINOS, 1998. p. 99-118.

MORTIMER, E. F.. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2000 a.

MORTIMER, E. F. Microgenetic analysis and dynamic of explanations in science classroom. In: CONFERENCE FOR SOCIOCULTURAL RESEARCH. 3. 2000. Campinas. **Anais da III Conference for sociocultural research.** 2000b.

MORTIMER, E. F. Perfil Conceptual: formas de pensar y habllar en las classes de ciências. **Infância y Aprendizaje**, v. 24, n. 04, p. 475-490, 2001.

MORTIMER, E.F.; MACHADO, A.H. "Múltiplos olhares sobre um episódio de ensino: Por que o gelo flutua na água?". In: **Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências – Linguagem,Cultura e Cognição**. UFMG, 1997, p. 139-162.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. Elaboração de conflitos e anomalia na sala de aula. In: MORTIMER, E. F.; SMOLKA, A. C. (org) **Linguagem, Cognição e Cultura**: reflexões para o ensino e a sala de aula. Belo Horizonte: Autêntica .2001.p. 105-138.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n.3, 2002.

MORTIMER, E.F; SCOTT, P.H. **Meaning making in secondary science classrooms.** Philadelphia: Open University Press. 2003. 141p.

MORTIMER. E. F., SCOTT P. H., EL-HANI, C.N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. In: E. F. MORTIMER (Ed.), **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte, MG: ABRAPEC. 2009.

NAGEL, E. **The structure of science: Problems in the logic of scientific explanation**. Nova York: Harcourt, Brace & World. 1961.

NICOLI, A. A. **Perfil conceitual de morte e abordagem pedagógica do ciclo de vida, no ensino de ciências**. 2009. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educacação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

NICOLI, A. A.; MORTIMER, E.F. **C**onstrução de um perfil para o conceito de morte. In: E. F. Mortimer (Ed.), **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte, MG: ABRAPEC. 2009.

NORRIS,S.P.; GILBERT,S.M.; SMITH,M.L.;HAKIMELAHI,S.; PHILLIPS,L.M.. A theoretical framework for narrative explanation in science. **Science Education** v. 89, n.4, pp. 535-563. 2005.

ODLING-SMEE,F.J.; LALAND,K.N; FELDMAN,M.W. **Niche construction**: the neglected process in evolution. Princeton-NJ: Princeton University Press, 2003.

OGAWA, M. Science education in a multiscience perspective. **Science Education**, v.79,n.5, p. 583-593.1995.

OGBORN, J. ; KRESS, G. ; MARTINS, I.; MCGILLICUDDY, K. **Explaining science in the classroom.** Buckingham: Open University Press,. 1996.

OHLSSON, S. **Young adults' undestanding of evolutionary explanations: preliminary observations.** Thecnical Report. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh. 1991.

OSPOVAT, D. **The development of Darwin Theory**. Cambridge: Cambridge University Press. 1981.301pp.

PIAGET, J**.. La causalidad física em el nino**. Madrid: Espasa-Calpe. 1934.

PIAGET, J. **O desenvolvimento do pensamento**. Equilibração das estruturas cognitivas. Lisboa: Dom Quixote. 1975.

PIGLIUCCI,M.; KAPLAN,M. The fall and rise of Dr. Pangloss: adaptationism and the Spandrels paper 20 years later. **Trends in Ecology and Evolution**, v.15, p.66-70. 2000.

POMEROY, D. Science across cultures: building bridges between traditional Western and Alaskan native cultures. In: HILLS, S. (Ed.) **History and Philosophy of Science in Science Education** vol. 2, Kingston Ontario: Queen's University. p. 257-268. 1992.

POPPER, K. R. Three worlds. In: **The Tanner Lectures on Human Values**. Salt Lake City, UT: University of Utah. 1978. pp.143-167.

POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W.; GERZOG, W. A. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2)\, pp. 211-227. 1982.

PURVES, W.K.; SADAVA, D. ORIANS, G.H. E HELLER, H.C. **Vida: A ciência da biologia**. 6ed. Porto Alegre: Artmed, 2002

REIS, V. P. G. S. **Educação ambiental na escola pública: criando caminhos para problematizar e refletir sobre o ambiente** escolar. 2005. p. 86. Monografia (Especialização em Educação Ambiental para a Sustentabilidade). Universidade Estadual de Feira de Santana.

REIS, V. P. G. S.; EL-HANI, C. N.; SEPULVEDA, C. Aplicação e teste de uma seqüência didática sobre evolução no ensino médio de biología. In: JÓFILI, Z.; ALMEIDA, A. V. (Orgs.). **Ensino de Biologia, Meio Ambiente e Cidadania: Olhares que se Cruzam** (2a Ed.). Recife-PE: UFRPE. 2010.

RODRIGUES, R. H. Os gêneros do discurso na perspectiva dialógica da linguagem: A abordagem de Bakhtin. In: MEURER, J.J.; BONINI, A.; MOTTA-ROTH, D. (orgs.). **Gêneros: teorias, métodos e debates**. São Paulo: Parábola Editorial. 2005. pp. 184-207.

ROJO, R. H. R. Enunciação e interação na ZPD: Do 'non-sense'à construção dos gêneros de discurso. **Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências –** Linguagem, Cultura e Cognição. UFMG, 1997, pp. 95-109.

ROJO, R. H. R. Enunciação e interação na ZPD: Do 'non-sense'à construção dos gêneros de discurso. In: E. F. MORTIMER; A. L. B. SMOLKA. (Org.). **Linguagem, Cultura e Cognição: Reflexões para o ensino e a sala de aula.** 1a ed. Beolo Horizonte: Autêntica/CEALE, 2001.

ROJO, R. Gêneros do discurso e gêneros textuais: questões teóricas e aplicadas. In: MEURER, J.J.; BONINI, A.; MOTTA-ROTH, D. (orgs.). **Gêneros: teorias, métodos e debates.** São Paulo: Parábola Editorial. 2005. p. 184-207.

ROSE, M.R.; LAUDER,G.V. (ed.) **Adaptation**. San Diego_CA: Academic Press. 1996.

ROSS, D. **Aristotle**. 6ed. London: Routledge, 1995. 316p.

ROTH, W-M. **Talking science: language and learning in science classrooms**. Lanham: Rowman and Littlefield. 2005

RUDOLPH,J.L.; STEWART, J. On the historical discord and its implications for Education. **Journal of Reasearch in Science Education**, vol. 35, n.10, pp. 1069-1089. 1998.

RUSE, M. Evolutionary Biology and Teleological Thinking. In: ARIEN, A; CUMMIS, R; PERLMAN, M. **Functions: New essays in the philosophy of psychology and biology**. Oxford: Oxford University Press. 2002.

SADLER, T. D. Evolutionary theory as a guide to socioscientific decision-making. **Journal of Biological Education**, v. 39, n. 2, p. 68-72, 2005.

SANTOS, S.M.M. **A avaliação da prática pedagógica no curso de magistério de 1° grau, da 1° a 4° série, através da percepção de professores e alunos do Instituto Gastão**

Guimarães. Disertação (Mestrado em Educação – Supervisão e Currículo). São Paulo. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. 1989. 125p.

SCHAWAB, J.J. **Biology teacher´s handbook**. Nova York: John Wiley & Sons. 1963.

SCOTT, P.H. Teacher talk and meaning making in science classrooms: a Vygotskian analysis and review. **Studies of Science Education**, v. 32, p. 45 – 80. 1998

SCOTT, P.H.; MORTIMER, E.F; AGUIAR, O.G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: a fundamental characteristic of meaning making interactions in Hight School Science Lessons. **Science Education**, v. 90, p. 605-631.

SEPULVEDA, C. **A Relação Religião e Ciência na Trajetória Profissional de Alunos Protestantes da Licenciatura em Ciências Biológicas**. 2003. 307 p. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana.

SEPULVEDA, C. Aplicação de um perfil conceitual para adaptação à análise de interações discursivas no ensino de evolução. In: E. F. Mortimer (Ed.), **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte, MG: ABRAPEC. 2009.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C. N. Quando visões de mundo se encontram: Religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em ciências biológicas. **Investigações em Ensino de Ciências**, vol.9, n.2, 2004.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C.N. Controvérsias sobre o conceito de adaptação e suas implicações para o ensino de evolução. EM: MORTIMER, E. F. (ORG.). **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte: ABRAPEC. 2007. CD-ROM.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C.N. Adaptacionismo *versus* exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? **Ciência & Ambiente**, v. 36, p. 93-124. 2008.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C.N. Conceptual profile of adaptation: a tool for conceptual organization in thinking about evolution. In: CAPONI, G; MORTARI, C. (org.) **Cadernos de Resumos do VI Simpósio Internacional Principia**: **Charles Darwin e seu impacto na filosofia e na ciência.** Florianópolis;: NEL/UFSC, 2009, p.24-25. 2009.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C. N. The relationship between science and religion in the education of protestant biology preservice teachers in a Brazilian university. **Cultural Studies of Science Education**, vol.5 , n.1 , pp. 103-125. 2010.

SEPULVEDA, C.; MEYER, D; EL-HANI, C.N. Adaptacionismo. IN: ABRANTES, P. **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2010. (no prelo)

SEPULVEDA C., MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. Construção de um perfil para o conceito de adaptação evolutiva. In: E. F. Mortimer (ed.), **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte, MG: ABRAPEC. 2007.

SEPULVEDA, C.; PEREIRA, H.M.R. ; EL-HANI, C.N. Interpretação do fenômeno da adaptação biológica por alunos do ensino médio da rede pública de ensino de Salvador- Ba: Implicações para o ensino de evolução. In: ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA, 10., 2000, São Paulo. **Caderno de programa e resumos do X Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia: História e Percurso da Biologia no Currículo**. Campinas,SP:FE/UNICAMP, 2006.

SEPULVEDA, C; REIS. V.P.G.S.; EL-HANI, C.N. Análise de uma seqüência didática para o ensino de evolução sob uma perspectiva sócio-histórica. In: E. F. Mortimer (ed.), **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte, MG: ABRAPEC. 2009.

SETTLAGE, J. Conceptions of natural selection. A Snapshot of a Sense-Making Process. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 31, n. 5. p. 449-457. 1994.

SHTULMAN, A. Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. **Cognitive Psychology**, v. 52, p. 170-194. 2006.

SILVA, A. da C. T.; MORTIMER, E. F. Aspectos teórico-metodológicos das dinâmicas discursivas das salas de aula de ciências. In: Nardi, R.; Borges, O. (org.) **Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru: ABRAPEC. 2005.

SILVA JÚNIOR, C.; SASSON, S. **Biologia** (7ª Ed.). São Paulo: Saraiva, 2005.

SMITH,M. U.; SIEGEL, H..; McINERNEY, J.D. Foundational issues in evolution education. **Science & Education**, v.4, p. 23-46, 1995.

SMOLKA, A.L.B. "Esboço de uma perspectiva teórico-metodológica no estudo de processos de construção de conhecimento". *In*: GÓES, M.C.R. e SMOLKA, A.L.B. (orgs.). **A significação nos espaços educacionais: Interação social e subjetivação**. Campinas: Papirus, 1997, cap. 2.

SOBER, E. **The Nature of selection**: evolutionary theory in philosophical focus. Chicago: The University of Chicago Press. 1993. 383p.

STERELNY, K. Where does thinking come from? **Biology and Philosophy**, v.12, p.551-566. 1997.

STERELNY, Kim; GRIFFITHS, P. E. **Sex and death**: An introduction to Philosophy of Biology. Chicago: The University Chicago Press. 1999. 440p.

SUTTON, C. **Words, science and learning.** Buckingham: Open University Press. 1992.

TAMIR, P.; ZOHAR, A. Anthropomorphism and teleology in reasoning about biological phenomena. **Science Education**, v. 75, n. 1, p. 57-67. 1991.

TAYLOR, Charles. **The Explanation of Behaviour**. London: Routledge & Kegan Paul Ltd., 1964.

TULVISTE, P. **The cultural-historical development of verbal thinking**. New York, NY: Nova Science. 1991.

van DIJK, T.A. **Discourse as structure and process**. Discourse studies: a multidisciplinary introduction. Vol1. Londres: Sage Publications. 1997.

van FRAASSEN, B. C. **The scientific image**. Oxford: Clarendon.1980

VARGENS, M.M.F. **Análise dos efeitos do jogo Clipsitacídeos (Clipbirds) sobre a aprendizagem de estudantes do ensino médio sobre evolução**. 2009. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento) - Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2009.

VARGENS, M.; EL-HANI,C. N. Análise dos efeitos do jogo clipsitacídeos (clipbirds) sobre a aprendizagem de estudantes do ensino médio sobre evolução. **Submetido à Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências.**

VYGOTSKY, L. S. **Mind in society: the development of higher psycological process**. Cambridge: havard University Press. 1978.

VYGOTSKY, L.S. The genesis of higher mental functions. In J.V. WERTSCH (ed.) **The Concept of Activity in Soviet psychology**. Armonk-NY: Shape. 1981.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes. 2001.

VOLOCHINOV, V. N.. **Marxismo e filosofia da linguagem**. Tradução Michael Laudud e yara Frateschi Vieira. São Paulo: Hucitec,1992.

WEBER, M. The aim and structure of ecological theory. **Philosophy of Science**, v. 66, p. 71-93. 1999

WEST-EBERHARD, M. J. Adaptation: Current Usages. IN: KELLER, E.F.; LLOYD, E.A. (eds.). **Keywords in evolutionary biology.** Cambridge: Harvard University Press, 1992. p. 13-18.

WERTSCH, J. V. **Vygotsky and the social formation of mind.** Cambridge: Harvard University Press. 1985.

WERTSCH, J. V. **Voices of the mind**: a sociocultural aprroach to mediated Action. Cambridge: Harvard University Press. 1991.

WERTSCH, J.V.; HICKMANN, M. "Problem solving in social interaction: A microgenetic analysis". *In*: HICKMANN, M. (org.). **Social and functional approaches to language and thought.** Nova York: Academic Press, 1987.

WERTSCH, J. V.; SMOLKA, A.C. Continuando o diálogo: Vygotsky, Bakhtin e Lotman. In H. DANIELS (Ed.). **Vygotsky em foco**: **Pressupostos e desdobramentos**. Campinas: Papirus. 2001.

WERTSCH, J. V.; STONE, C.A. The concept of internalization in Vygotsky's account of the genesis of higher mental functions. In: WERTSCH, J. V. (Ed.) **Culture, communication and cognition: vygotskian perspectives.** Cambridge: Cambridge University Press. 1985.

WILLIAMS, G. C. **Adaptation and Natural Selection**. Princeton:Princeton University Press. 1966.

WOOD-ROBINSON, C. Young people´s ideas about inheritance and evolution. Syudies in Science Education, v. 24, p. 29-47. 1994.

WOUTERS, A.G. Design explanations: determining the constraints on what can be alive. **Erkenntnis**, v. 67, p. 67-80. 2007

WRIGHT, L. Functions. In: ALLEN, C.; BEKOFF, M.; LAUDER, G. (orgs). **Nature's Purposes**: analyses of function and design in Biology. Cambridge, MA: MIT Press,1998. p. 51-78.

ZOHAR, A; GINNOSSAR, S.H. Lifting the taboo regarding teleology and antropomorphins in Biological-Heretical Suggestions. **Science Education**, v. 82, p. 679-697. 1998.

ZUZOVSKY, R. Conceptualizing a teaching experience on the development of the idea of evolution: an epistemological approach to the education of science teachers. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 31, n. 5, p. 557-74, 1994.

APÊNDICE 1:
PROTOCOLO DE ENTREVISTA APLICADO A ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO

Apresentação:
Obrigado pela entrevista. Como já havíamos conversado com você e com seus pais, estamos realizando um estudo sobre as idéias que os alunos do ensino médio apresentam sobre a noção de adaptação dos seres vivos. Para tanto, precisamos realizar entrevistas com vocês.
Como já dissemos, tudo que for dito nesta entrevista permanecerá confidencial. Caso em algum momento você sinta necessidade de interromper a entrevista, fique à vontade para fazê-lo.
[Quando for o caso de alunos de uma das participantes do projeto: "Quero lembrar também que esta entrevista não é nenhuma forma de avaliação, não tem nenhuma relação com avaliação da disciplina Biologia".]
Vamos apenas conversar um pouco sobre suas idéias sobre alguns fenômenos do mundo vivo, a diversidade de organismos vivos, a origem e diversidade de suas estruturas e comportamentos. O motivo é que queremos entender melhor a forma como você pensa, quais são suas idéias, para que possamos pensar qual a melhor forma de abordar estes assuntos nas aulas de Biologia.
Estarei gravando a entrevista, porque será difícil para mim ao mesmo tempo prestar atenção no que você está dizendo e fazer anotações, mas caso você se sinta desconfortável com a gravação, podemos interrompê-la.

Eu irei descrever algumas características apresentadas por seres vivos ou eventos que aconteceram e acontecem na natureza, apresentando na maioria das vezes figuras, para que possamos conversar um pouco sobre elas.

Cenário 1:
Todos os mamíferos possuem dentes dispostos em suas mandíbulas. Estes dentes apresentam uma estrutura geral comum possuindo três camadas como mostrado nesta figura [Apresentação da figura 1A]. Porém podem apresentar formatos diferentes, como ilustrado aqui [Apresentar figura 1B].
Nesta outra figura [Apresentar figura 1C], podemos observar a forma da mandíbula inferior e a organização e formato dos dentes de três animais diferentes. Acima e à esquerda, vemos a mandíbula da espécie humana que tem uma dieta alimentar onívora, ou seja, come de tudo. Abaixo, a mandíbula de um felino, um gato, por exemplo, o qual se alimenta de carne. E ao lado, a mandíbula de uma ovelha, um animal herbívoro que se alimenta de plantas. Como podemos ver tanto o formato dos dentes como a distribuição e disposição deles na mandíbula são diferentes.

1. Como poderíamos explicar esta variação no formato da mandíbula e no formato dos dentes nos diferentes grupos de animais mamíferos? Como surgiu estas diferentes formas ?

Cenário 2:
Muitas flores são visitadas por animais como abelhas, borboletas, beija-flores e morcegos. Estes animais se alimentam de néctar e pólen extraídos da flor nestas visitas. Neste processo, os animais carregam pólen de uma flor a outra, e assim contribuem para a reprodução destas plantas. Nesta figura, uma orquídea é representada [Apresentar Figura 2A]. Podemos observar que esta flor apresenta uma das pétalas diferentes das

outras. Ela é maior e é nela em que estão os órgãos reprodutores. Vemos a abertura do órgão feminino e, acima, um aglomerado de pólen. Nesta espécie de orquídeas, esta pétala maior se assemelha muito ao corpo de uma fêmea de um inseto. Estas plantas se parecem tanto com a fêmea de uma espécie de vespa que até exalam aromas semelhantes aos que os insetos costumam exalar. Desta maneira, quando os machos vêem este tipo de pétala, as confundem com uma fêmea de sua espécie e tentam acasalar com ela [Mostrar Figura 2B]. Quando tentam acasalar com a flor, os aglomerados de pólen se grudam nas costas dele, e podem, assim, ser transportadas para outra flor.

1. De que maneira a aparência desta pétala diferente pode estar relacionada com a sobrevivência desta espécie de orquídea?
2. Como você acha que surgiu esta característica nesta espécie de orquídea ?
3. Podemos dizer que esta característica é uma adaptação? Por quê?

Cenário 3:
Quando tomamos sol, nossa pele, aos poucos, fica mais escura. Isso porque o sol estimula as células de nossa pele a aumentarem a produção de melanina, um pigmento que funciona como o filtro contra o excesso de energia solar.

1. Podemos considerar o processo de escurecimento de nossa pele quando vamos à praia uma adaptação? Por quê?
2. Este processo é semelhante ao processo que deu origem à aparência das pétalas das orquídeas que apreciamos anteriormente?
3. Se usarmos a palavra “adaptação” para descrever estes dois processos ela terá o mesmo sentido?
4. Pessoas que vão constantemente à praia, ou estão sempre “pegando sol”, terão filhos com a cor da pele escura?

Cenário 4:
Várias espécies de insetos apresentam aparência semelhante a gravetos e folhas. Costumamos chamá-los de “bicho-pau” e “bicho-folha”, respectivamente. É o caso desta espécie ilustrada nesta figura [Mostrar Figura 4A]. Estes insetos vivem subindo em troncos de árvores e perambulando nas folhas, e correm sempre o risco de serem comidos por pássaros.

1. De que maneira o formato e a cor do corpo destes insetos podem estar relacionados à sua sobrevivência?
2. Como surgiram estas características que os assemelham ao meio em que vivem ?
3. Imagine que dois “bichos-pau”, um espécime fêmea e um espécime macho se acasalaram? Esta característica será transmitida para seus filhos? Todos os seus filhotes terão a mesma aparência?

Cenário 5:
Na costa pacífica da América do Sul, existe um grupo de ilhas distante 900 quilômetros do continente [Mostrar Figura 5A]. Nestas ilhas, chamadas Galápagos existem muitas espécies de plantas e animais que não são encontradas em qualquer outro lugar do mundo. Entretanto, as formas de vida das Galápagos são claramente semelhantes às espécies que habitam o continente sul-americano. Foram encontradas, por exemplo, quatorze espécies de tentilhões, um tipo de ave .Todas estas espécies guardavam

semelhança com o tentilhão toutinegra, espécie que habita o continente. Em cada Ilha, encontramos diferentes grupos de espécies. Uma das maiores diferenças entre estes tentilhões diz respeito aos tamanhos e às formas de seus bicos, como mostra esta figura [Mostrar figura 5B]. Observa-se que a forma do bico tem uma relação com o hábito alimentar das espécies. Dependendo do tamanho e da forma de seus bicos, alguns tentilhões obtêm néctar das flores, alguns comem larvas de insetos nas cascas das árvores, alguns comem sementes pequenas e alguns comem sementes duras e grandes [Mostrar figura 5C].

1. Como você imagina que os diferentes tipos de bico inicialmente se originaram nos tentilhões das Galápagos?
2. Em uma destas ilhas, encontramos duas populações de tentilhões de espécies diferentes. Uma delas é de tendilhões de bico pequeno especializados em comer pequenas sementes, como os tentilhões terrícolas de pequeno porte e os tentilhões terrícolas de bico fino, mostrados na figura. A outra é formada por tentilhões que apresentam bico grande e podem quebrar sementes grandes e duras. O arquipélago de Galápagos costuma passar por anos de seca, durante os quais as plantas produzem poucas sementes. O que aconteceria com a população de tentilhões de bico pequeno durante uma estação muito seca, que afetasse as plantas de pequeno porte, que produzem sementes pequenas?
3. O que ocorreria se uma população de tentilhões terrícolas de bico fino, especializada em comer sementes pequenas, fosse transportada para uma ilha com pouca abundância de plantas com sementes pequenas?

Cenário 6:

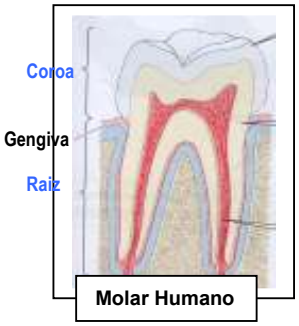
Muitas doenças que nos acometem e têm entre os sintomas febres persistentes são causadas por microorganismos denominadas bactérias. Algumas bactérias vivem dentro de nosso organismo sem provocar alterações; no entanto, outras se multiplicam dentro do nosso corpo, podendo romper as células que as hospedam, além de produzir substâncias tóxicas nocivas aos tecidos do nosso corpo. Quando isso ocorre, estamos diante de uma infecção bacteriana. Desde a década de 1940, a humanidade descobriu substâncias que podem conter o crescimento das populações de bactérias patógenas (causadoras de doenças) em nosso corpo e passou a produzi-las em escala comercial, os chamados antibióticos. No entanto, o uso freqüente e indiscriminado de antibióticos nos revelou uma ameaça à saúde pública: o surgimento de bactérias resistentes a antibióticos. Algumas pessoas que fizeram uso prolongado de um determinado antibiótico, ao sofrer uma infecção bacteriana mais séria, quando iam fazer uso do mesmo antibiótico, não alcançavam a melhora esperada.

Como você explicaria o surgimento de bactérias resistentes a antibióticos?

FIGURAS APRESENTADAS AO ENTREVISTADO:

Cenário1:

Figura 1A



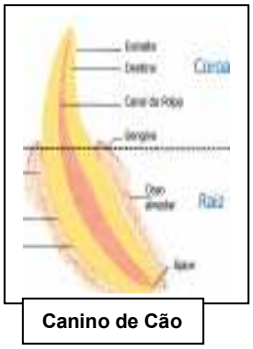


Figura 1 C:
MANDÍBULA INFERIOR
VISTA DE CIMA
DIFERENTES GRUPOS
DE MAMÍFEROS

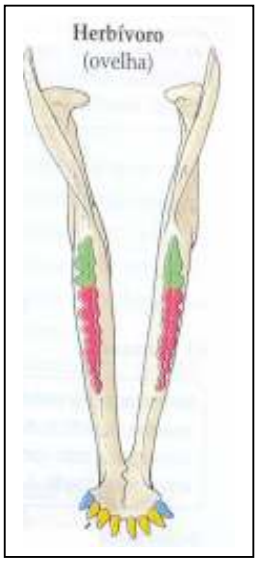
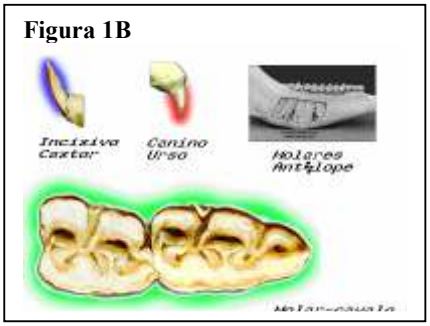


Figura 1B

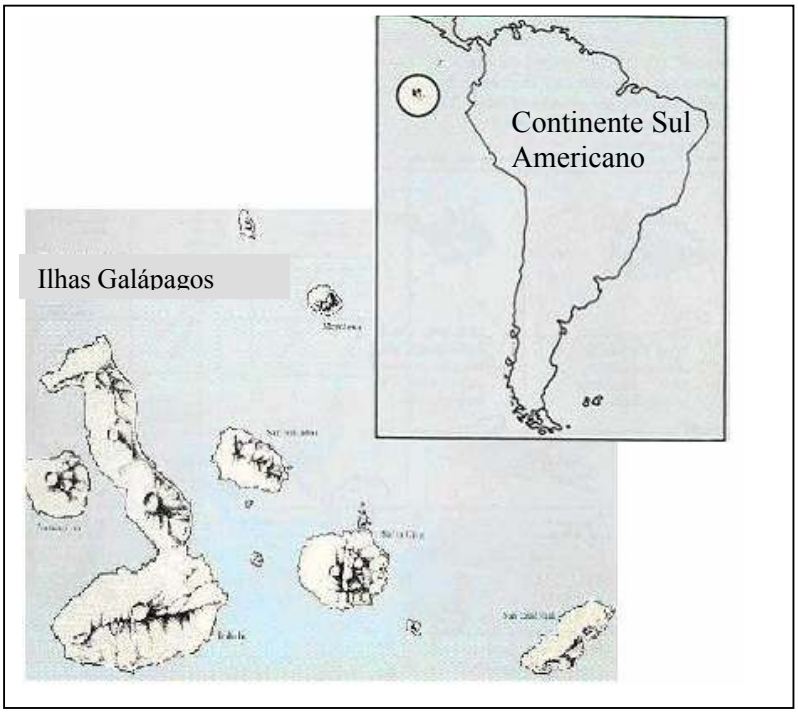


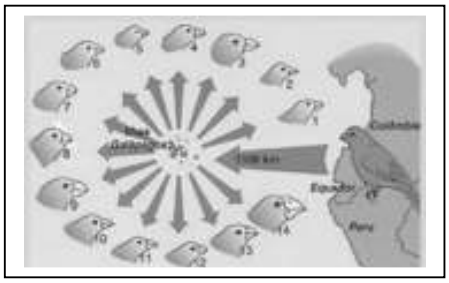
Cenário 2:

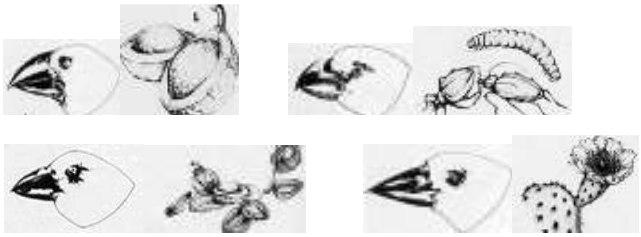
Figura 2A

Cenário 4:

Cenário 5:







APÊNDICE 2:

QUESTIONÁRIO: INVESTIGAÇÃO CONCEITO ADAPTAÇÃO[40]

Descrição do instrumento e instruções gerais: Serão apresentados cenários que descrevem fenômenos da adaptação e diversificação da vida. A partir dele serão feitas questões abertas referente às explicação que você daria para os mesmos e a respeito de conceitos da biologia relacionados à interpretação de tais fenômenos. Para alguns cenários também serão feitas perguntas objetivas, assinale apenas uma alternativa, a que você considere a que mais se aproxima do seu modo de pensar.

Cenário I. Todos os mamíferos possuem dentes dispostos em suas mandíbulas. Estes dentes apresentam uma estrutura geral comum, mas podem apresentar formatos diferentes. Na figura 1, podemos observar a forma da mandíbula inferior e a organização e o formato dos dentes de três animais diferentes. Acima e à esquerda, vemos a mandíbula da espécie humana que tem uma dieta alimentar onívora, ou seja, come de tudo. Abaixo, a mandíbula de um felino, um gato, por exemplo, o qual se alimenta de carne. E ao lado, a mandíbula de uma ovelha, um animal herbívoro que se alimenta de plantas. Como podemos ver tanto o formato dos dentes como a distribuição e disposição deles na mandíbula são diferentes.

Como poderíamos explicar esta variação no formato da mandíbula e no formato dos dentes nos diferentes grupos de mamíferos? Como surgiram estas diferentes formas ?

Figura 1:
MANDÍBULA INFERIOR
VISTA DE CIMA
DIFERENTES GRUPOS
DE MAMÍFEROS

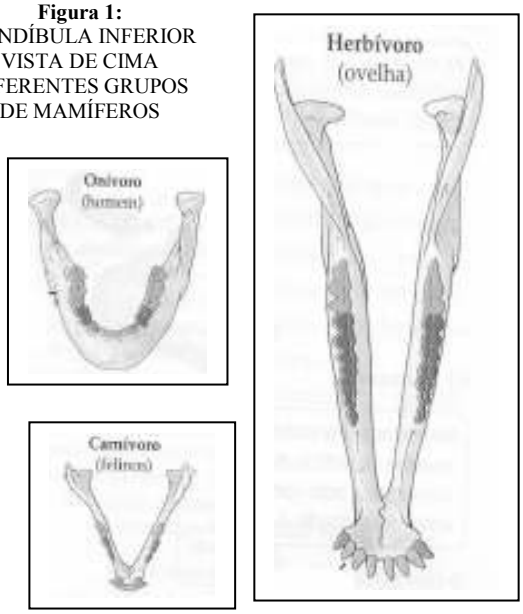


FIGURA 2A

FIGURA 2B

[40] O arranjo espacial das questões e a qualidade gráfica das figuras são diferentes do instrumento entregue aos estudantes. A opção de apresentá-lo desta maneira se justifica pela economia de espaço e gastos na reprodução gráfica

Cenário II. Muitas flores são visitadas por animais como abelhas, borboletas, beija-flores e morcegos. Estes animais se alimentam de néctar e pólen extraídos das flores nestas visitas. Neste processo, os animais carregam pólen de uma flor a outra e, assim, contribuem para a reprodução destas plantas. Na figura 2.A, uma orquídea é representada Podemos observar que esta flor apresenta uma das pétalas diferentes das outras. Ela é maior e é nela que estão os órgãos reprodutores. Vemos a abertura do órgão feminino e, acima, um aglomerado de pólen. Nesta espécie de orquídeas, esta pétala maior se assemelha muito ao corpo de uma fêmea de um inseto. Estas plantas se parecem tanto com a fêmea de uma espécie de vespa que até exalam aromas semelhantes aos que os insetos costumam exalar. Desta maneira, quando os machos vêem este tipo de pétala, as confundem com uma fêmea de sua espécie e tentam acasalar com ela, como podemos ver na figura 2.B. Quando tentam acasalar com a flor, os aglomerados de pólen se grudam nas costas dele, e podem, assim, ser transportadas para outra flor.

2.De que maneira a aparência desta pétala diferente pode estar relacionada com a sobrevivência desta espécie de 3.Como você acha que surgiu esta característica nesta espécie de orquídea ?

4.. Podemos dizer que esta característica é uma adaptação? Por quê?

Cenário III: Quando tomamos sol, nossa pele, aos poucos, fica mais escura. Isso porque o sol estimula as células de nossa pele a aumentarem a produção de melanina, um pigmento que funciona como o filtro contra o excesso de energia solar.

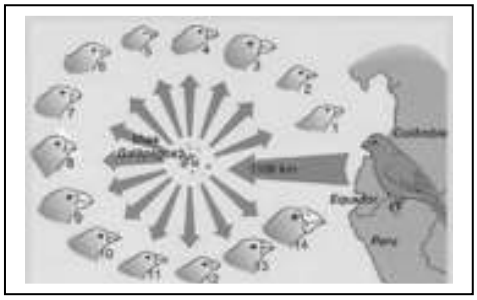
5. Podemos considerar o processo de escurecimento de nossa pele quando vamos à praia uma adaptação? Por quê?

6. Este processo é semelhante ao processo que deu origem à aparência das pétalas das orquídeas, do qual tratamos anteriormente?

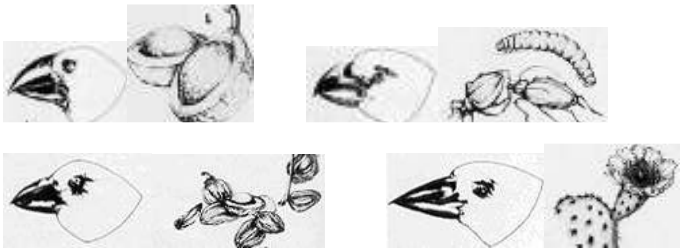
7. Se usarmos a palavra "adaptação" para descrever estes dois processos, ela terá o mesmo sentido?

8. Pessoas que vão constantemente à praia, ou estão sempre "pegando sol", terão filhos com a cor da pele escura?

Cenário IV: Na costa pacífica da América do Sul, existe um grupo de ilhas distante 900 quilômetros do continente. Nestas ilhas, chamadas Galápagos, existem muitas espécies de plantas e animais que não são encontradas em qualquer outro lugar do mundo. Entretanto, as formas de vida das Galápagos são claramente semelhantes às espécies que habitam o continente sul-americano. Foram encontradas, por exemplo, quatorze espécies de tentilhões, um tipo de ave.Todas estas espécies são semelhantes ao tentilhão toutinegra, espécie que habita o continente. Em cada Ilha, encontramos diferentes grupos de espécies. Por exemplo, o tentilhão pica-pau (*Cactopiza pallida*) só habita a ilha central, o tentilhão de bico fino (*Geopiza difficus*) habita apenas as ilhas mais ao norte, já o tentilhão médio do solo (*Geopiza furtis*) e o tentilhão pequeno canoro (Carthidea olivacea) habitam todas as ilhas, como mostra a figura 3.A. Uma das maiores diferenças entre estes tentilhões diz respeito aos tamanhos e às formas de seus bicos. Observa-se que a forma do bico tem uma relação com o hábito alimentar das espécies. Dependendo do tamanho e da forma de seus bicos, alguns tentilhões obtêm néctar das flores, alguns comem larvas de insetos nas cascas das árvores, alguns comem sementes pequenas e alguns comem sementes duras e grandes, como podemos ver na fotografia 3.B.



1 – Tentilhão da ilha do Coco
2 – Tentilhão canoro das ilhas Galápagos
3 – Tentilhão pica-pau
4 – Tentilhão de árvores dos mangues
5 – pequeno tentilhão de árvores, de pequeno porte
6 – Tentilhão médio de árvores, de médio porte
7 – Tentilhão médio de árvores, de grande porte
8 – Tentilhão de árvores frondosas ou perenes
9 – Tentilhão de cactos, de grande porte
10 – Tentilhão de cactos, de pequeno porte
11 – Tentilhão comum, de bico fino
12 – Tentilhão comum pequeno
13 – Tentilhão comum médio
14 – Tentilhão comum de bico grosso



9. **Como você imagina que os diferentes tipos de bico inicialmente <u>se originaram</u> nos tentilhões das Galápagos?**

10. **O que ocorreria se uma população de tentilhões terrícolas de bico fino, especializada em comer sementes pequenas, fosse transportada para uma ilha com pouca abundância de plantas com sementes pequenas?**

11. Na população de tentilhões, quais são as principais mudanças que ocorrem gradualmente com o passar do tempo?

a) As características de cada tentilhão dentro de uma população mudam gradualmente.

b) As proporções de tentilhões com características diferentes dentro de uma população mudam.

c) Os comportamentos bem sucedidos aprendidos pelos tentilhões são transmitidos aos descendentes.

d) Ocorrem mutações que satisfazem as necessidades dos tentilhões à medida que o ambiente muda.

12. Que tipo de variação nos tentilhões é passada para a prole?

a) Quaisquer comportamentos que foram aprendidos durante a vida de um tentilhão.

b) Somente características que foram benéficas durante a vida do tentilhão.

c) Todas as características que são determinadas geneticamente.

d) Quaisquer características que foram influenciadas positivamente pelo ambiente durante a vida do tentilhão.

Cenário V: Muitas doenças que nos acometem e têm entre os sintomas febres persistentes são causadas por microorganismos denominadas bactérias. Algumas bactérias vivem dentro de nosso organismo sem provocar alterações; no entanto, outras se multiplicam dentro do nosso corpo, podendo romper as células que as hospedam, além de produzir substâncias tóxicas nocivas aos tecidos do nosso corpo. Quando isso ocorre, estamos diante de uma infecção bacteriana. Desde a década de 1940, a humanidade descobriu substâncias que podem conter o crescimento das populações de bactérias patógenas (causadoras de doenças) em nosso corpo e passou a produzi-las em escala comercial, os chamados antibióticos. No entanto, o uso freqüente e indiscriminado de antibióticos nos revelou uma ameaça à saúde pública: o surgimento de bactérias resistentes a antibióticos.

13. Como você explicaria o surgimento de bactérias resistentes a antibióticos?

APÊNDICE 2:
TEXTOS USADOS NA PRIMEIRA AULA DA SEQÜÊNCIA DIDÁTICA

Texto 1: A recepção da obra "A Origem das Espécies" pela sociedade inglesa vitoriana

AS CARICATURAS ABAIXO MOSTRAM COMO AS IDÉIAS DE DARWIN FORAM INTERPRETADAS NA ÉPOCA EM QUE FOI LANÇADA SUA PRINCIPAL OBRA, O LIVRO **"A *Origem das Espécies"*** EM 1858.

Neste livro Darwin reuniu e apresentou uma série de evidências para uma idéia que já vinha sendo pensada por outros estudiosos de sua época; a idéia de que as espécies se transformam ao longo do tempo, e que tal transformação explica a origem da diversidade de espécies que observamos hoje. Novas espécies surgem da modificação de espécies ancestrais.

A caricatura ao lado foi elaborada em 1881 por Linley Sambourne. Ela mostra Darwin como cronômetro da evolução, onde as minhocas, ou vermes, surgem do caos, transformam-se em macacos e depois em humanos. A frase inscrita significa: "O homem não passa de uma minhoca

Charles Darwin e suas novas idéias foram objeto de muitas piadas e sátiras. Como podemos ver nas caricaturas ao lado, suas teorias foram mal interpretadas. As pessoas deduziram que os seres humanos tinham evoluído de macacos ainda existentes (não dos já extintos) ou até de vermes vivos!

Diz-se que, ao ouvir sobre a teoria de Darwin, uma senhora da sociedade vitoriana resumiu assim seu desconforto: "Vamos torcer para que o Sr. Darwin esteja errado. Mas, se estiver certo, vamos torcer para que essas idéias não se espalhem muito".

O que era essa tal de sociedade inglesa vitoriana?

O termo "vitoriana" se refere ao período do reinado da Rainha Vitória na Inglaterra que foi de 1837-1901. E diz respeito também ao puritanismo e intolerância da classe média inglesa desta época.

1. Sabendo isso, qual seria o desconforto dessa senhora da sociedade inglesa início do século XVIII?

2. As idéias darwinistas também lhe causam algum desconforto? Qual? Por que?

Texto 2: As aplicações modernas das idéias darwinistas

A teoria da evolução têm sido empregada para entendermos problemas de saúde pública

No aniversário de 150 anos da Teoria da Evolução proposta por Darwin e Wallace muito se fala sobre o impacto e revolução que representou para o pensamento humano. Sendo até hoje considerada por muitos como desconcertante e desafiadora, por exemplo, pelo fato de tirar o homem do seu lugar privilegiado ao coloca-lo na condição de mais um descendente do mundo animal. Os trechos da reportagem da Veja de 9 de maio de 2008 a seguir, se refere a este tipo de impacto da teoria de evolução de Darwin:

Tamanha foi a força das revelações de Darwin sobre a origem e a transformação do mundo animal, das plantas e, em especial, da humanidade, que quase ninguém consegue ter uma visão muito clara hoje em dia de como se pensavam essas coisas antes dele. Poucas revoluções tiveram esse poder. A prova de que a Terra é redonda é uma delas. Parece natural hoje em dia nos vermos habitando uma esfera que gira sobre o próprio eixo e em torno do Sol. Mas por milênios se acreditou em uma Terra plana como um campo de futebol sustentada pelos ombros fortes de um titã que se apóia sobre os cascos de tartarugas. A evolução lenta das espécies ao longo das eras formando linhagens que desembocam nos atuais seres vivos. Isso é o Darwin.

Outro fato que tem sido destacado nestas reportagens: a teoria da evolução de Darwin após 150 anos de sua divulgação continua sendo considerada válida para explicar uma série de fenômenos relacionados com a vida, e mais ainda, sendo aplicada para resolver problemas de saúde pública, agricultura e conservação do meio ambiente.
A teoria da seleção natural oferece respostas a algumas questões de vital importância para a humanidade, como por exemplo:

De onde veio o vírus da AIDS?

Porque até o momento não foi desenvolvida uma vacina eficaz para controlar o contágio desta doença?

É mesmo! Nunca tinha pensado nisso. Se tem vacina para sarampo, rubéola, porque não tem para AIDS?

Pois é.
Selecionamos alguns trechos do livro de Diogo Meyer e Charbel Niño El-Hani em que estes autores mostram que precisamos entender como o vírus da AIDS evolui para tentarmos responder a estas questões.

A evolução e a origem do HIV [26]

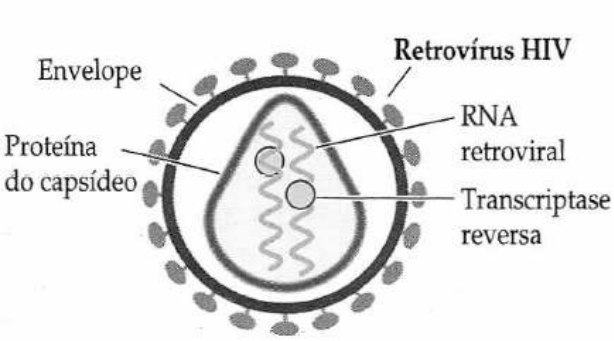
A Aids (Síndrome da Imunodeficiência Adquirida Humana) é uma pandemia que tem representado um dos maiores desafios para a humanidade nas últimas três décadas. Se quisermos compreender como essa doença teve origem, teremos de responder a uma série de perguntas de natureza evolutiva. A Aids é causada por dois retrovírus, HIV-1 e HIV-2 (a sigla HIV significa *Human Immunodeficiency Virus*, "Vírus da Imunodeficiência Humana"). Ela é uma das doenças virais emergentes – isto é, que surgiram nas últimas décadas –, como a Sars, o Ebola, a gripe do frango, as hantaviroses etc. Mas de onde vieram essas ameaças? De acordo com as hipóteses mais aceitas atualmente, o HIV, por exemplo, entrou nas populações humanas quando seres humanos foram infectados em contatos com pelo menos duas espécies diferentes de primatas africanos. Nesses primatas, foram encontrados vírus aparentados do HIV, os vírus da imunodeficiência de símios (SIV, *Simian Immunodeficiency Virus*). Esses vírus de símios sofreram um processo de evolução que deu origem a um vírus capaz de cruzar a barreira entre as espécies e infectar parentes próximos, os seres humanos. Ou seja, a compreensão da origem da Aids demanda um entendimento de como a evolução ocorre, podendo produzir novos patógenos, capazes de infectar nossa espécie. Sintomaticamente, foram estu-

Se quisermos, em seguida, compreender por que é tão difícil controlar a pandemia da Aids, novas questões evolutivas surgirão. Uma das principais características do HIV é sua rápida velocidade de mutação, que resulta da alta freqüência com que o material genético desse vírus sofre alterações, no processo de replicação.

O que é mesmo mutação?

Eu vi aqui no livro didático que as mutações são alterações nos genes que podem ser transmitidas de geração a geração. Algumas destas mudanças nos genes podem gerar mudanças em características dos organismos. Li também que as mutações são eventos que podem ocorrer espontaneamente e não se pode saber com antecedência que gene será modificado e qual alteração nas características ocorrerá.

No caso do vírus da AIDS, como este tipo de alterações é muito comum, rapidamente são produzidos vírus HIV modificados, com novas características, como o texto fala, vão surgir variedades do mesmo vírus. Algumas destas variedades podem ser diferente de um jeito que a droga antes usada para impedir que vírus HIV se reproduzissem podem não mais funcionar para essas novas variedades.



Esquema geral da estrutura do vírus HIV, identificado pela primeira vez em 1983. Dentro do capsídeo vemos a molécula de RNA, o material genético do vírus. Por ter RNA como material genético é chamado de retrovírus.

Essa alta taxa de mutação tem uma conseqüência importante para a saúde humana. A exposição do vírus aos remédios antivirais seleciona as variantes de HIV resistentes aos tratamentos. Como a taxa de mutação é alta, alterações genéticas estão constantemente surgindo, facilitando o aparecimento de variantes capazes de sobreviver ao remédio. Ou seja, é relativamente rápido o aparecimento de vírus resistentes ao tratamento com remédios antivirais. A grande diversidade genética do HIV também dificulta o desenvolvimento de vacinas que ajudem no controle dessa pandemia, uma vez que as desenvolvidas para uma variedade do vírus podem deixar de ser eficazes quando esta sofrer mudanças.

A compreensão da evolução do HIV tem importância, assim, não somente para que entendamos a origem da doença, mas também para que possamos planejar intervenções para conter sua disseminação e aumentar a sobrevida das pessoas infectadas. Conhecer as estratégias do adversário é essencial numa batalha médica como essa e hoje sabemos que as do HIV são, em grande parte, conseqüência de seu processo de transformação evolutiva.

Quando falamos em evolução no nosso cotidiano estamos nos referindo a que?
Este é o mesmo significado que tem evolução neste texto que acabamos de ler?
Qual é a idéia de evolução neste texto?

Você já tinha ouvido falar em teoria da evolução de Darwin?
Se sim, o que sabia sobre ela?

O texto lhe trouxe novas informações sobre a teoria da evolução e o que ela pode explicar? Quais?

Abaixo colocamos um trecho retirado de uma reportagem da VEJA sobre a dificuldade de contole da AIDS:

Como a aids permanece incurável, a medicina concentra boa parte de seus esforços em torná-la uma doença passível de ser mantida sob controle. Nos últimos anos, avançou-se muito nesse sentido, mas a batalha contra o HIV ainda esbarra na capacidade de o vírus ganhar resistência aos medicamentos disponíveis. "O **HIV se adapta** de uma maneira fenomenal. Ele sempre arruma um jeito de driblar os ataques e infectar o organismo", diz o infectologista Artur Timerman, do Hospital Albert Einstein.

Para vocês o que o texto quer dizer com o “o HIV se adaptou”?
O que é “se adaptar” neste contexto?

Texto 3: Introdução ao pensamento evolutivo, suas implicações para o pensamento ocidental e aplicações sociais

Em Junho deste ano, o Jornal A FOLHA DE SÃO PAULO dedicou um dos seus cadernos, o caderno MAIS, à história da Teoria da Evolução proposta por DARWIN e WALLACE. Selecionamos o texto que abre a reportagem para vocês. O texto fala em linhas gerais sobre o impacto do lançamento da teoria e da obra ***A Origem das Espécies***.

TEORIA DA EVOLUÇÃO, UMA DAS IDÉIAS MAIS IMPORTANTES DO PENSAMENTO OCIDENTAL, NASCEU HÁ 150 ANOS, MAS SEU REAL IMPACTO PASSOU DESPERCEBIDO NA OCASIÃO

CLAUDIO ANGELO
EDITOR DE CIÊNCIA

Quase ninguém notou na hora, mas o mundo mudou no dia 1º de julho de 1858. Há 150 anos, um grupo de naturalistas reunidos na Sociedade Lineana de Londres ouviu a leitura conjunta de três textos. Seus autores eram o galês Alfred Russel Wallace e o inglês Charles Robert Darwin. Os documentos delineavam uma "teoria muito engenhosa" para explicar "o aparecimento e a perpetuação de variedades e formas específicas no nosso planeta". Nascia a teoria da evolução pela seleção natural. Depois dela, o pensamento ocidental e a biologia nunca mais foram os mesmos.

(...)

Questionado sobre o que havia sido publicado naquele ano, Thomas Bell, presidente da Sociedade Lineana, respondeu: "Nada de revolucionário".

Bell se arrependeria de seu julgamento no ano seguinte, quando Darwin detalhou a teoria evolutiva no livro "A Origem das Espécies". Na Inglaterra vitoriana, dominada pelo pensamento cristão, a obra caiu como uma bomba. Nela Darwin sugeria que todos os organismos da Terra, da mais humilde ameba até os seres humanos, descendiam de um único antepassado. Homem e macaco, na imagem mais ilustre, partilhavam um ancestral comum (mais tarde, o bispo de Oxford perguntaria a Thomas Huxley, amigo de Darwin, se ele descendia de um macaco por parte de avô ou de avó).

O naturalista britânico Charles Robert Darwin (1809-1882): de criacionista a cientista inovador

Mais importante, no entanto, foi a maneira como Darwin e Wallace solucionaram o "problema das espécies". A teoria postulava que a variedade entre os indivíduos numa população surge ao acaso. Indivíduos possuidores de características que os favoreçam na "luta pela sobrevivência" na natureza tenderão a deixar mais descendentes, modificando uma população. O acúmulo dessas modificações ao longo das eras acaba produzindo novas espécies. Não há, portanto, a necessidade de invocar a atuação divina na criação de todas as espécies. A teoria eliminou o sobrenatural da biologia, criando um cisma que se aprofundaria nas décadas posteriores.

No ano que vem, o mundo comemora o "Ano de Darwin", com os 150 anos da "Origem" e o bicentenário do nascimento do naturalista (1809-1888). Mas a revolução darwinista teve seu início de forma acanhada, no "não-evento" científico de julho de 1858 —no qual o próprio Darwin foi um mero coadjuvante. Nas próximas páginas, você verá como uma idéia tão poderosa surgiu de um começo tão simples.

Vamos discutir um pouco o texto?

1. O que pretendia explicar a teoria da evolução pela seleção natural apresentada por Darwin e Wallace num dos encontros

2. O que caracterizava a visão de mundo da sociedade da época? Por que vocês acham que o lançamento do livro "A origem das Espécies" deve ter caído "como uma bomba" como propõem o texto da reportagem?

O que era essa tal de sociedade inglesa vitoriana?

Eu vi no dicionário que vitoriano se refere ao período do reinado da Rainha Vitória na Inglaterra que foi de 1837-1901. E diz respeito também ao puritanismo e intolerância da classe média inglesa desta época.

3. E o que vocês acham que a pergunta do bispo de Oxford a Thomas Huxley, este último um defensor das idéias de Darwin?
Tem a ver com uma charge que eu vi lá no outro grupo. Olha aí!

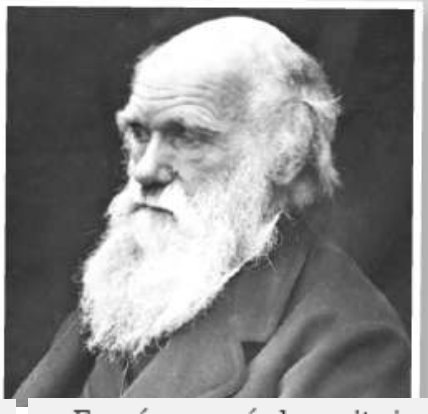
E mais:
Idéias evolucionistas já existiam desde o início do século XVIII. O texto, no entanto, diz , de forma figurada é claro, que o mundo mudou no momento em que a teoria evolutiva por seleção natural foi anunciada.
4. O texto dá alguma dica a respeito do que havia de diferente nas idéias de Darwin e Wallace?

Texto 4: A biografia de Darwin e a construção de sua teoria

No ano em que se comemora 150 anos da teoria darwinista de evolução, o texto da Revista CIÊNCIA HOJE (julho/2008) analisa alguns fatos sobre a biografia de Darwin, a formulação de sua teoria da evolução e de sua principal obra "A origem das Espécies".
O texto discute a atualidade do livro "A origem das Espécies" e critica o fato de nem todos os biólogos lerem **na íntegra** esta obra.
Separamos alguns trechos para vocês:

BIOLOGIA A teoria da evolução, que explica a origem das espécies, faz 150 anos

Darwin: muito famoso e pouco lido



Ricardo Iglesias Rios
Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Nascido no século 19, Charles Robert Darwin (1809-1882) é o cientista mais conhecido e reconhecido no século 21, superando em notoriedade gigantes como o físico inglês Isaac Newton (1643-1727), o filósofo alemão Karl Marx (1818-1883), o neurologista austríaco Sigmund Freud (1856-1939) e o físico alemão Albert Einstein (1879-1955). Darwin foi o criador da teoria evolutiva que explica a origem de todas as espécies por meio da seleção natural. Essa teoria, após ter sido elaborada por ele durante décadas, foi lançada a público há exatos 150 anos, com a leitura, em sessão da Royal Society, principal academia de ciências da Inglaterra, de cartas do próprio Darwin e do também inglês Alfred Wallace (1823-1913), que chegou bem mais tarde a conclusões semelhantes.

De avô para neto

O criador da teoria da evolução nasceu em 1809 em uma família rica, com tradição na medicina. O pai, Robert Darwin (1766-1848), era médico, e o avô paterno, Erasmus Darwin (1731-1802) era, além de médico, um poeta e um adepto das idéias sobre evolução do biólogo francês Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), que acreditava na transmutação das espécies e criou uma teoria para explicá-la. Erasmus escreveu *Zoonomia*, um volumoso livro sobre o tema da origem das espécies, lido e apreciado pelo neto. Aos oito anos, Charles Darwin perdeu a mãe e entrou para a escola. Os oito anos passados nessa escola foram considerados pelo próprio Darwin uma grande e enfadonha perda de tempo. Seu baixo desempenho fez com que seu pai o enviasse para a Universidade de Edimburgo, na Escócia, que tinha o melhor curso de medicina da Grã-Bretanha. Darwin chegou ali em 1825 e permaneceu no curso por dois anos.

Esse é um período muito importante, no qual ele se dedica intensamente a várias disciplinas, como química e geologia, aprende técnicas de taxidermia de aves, pesquisa os invertebrados marinhos e coleta e classifica insetos – ou seja, estuda tudo, menos medicina. O

(...).

Ao perceber que o filho não tinha interesse pela medicina, Robert Darwin decide enviá-lo, aos 19 anos, para a Universidade de Cambridge, onde ele se prepararia para uma carreira de clérigo. Em Cambridge, ele conhece os clérigos naturalistas John Henslow (1796-1861) e Adam Sedgwick (1785-1873), com os quais estuda botânica e geologia. Nos quatro anos passados nessa universidade, continuou sua formação em ciências com excelentes cientistas, mas também homens religiosos que acreditavam em um Deus pessoal e, por outro lado, execravam teorias materialistas, como a teoria evolutiva de Lamarck.

Os dois anos em Edimburgo, durante os quais recebeu instrução em história natural, mas também uma doutrinação lamarckista, foram apagados nos quatro anos de Cambridge, no que se refere às teorias de Lamarck. Quando Darwin iniciou sua longa viagem de circunavegação, em 1831, era um jovem de 22 anos que desejava ser um clérigo com uma paróquia no interior, cujos dízimos garantiriam sua manutenção e a de sua família, e onde poderia se dedicar com tranqüilidade a suas atividades científicas.

(...)

Primeiras contribuições

Após a viagem, Darwin instalou-se em Londres e redigiu seus primeiros trabalhos científicos sobre geologia. Estes fizeram enorme sucesso, o que é comprovado por sua eleição, em seguida, como secretário da Sociedade de Geologia. Nesse período começa a receber, do ornitólogo John Gould (1804-1881), informações sobre as aves das ilhas Galápagos. Gould informou que naquelas ilhas viviam 13 espécies novas, todas do mesmo grupo taxonômico e cada uma em sua ilha. São os pássaros conhecidos hoje como os fringilídeos de Darwin. Gould também descreveu a nova espécie de ema que o jovem naturalista comeu, graças às penas e aos ossos que este guardou, após a refeição. O nome científico da ave, *Rhea darwinii*, é uma homenagem de Gould ao amigo. Coube a Richard Owen (1804-1892), então o maior anatomista da Inglaterra, classificar os fósseis descobertos por Darwin, que revelaram a existência de uma preguiça e de uma lhama com tamanho muito superior ao das espécies atuais. Os mamíferos coletados na viagem foram classificados pelo zoólogo George Waterhouse (1810-1888), e Henslow fez o mesmo com as plantas.

Foram as informações desses taxonomistas que levaram Darwin, em 1838, a admitir a possibilidade da transmutação das espécies. Nesse mesmo ano ele leu o livro do primeiro economista inglês, Thomas R. Malthus (1766-1834), sobre a luta pela sobrevivência em um mundo onde a população cresce mais rápido que a produção de alimentos. **(...)**

Com a idéia de que as espécies não são estáveis, de que elas se transformam com o passar do tempo – na verdade, uma idéia de Lamarck –, Darwin percebeu que estava se aliando a pessoas como Grant, aos socialistas que queriam eleições com voto universal, aos grupos que atacavam tanto a igreja da Inglaterra quanto o próprio sistema monárquico. Grant, ex-orientador de Darwin, trabalhava como professor da Universidade de Londres e havia sido expulso da Sociedade Geológica por suas idéias lamarckistas; expulsão patrocinada por Owen e Charles Lyell (1797-1875), este presidente da Sociedade e grande amigo de Darwin. Lyell considerava uma estupidez a idéia de que as espécies se transformam. Se isso ocorre, dizia o geólogo, elas não existem, e isso é uma bobagem.

A teoria da evolução

Darwin vivia um enorme conflito, pois suas idéias o levavam a uma posição de enfrentamento em relação a todos os amigos cientistas, muitos clérigos anglicanos. Incapaz de enfrentar essa situação, ele esperou 20 anos para publicar, em 1859, seu livro mais importante, *A origem das espécies*, no qual formula a teoria da evolução baseada no surgimento de variabilidade genética ao acaso e da ação da seleção natural sobre essa variabilidade. Nenhum aspecto essencial dessa teoria foi alterado nos últimos 150 anos, o que é um fato notável.

(...) Darwin publicou mais de uma dezena de livros importantes, sendo o mais famoso *A origem das espécies*, que bem poucas pessoas, incluindo muitos biólogos, leram na íntegra. É uma pena, pois essa obra, com quase 150 anos de idade, ainda é muito atual.

O fato de muitos biólogos importantes na atualidade não terem lido *A origem das espécies* pode explicar por que ele está ausente das citações bibliográficas em livros recentes e por que o cientista inglês não é citado como autor de conceitos importantes, como nicho ecológico, ecossistemas, separação de caracteres em função da competição, variabilidade genética surgida ao acaso e muitos outros. Tais conceitos são atribuídos a cientistas modernos, provavelmente porque não leram atentamente o livro de Darwin. Mas ainda há tempo.

Então, vocês já conheciam algo sobre a vida de Darwin? Surpreenderam-se com alguma novidade durante a leitura do texto?

Vou propor algumas questões que pode ajudar na discussão deste texto.

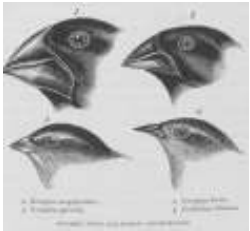
1. Pelo o que foi relatado no texto, o que se pode dizer das idéias sobre evolução das espécies, elas só tiveram início com Darwin ou é anterior ao trabalho deste cientista?

2.Que experiências nas duas universidades por onde passou Darwin podem ter contribuído para que desenvolvessem uma carreira de cientista?

3.Que dados sobre os animais coletados ao longo da viagem as Américas e que idéias contribuíram para Darwin pensar sobre a transmutação das espécies?

Pessoal, encontrei uma foto da ema observada por Darwin em sua viagem para América. Ela é muito semelhante ao avestruz, ave que Darwin conhecia em outro continente.

AH! Achei também a foto que descreve os tentilhões de Galápagos. Eles se diferenciavam, basicamente pelo tamanho do bico. As 13 espécies espalhadas por diferentes Ilhas, não existiam em nenhum lugar do mundo, só lá.



Por fim:

4. Que tipo de dilemas Darwin sofreu ao se deparar com suas próprias idéias?

5. O que o texto pode nos falar sobre a relação entre ciência e religião nesta época?

6. Por que o autor considera “A origem das espécies” um livro atual, embora tenha sido publicado em 1859?

Texto 5: A importância de estudar evolução

Por que estudar Evolução?

Alexander Fleming descobriu o primeiro antibiótico, a penicilina. O início desse trabalho deu-se por acaso: Fleming estava descartando algumas culturas de bactérias em seu laboratório, quando percebeu que uma colônia de fungos havia crescido em uma das placas. Ele ficou intrigado e resolveu investigar como os fungos teriam contaminado essa placa de cultura bacteriana. Descobriu que no andar superior do prédio havia um laboratório onde se estudava o fungo *Penicillium notatum*, e logo imaginou que os esporos do fungo chegaram ao seu laboratório pelos tubos de ventilação do prédio.

Outro fato, porém, deixou Fleming mais intrigado ainda: na placa contaminada, as colônias de bactérias recobriam todo o meio de cultura, menos ao redor da colônia de fungos. Por que as bactérias não cresciam perto do fungo?

Fleming estudou o assunto e descobriu que uma substância liberada pelo fungo mata diversos tipos de bactérias, inclusive algumas espécies que causam infecções em seres humanos. Era uma substância com ação antibiótica, que Fleming chamou de penicilina em homenagem ao nome do fungo.

A descoberta foi relatada pelo cientista em 1929, mas as comunidades científica e médica não perceberam sua importância até 1940, durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse ano, a penicilina já havia sido purificada e passou a ser produzida em larga escala. Médicos resolveram utilizá-la em soldados feridos. O número de mortes por infecções bacterianas caiu drasticamente e o medicamento passou a ser cada vez mais usado.

No entanto, antes mesmo do final da Guerra, alguns soldados feridos não reagiram ao tratamento com penicilina. Os médicos não entendiam como isso era possível, pois as infecções eram as mesmas que, até algum tempo atrás, estavam sendo eliminadas com o antibiótico. O que poderia ter acontecido?

A resposta é: evolução. Em Biologia, evolução é o processo de modificação das características de uma população, considerando um período de tempo. Talvez você associe evolução a um processo sempre lento, que explica o surgimento ou extinção de espécies há milhões de anos e que se baseia no estudo dos fósseis, como é o caso dos famosos dinossauros. De fato, os fósseis são fontes de evidências de seres que viveram em tempos passados, o que permite aos cientistas reconstruir a história da vida e entender a evolução de alguns organismos.

No caso de uma população de bactérias, porém, o processo evolutivo pode ser mais rápido se considerarmos que, em apenas um dia, uma única bactéria é capaz de gerar milhares de descendentes. Certamente a característica resistência à penicilina era rara em bactérias antes dos tratamentos médicos com antibióticos, mas depois a situação mudou: as bactérias resistentes eram as únicas capazes de sobreviver no organismo de uma pessoa tratada com penicilina e assim elas puderam se multiplicar.

Atualmente, além da penicilina, há muitos outros tipos de antibióticos e também bactérias resistentes a eles, fato que deixa a comunidade médica em estado de alerta. Para evitar que a resistência aos medicamentos se torne um problema cada vez maior, os antibióticos devem ser tomados apenas sob prescrição médica e o tratamento deve ser feito pelo tempo determinado, sem interrupção antes do prazo.

O caso de surgimento de microrganismos resistentes e muitos outros exemplos de processos evolutivos serão vistos nesta unidade.

Atualmente, a evolução é um tema central da Biologia e serve de base para a interpretação de dados provenientes de diversas áreas, não apenas da paleontologia ou da microbiologia, como vimos acima, mas em todas as áreas da Biologia.

Nos volumes anteriores, quando estudamos a origem da vida, a célula, os tecidos, a reprodução e os grupos de seres vivos, a evolução foi sempre um tema presente, e nesta unidade você terá a oportunidade de sistematizar esses conhecimentos que de alguma forma já foram trabalhados anteriormente.

Este texto é da autora de livro didático Sônia Lopes. Ele pretende apresentar para os alunos o que é o processo de evolução em linhas gerais. Procura mostrar também que tipo de fenômenos a idéia de evolução pode explicar na Biologia.

1. Quando falamos em evolução no nosso cotidiano estamos nos referindo a que?

2.Este é o mesmo significado que tem
3.evolução neste texto que acabamos de ler?
Qual é a idéia de evolução neste texto?

4. Segundo o texto que tipo de fenômenos e acontecimentos a teoria da evolução pode explicar na Biologia?

5. O texto motivou vocês a estudar evolução?
Se sim, porque?

APÊNDICE 4:
ROTEIRO DE ESTUDO USADO NA SEGUNDA AULA

ROTEIRO: "Explicando a forma dos bicos dos tentilhões das ilhas Galápagos"

Na costa pacífica da América do Sul, existe um grupo de ilhas que fica a 1.100 quilômetros do continente (Figura 1). Nestas ilhas, chamadas de Arquipélago de Galápagos, existem muitas espécies de plantas e animais que não são encontradas em qualquer outro lugar do mundo. Entretanto, as formas de vida das Galápagos são claramente semelhantes às espécies que habitam o continente americano.

Figura 1: Localização do Arquipélago de Galápagos

Foram encontradas, por exemplo, 13 espécies de aves da família dos fringilídeos, um tipo de ave parecidas com um pardal que ficou conhecida como os "tentilhões de Darwin" (pois Darwin foi um dos primeiro cientista a estudã-los). Todas estas espécies de tentilhões do arquipélago guardavam alguma semelhança com o tentilhão tiziu, espécie desta ave que habita o continente (figura 2). Em cada uma das Ilhas, encontramos uma composição diferente destas espécies, como podemos ver na figura 3.

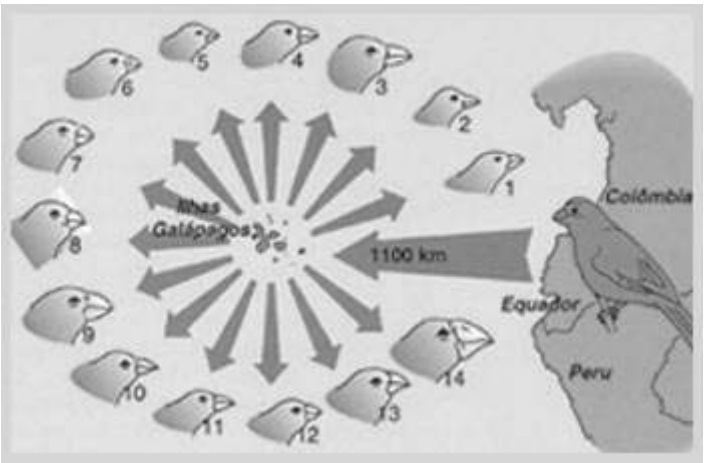
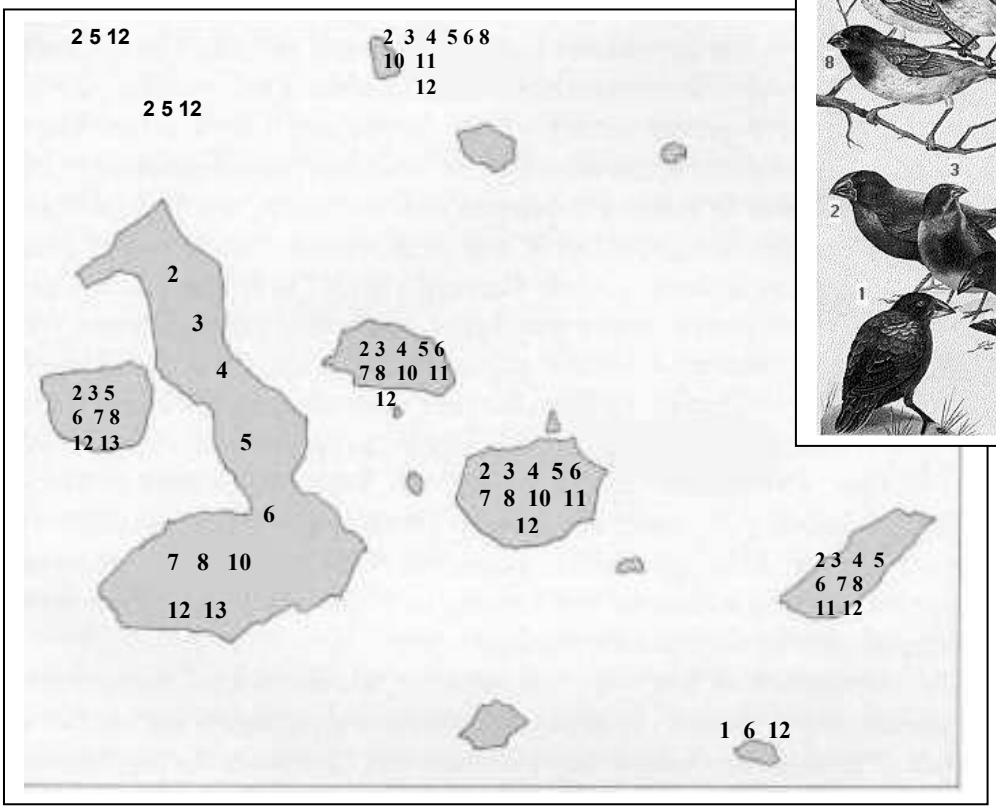


Figura 2: À direita o tentilhão tiziu, uma espécie de tentilhão da costa pacífica da América do Sul, provável ancestral das treze espécies de Tentilhões de Galápagos. A espécie de número um só é encontrada na Ilha de Coco, que fica a 500 milhas de distância do Arquipélago de Galápagos.



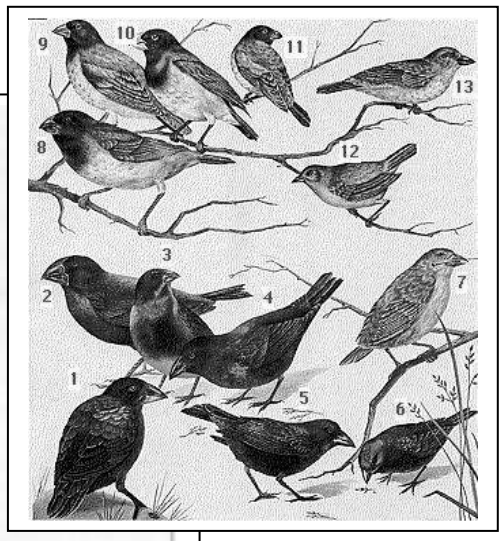


Figura 3: Cada ilha apresenta condições ambientais próprias. Cada ilha apresenta também um conjunto diferente de espécies de tentilhões. Veja que, por exemplo, a espécie 1,o tentilhão do cactus (*Geospiza conirostris*) só ocorre em uma ilha, Espanhola.

Uma das maiores diferenças entre estes tentilhões diz respeito aos tamanhos e às formas de seus bicos, como mostra a figura 4. Observa-se que a forma do bico tem uma relação com o hábito alimentar das espécies. Dependendo do tamanho e da forma de seus bicos, alguns tentilhões obtêm néctar das flores, alguns comem larvas de insetos nas cascas das árvores, com o auxílio de um graveto, alguns comem sementes pequenas e outros comem sementes grandes (figura 5).

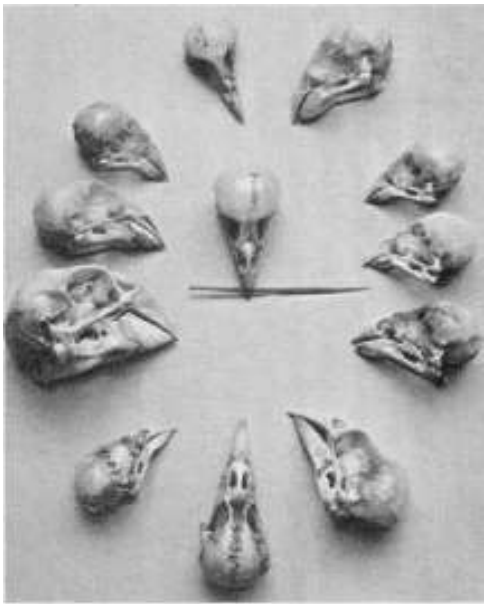


Figura 4: Crânios de 12 espécies de tentilhões da Galápagos, mostrando a diferenças no tamanho, formato e rigidez. O crânio do meio pertence a espécie que usa graveto para retirar insetos de troncos. (Retirada de Cesar e Sezar, 2005, p. 259)

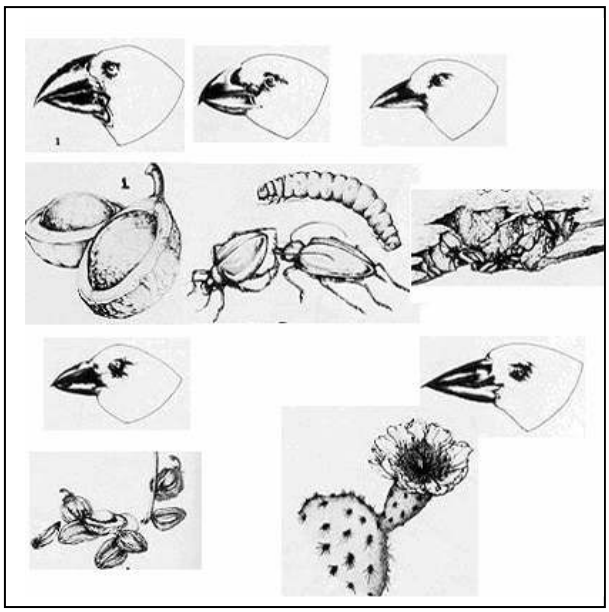


Figura 5: Dependendo do tipo de bico, a ave consome sementes macias, duras, insetos ou néctar de flores.

Diante dessas informações...

(a) Como vocês explicam a diferença nos bicos dos tentilhões da Ilhas Galápagos?

(b) No continente encontramos apenas uma espécie de tentilhão, enquanto nas ilhas são encontradas 13 diferentes deste mesmo gênero de pássaro. O que explica esta diversidade de pássaros do grupo dos tentilhões nas ilhas?

O que poderia explicar a similaridade entre as espécies encontradas na Ilha e a espécie encontrada no continente?

Dois pesquisadores Rosemary e Peter Grant passaram 30 anos estudando o comportamento das populações destes pássaros e entre suas descobertas, destacam-se três dados:

(1) Pequenas variações nas medidas do bico podem resultar na capacidade ou não de comer determinado tipo de semente;
(2) Aves com bicos menores gastam mais tempo manipulando sementes duras do que aves dos bicos maiores, pois quanto maior a força do bico, menor o tempo de manipulação;
(3) O tamanho do bico é uma característica herdada, portanto, pais com bicos grandes produzem filhotes com bicos grandes e vice-versa.

De posse destas novas informações, vamos pensar sobre as seguintes situações:

(c) Em uma das ilhas do arquipélago encontramos duas populações de tentilhões de espécies diferentes. Uma delas é de tentilhões com bico menores e a outra é formada por tentilhões que apresentam bicos maiores. O arquipélago de Galápagos costuma passar por anos de seca. Nestes períodos a variedade e fartura de sementes diminuem. O que você acha que pode acontecer com estas duas populações de pássaros, durante uma estação muito seca, que afeta a produção de uma variedade de sementes menores e macias? O que aconteceria com a população de pássaros de bicos pequenos? E com a população de bicos grandes?

(d) Em 1983 foi um ano de chuvas abundantes, e a ilha Dafne ficou coberta de vegetação e a produção de uma variedade de sementes foi enorme. O que poderá ser previsto em relação ao tamanho dos bicos dos tentilhões desta ilha?

APÊNDICE 5:
ROTEIRO DE ESTUDO USADO NA QUARTA E QUINTA AULAS

ROTEIRO II: EVOLUÇÃO, DESCENDÊNCIA COMUM E SELEÇÃO NATURAL.

Nas aulas anteriores apresentamos o caso da diversidade de espécies de um mesmo grupo de aves em um arquipélago, os tentilhões da Galápagos, e buscamos explicações para a origem desta diversidade de espécies.

Nos debruçamos sobre os seguintes fatos:

1. Existem treze espécies destas aves espalhadas pelas ilhas de Galápagos.
2. As treze espécies são diferentes entre si no que diz respeito ao tamanho e formato do bico, mas são muito semelhantes entre si em outros aspectos. Apresentam também grande semelhança como uma espécie de tentilhão que ocorre no continente mais não nas ilhas.

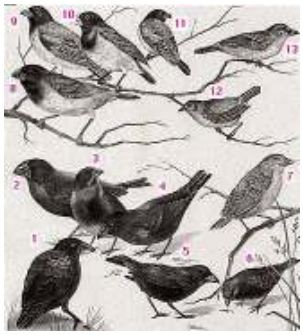


Figura 1: Tentilhões Galápagos

3. Além disso, as espécies apresentam os bicos adaptados* a captura de diferentes tipos de alimentos.

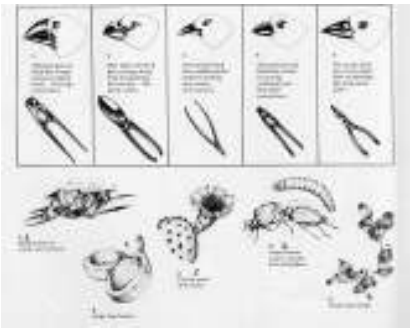


Figura 2: Adaptação do bico dos tentilhões a diferentes alimentos e estratégias de captura-los.

* O termo **adaptação** é usado aqui para referir-se a características que aumentam a

Depois de discutimos muito acerca destes fatos, concluímos que:

A semelhança entre essas treze espécies de tentilhões de Galápagos e a espécie de tentilhão tiziu do continente indica que:

⇒ Provavelmente, na época em que o arquipélogo de Galápagos se formou, uma população da espécie de tentilhão do continente deve ter migrado para as ilhas, sofreu mudanças e deu origem às treze espécies.
⇒ De modo que as espécies de tentilhões encontradas na ilha são descendentes de uma única espécie ancestral do continente.

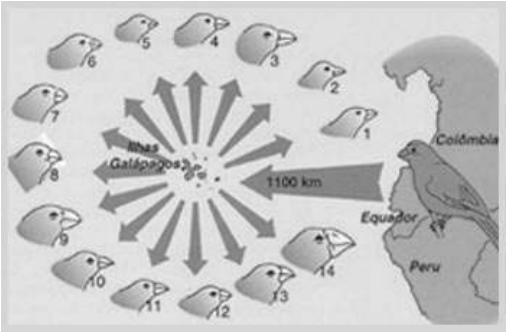


Figura 3: População ancestral de tentilhão do continente migrou para Galápagos e colonizou as ilhas, dandoorigem a diferentes espécies.

NOSSAS EXPLICAÇÕES E AS IDÉIAS DE DARWIN

Nossas idéias para explicar a diversidade dos tentilhões de Galápagos são semelhantes a duas idéias que Darwin propôs em 1859, no seu livro *A origem das Espécies*, para explicar a origem da diversidade de organismos vivos, ou de espécies de organismos vivos, que observamos hoje na natureza.

A idéia de que os organismos se transformam ao longo do tempo, dando origem a novas espécies.

E a idéia de <u>descendência comum.</u>

1. Evolução ocorre:
A primeira idéia já tinha sido pensada por muitos pensadores antes de Darwin, a exemplo de Lamarck (já em 1809), ou seja, a de que a evolução ocorre. A segunda é uma contribuição original de Darwin.

2. A evolução ocorre por descendência com modificação:
Cientistas, evolucionistas, que antecederam a Darwin propuseram que a transformação das espécies, a evolução, ocorria de modo linear, ou seja, uma espécie dando origem diretamente a outra (Figura 4A). De modo, diferente, Darwin propôs que a transformação das espécies ocorria por divergência a partir de ancestrais comuns, um processo de ramificação (Figura 4B). Ou seja, a evolução consiste num processo de descendência com modificação, em que duas populações são formadas pela divisão de uma população ancestral, divergindo e acumulando diferenças ao longo do tempo (Figura 5).

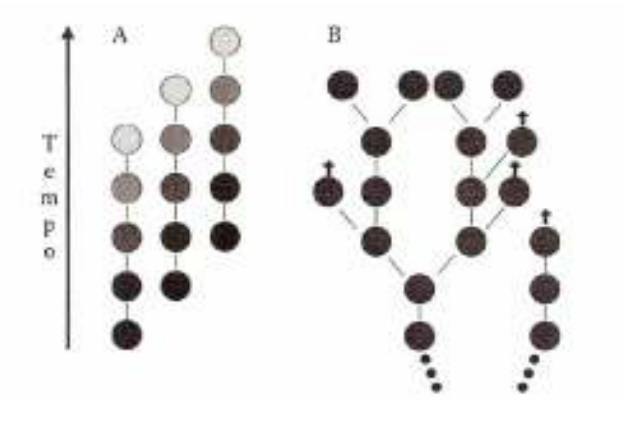


Figura 4 A : Representação do modo como Lamarck e outros cientistas anteriores a Darwin pensavam a evolução, como um processo linear.
Figura 4 B: Representação do modo Darwinista de pensar o processo evolutivo, na forma de uma árvore ramificada, em que cada ramo representa o surgimento de novas espécies. As cruzes representam espécies que já foram extintas.

Retirada de Meyer e El-Hani, 2005, p. 21

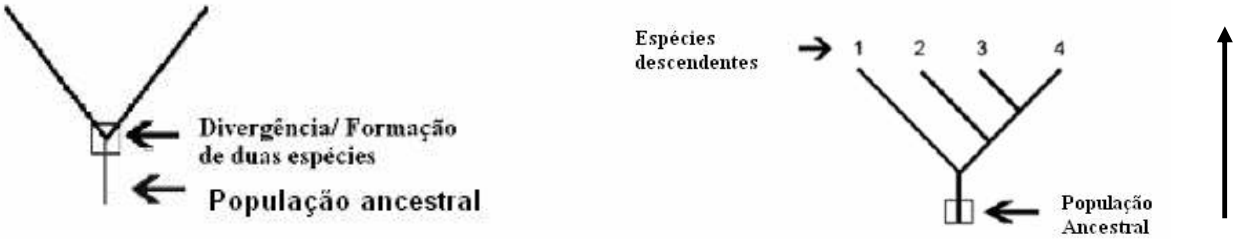


Figura 5: Formação de espécies por descendência com modificação.

Desse modo, espécies semelhantes podem ser descendentes de uma única espécie que teria existido no passado. Desde sua origem, a partir desse ancestral comum, elas teriam divergido, dando origem as diferenças entre elas que vemos hoje. Esse processo foi representado pelo próprio Darwin pela metáfora da árvore (Figura 6). As ramificações representam o surgimento de novas variedades de seres vivos, novas espécies. Veja na figura 7, a proposta de representação da origem das treze espécies de tentilhões de

Galápagos, a partir de uma população ancestral de tiziu que migrou do continente. As espécies que se ramificam a partir de um único ramo mais próximo, são mais aparentadas.

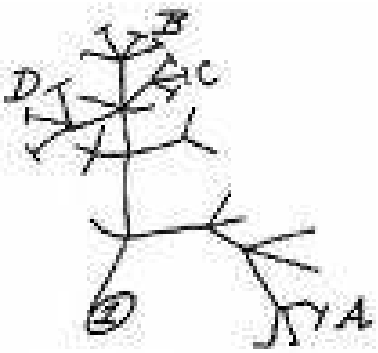


Figura 6: Esse é um esboço de uma "árvore genealógica da vida" que Darwin desenhou em seu caderno de campo. Nela, Darwin coloca o mais antigo grupo,marcado com 1, na base do tronco. Os ramos representam grupos de descendentes aparentados. A grande lacuna entre A e D sinalizam que eles têm um parentesco distante. Como Darwin escreveu poderia representar, por exemplo, a distancia de parentesco entre aves e mamíferos. Os ramos sem letras são os grupos extintos.

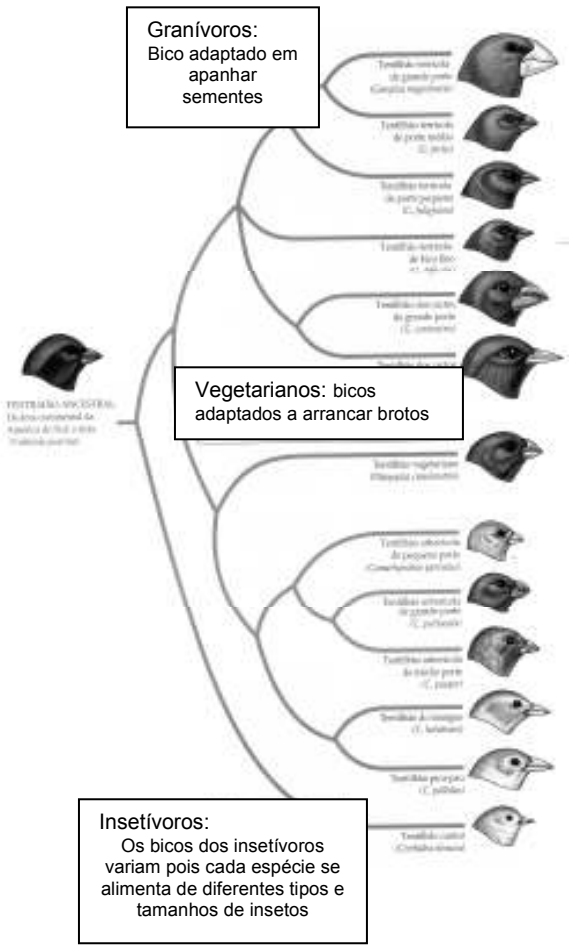


Figura 7: Evolução entre os tentilhões das Galápagos. Os descendentes do tentilhão que comia grãos da América do Sul (continente), que colonizou o arquipélago de Galápagos há muitos milhões de anos, evoluíram em 14 espécies, cujos membros são adaptados a comer sementes, brotos e insetos. Cada ramificação da árvore representa o evento da formação de um novo grupo.

Figura retirada e adaptada de Purves e colaboradores, 2002, p.416.

O que falta respondemos?

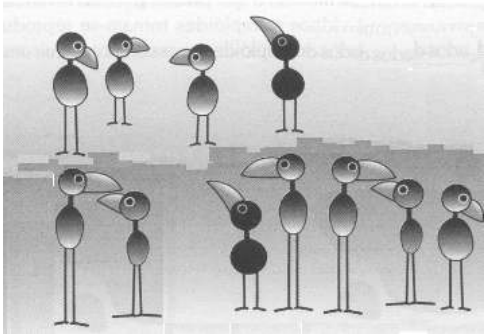
Sabemos que as espécies se originam como resultado de mudanças evolutivas, por mudanças sofridas por uma espécie ancestral que se ramifica, e dá origem a populações que passam por mudanças distintas e acabam divergindo. Como aconteceu com a população ancestral do tentilhão tiziu do continente da América do sul que migrou para Galápagos. Mas a questão agora é:

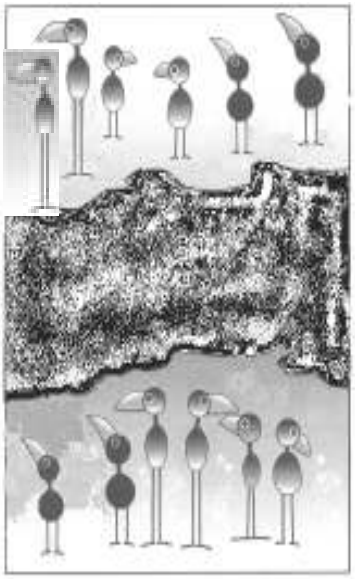
Como as populações ancestrais mudam e sofrem divergências se transformando em novas populações?

A partir de que processo, que mecanismo de transformação?

Foi para entender e pensar nesse mecanismo que fizemos o jogo dos Cliptacídeos.

Neste jogo tínhamos uma população inicial de pássaros que viviam num ambiente com variedade e abundância de semente. Esta população de pássaros, organismos da mesma espécie, apresentava uma variação em algumas características como altura do corpo, cor e tamanho dos bicos. Esta última característica, o tamanho dos bicos, tinha uma influência na sobrevivência, pois tinha relação com o tipo e quantidade de sementes que podiam coletar. Tínhamos então pássaros com bicos grandes, médios e pequenos.





Aconteceu um evento que separou, geograficamente, esta população de pássaros. Tínhamos agora, então, duas novas populações de pássaros, cada uma com igual número de pássaros com bico pequeno, bico médio e bico grande. Em cada uma das regiões, norte e sul, em que essas duas novas populações passaram a viver existiam diferentes ofertas de alimento.

Em uma delas, a região norte, a oferta de sementes maiores com o passar do tempo passou a ser maior, e a oferta de sementes pequenas passou a ser escassa. O inverso ocorreu na região sul, as sementes maiores começaram, a ficar escassas e as sementes menores ficaram mais abundantes. Ou seja, em cada região tínhamos oferta de alimento diferente. No caso do jogo, a oferta é representada na tabela ao abaixo:

	Segunda temporada	Terceira temporada	Quarta temporada
Terra dos Clipes Norte	4 punhados de feijão fradinho 1/5 kg de feijão branco 50 sementes de pinheiro	1 punhado de feijão fradinho 20 feijões brancos 50 sementes de pinheiro	100 sementes de pinheiro
Terra dos Clipes Sul	4 punhados defeijão fradinho 1/5 kg de feijão branco 50 sementes de pinheiro	6 punhados de feijão fradinho 20 feijões brancos 5 sementes de pinheiro	8 punhados de feijão fradinho

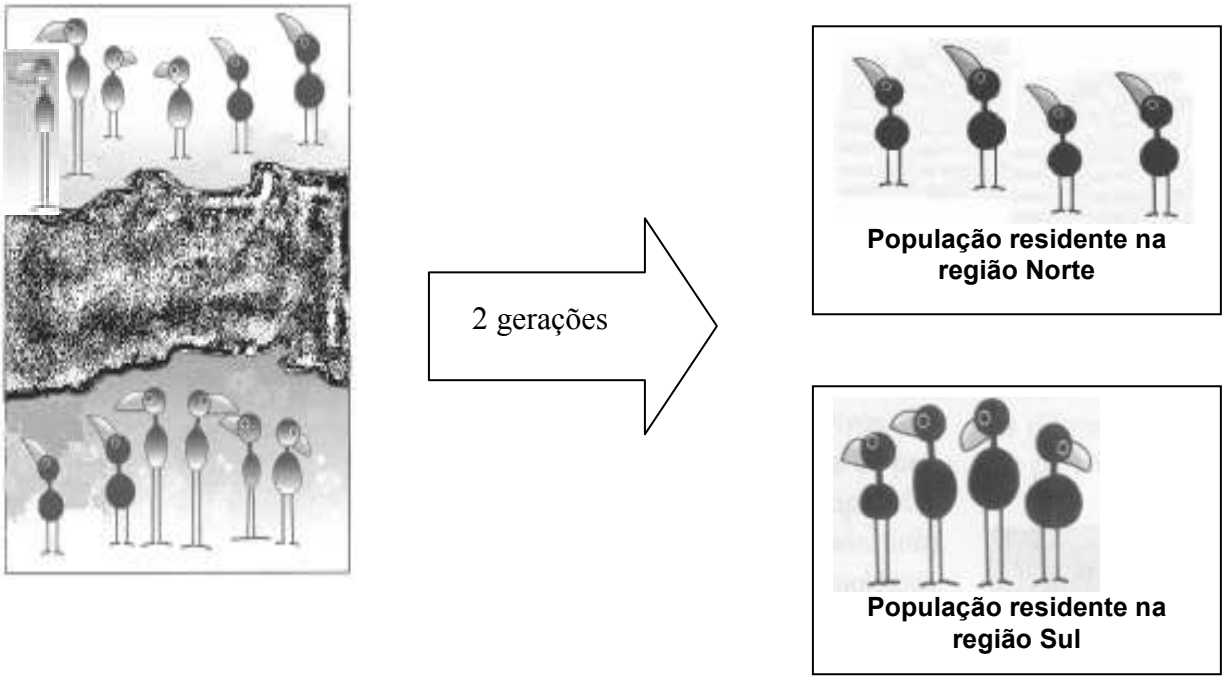
Como vimos, os pássaros precisam de uma certa quantidade de calorias para sobreviver, e o dobro desta quantidade para se reproduzir. Cada uma das sementes tem um valor diferente de calorias. Os pássaros precisam, então, lutar para coletar a quantidade de sementes que lhes forneça calorias suficientes para sobreviver, uma vez que a oferta de sementes é limitada, e possivelmente haverá uma competição. Como vimos, os indivíduos com bicos maiores são mais hábeis em coletar sementes maiores, e de modo inverso, os de bicos menores coletam mais eficientemente as sementes menores.

O que ocorreu no jogo foi:

Na região norte, com abundância de sementes de pinheiro, os indivíduos com bicos maiores conseguiram coletar mais alimento. Dessa forma sobreviveram mais dos que os indivíduos com outros tipos de bicos. E também conseguiram se reproduzir. Como o tamanho do bico é hereditário, seus filhotes – estudantes que entravam no grupo – também tinham bicos grandes. Com o passar de duas gerações – duas rodadas do jogo – o que ocorreu foi uma mudança na quantidade de indivíduos de bicos grandes, médios e pequeno dentro da população. Houve uma mudança de proporção, na primeira rodada havia dois indivíduos de cada variedade de bico na população, ao final tínhamos apenas indivíduos de bico grande. O mesmo ocorreu com a terra sul: a cada rodada, a oferta de sementes pequena aumentou ao tempo que a oferta de sementes médias e pequenas diminuiu. Os indivíduos de bicos maiores e médios coletavam menos alimentos e morriam – saiam do jogo. A cada rodada, os indivíduos com bicos pequenos coletavam mais alimentam, sobreviviam mais e se reproduziam, aumentava assim a quantidade de indivíduos de bicos pequenos na população, os que sobreviviam mais os

que nasciam. Ou seja, os estudantes que ficavam e os que entravam no grupo como “filhotes”.

Portanto, com algumas gerações foi possível observarmos uma mudança nas pooulações:



Essa mudança evolutiva em uma população que acabamos de descrever, em que a proporção de indivíduos com uma certa característica, no caso o tamanho do bico, aumenta em relação à outra, a ponto desta característica, bico maior ou menor, se tornar predominante, é denominado de uma **adaptação** da população e o mecanismo que lhe deu origem de **seleção natural**.

A teoria da seleção natural é a terceira idéia que Darwin apresentou em seu livro *A Origem das Espécies*. Esta idéia também já havia sido pensada por outro pesquisador Alfred Wallace.

Figura 8: Alfred Wallace (a esquerda) e Charles Darwin (a direita) apresentaram a Teoria de Seleção Natural juntos num encontro científico em 1858.

Uma idéia que levou estes cientistas a formularem a Teoria da Seleção Natural foi a idéia de luta pela sobrevivência. Além das observações sobre as populações naturais, um fato que levou a Darwin a investir nesta idéia foi a leitura da obra de um sociólogo inglês,Thomas Malthus (1798), que dizia que o crescimento da população na Terra era mais rápido do que o aumento da disponibilidade de alimento, o que poderia acabar levando a uma situação de insuficiência de alimentos para todos.

Darwin a pensar que uma luta pela vida ocorre entre os organismos, e como conseqüência, uma seleção natural: indivíduos mais aptos a sobreviverem em certas condições ambientais (por exemplo, aqueles que conseguem escapar de predadores com

maior eficiência; ou obter alimentos com maior facilidade) tenderiam a sobreviver; enquanto os menos aptos a morrer. Aqueles mais aptos deixariam, portanto, mais descendentes, o que com o tempo levaria a uma mudança na composição da população. Vamos sintetizar as idéias fundamentais que estruturaram, deram base, a esta Teoria da Seleção Natural:

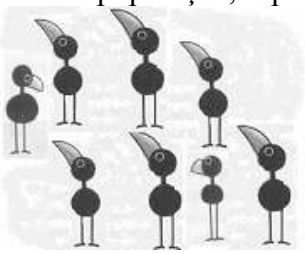
Primeira idéia:
Todas os organismos são capazes de produzir um número de crias (filhos) superior ao necessário para a manutenção da espécie.
Por exemplo, um casal de ratos podem ter seis ninhadas por ano, cada uma com seis filhotes mais ou menos. Em seis semanas os filhotes ficam adultos e podem se reproduzir. Imagine se todos os ratos sobrevivessem e todos pudessem se reproduzir, a Terra estaria coberta de ratos.

Segunda idéia:
Isso leva a conclusão de que em qualquer população, nem todos indivíduos sobrevivem até conseguirem se reproduzir. Muitos morrem de fome ou são capturados por predadores, por exemplo, antes de se reproduzir, ou simplesmente não encontram parceiros.
O ambiente pode influir nas possibilidades dos indivíduos de sobrevivência, nesta espécie de “luta pela sobrevivência”. Lembrem-se da oferta diferencial de alimentos no jogo dos cliptacídeos.

Terceira idéia:
Nas populações os indivíduos apresentam variações. Estas diferenças interferem nas chances de sobrevivência e capacidade de sobrevivência dos indivíduos.
No nosso exemplo, entre os filhotes de uma ninhada de ratos, podem existir uns claros, outros mais escuros. Em ambientes de solo claro, arenoso, por exemplo, os ratos mais claros apresentam mais vantagens adaptativas, porque são vistos com menos freqüência por corujas, seu predador e, portanto, terão mais chances de sobreviver.

Quarta idéia:
Algumas destas características que conferem maiores chances de sobrevivência são herdáveis, passando de geração a geração. Portanto, com o tempo, após algumas gerações esta característica se conservará na população.
No nosso exemplo, em regiões de solo arenoso, a cor da pelagem branca será **mais freqüente**. Teremos sempre maior número de ratos brancos do que pretos.

De modo semelhante ao que observamos no jogo dos cliptacídeos. Na região com mais disponibilidades de sementes grandes, os pássaros de bicos grandes de uma população, de uma mesma espécie, são mais freqüentes, e passam a predominar sob os pássaros de bicos menores da mesma população, espécie.



E a origem das espécies?

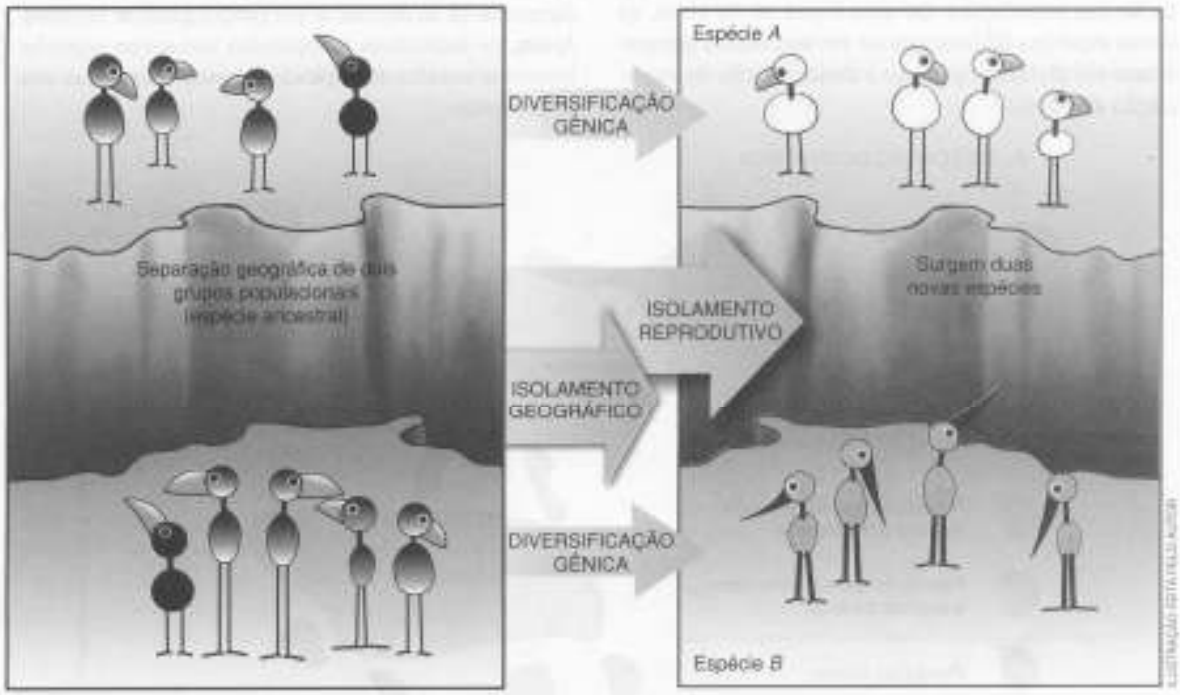
Nesta perspectiva evolucionista, a grande diversidade de seres vivos que existe hoje na terra teria origem no processo de especiação, formação de novas espécies. E como este processo pode ser explicado pelas idéias de Darwin?
Vamos pegar o exemplo nosso exemplo da população dos cliptacídeos:

Uma população foi isolada geograficamente da outra, pela mudança do curso de um rio. Os indivíduos de uma população de uma das margens do rio não se encontram mais com os indivíduos da outra margem e, portanto, não se acasalam mais entre si.

Como vimos, cada população poderá passar por processos de seleção natural diferente, já que o ambiente pode apresentar variações diferentes. Ou seja, como as condições do ambiente em que vivem são diferentes, a seleção natural agirá de forma a selecionar características diferentes nas duas populações.
No caso do jogo, vimos que a população residente na região norte foi submetida a um regime seletivo diferente da população da região sul. Que regimes foram estes? A oferta diferente de alimento. Na região norte, com o tempo havia mais sementes de tamanho grande disponíveis do que as sementes médias e pequenas. E a característica de ter bicos maiores foi selecionada. O inverso ocorreu na região sul.

Portanto, com o tempo, cada uma das novas populações pode acumular características diferentes da outra. Temos assim a formação de subespécies. Se após este período de isolamento geográfico, os membros de uma população não mais reconhecem os indivíduos da outra população como parceiros sexuais, de modo que, mesmo colocados juntos, não mais se acasalam, teremos duas espécies diferentes.

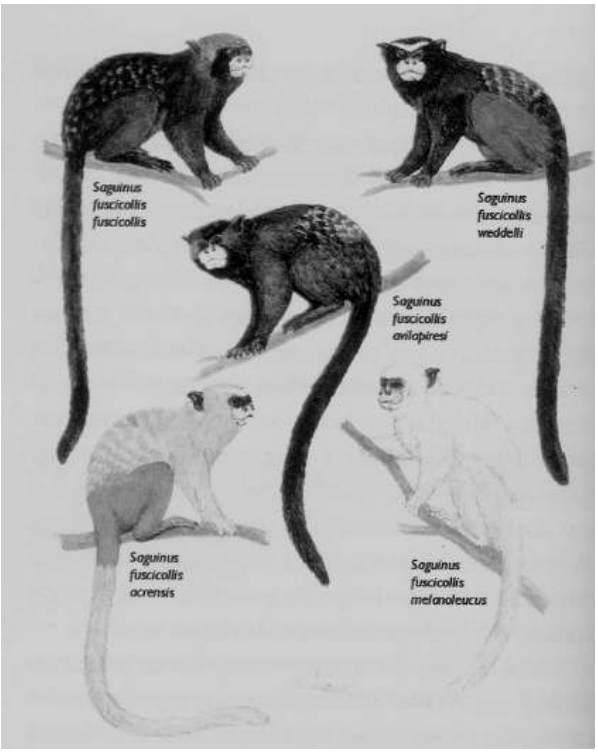
No nosso jogo, não houve tempo suficiente e nem mudanças nas características das duas populações suficientes para isso. Mas é um processo que poderá ocorrer posteriormente. Este processo é ilustrado desta forma no livro didático de Biologia de Amabis (2005):

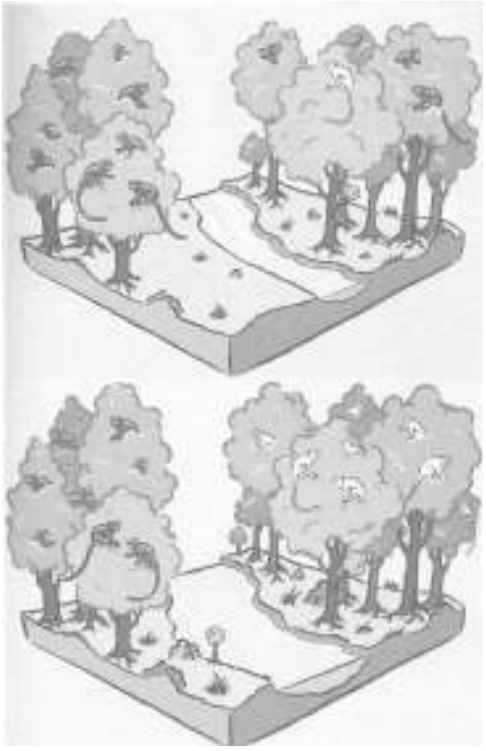


▲ **Figura 11.4** • Representação esquemática do modelo de especiação dicopátrica. O isolamento geográfico bloqueia o fluxo gênico entre as populações isoladas e permite a diferenciação gênica. Pressões seletivas diversificadas acentuam as diferenças. O último passo é o desenvolvimento do isolamento reprodutivo, que bloqueia biologicamente a troca de genes.

Estes eventos de isolamento geográfico, com posterior e conseqüente formação de espécies, são comuns na natureza e podem explicar a origem da grande diversidade de seres vivos. A origem de uma nova espécie, como vimos, nem sempre implica a extinção de outra, de maneira que a diversidade é acumulativa e vem aumentando, ao longo da evolução da vida.

Na Amazônia, os grandes rios funcionam como barreiras geográficas, e isolam geograficamente populações, permitindo que elas se diferenciem ao longo do tempo. Esta pode ser uma das explicações para a diversidade da fauna que lá encontramos. Vemos na figura à abaixo a esquerda cinco subespécies de sagüis da Amazônia, que diferem muito na coloração da pelagem. Na figura abaixo à direita vemos um modelo para explicar a formação destas subespécies. (as duas figuras foram retiradas do volume “Evolução” da coleção “Ciência Hoje na Escola” editada pela SBPC- Sociedade Brasileira para o Progresso da ciência).





Agora podemos responder melhor a pergunta: ***O homem veio do macaco?***

Agora que entendemos melhor a idéia de descendência comum de Darwin podemos analisar melhor a pergunta que muitos de nós nos fazemos quando lemos superficialmente sobre a teoria de evolução de Darwin: Quer dizer que o Homem veio do Macaco? ou "O que Darwin quis dizer foi que o homem veio do Macaco?
Vejam a resposta dada por dois estudiosos do pensamento evolutivo de Darwin, Diogo Meyer e Charbel Niño El-Hani, no Livro "Evolução: o sentido da Biologia" (2005):

Chimpanzé e humanos são, ambos, resultados de transformação evolutiva. Eles partilham um ancestral comum, que existiu há algum tempo, e sofreram mudanças desde que essa espécie ancestral se ramificou pela primeira vez. Nós não descendemos dos chimpanzés, nem os chimpanzés descendem de nós: somos espécies distintas que se originaram de uma outra, que existiu no passado, o ancestral comum de humanos e chimpanzés [ver figuras abaixo]. Quando dizemos que "viemos dos macacos", queremos dizer que somos descendentes de um animal que provavelmente tinha muitos traços semelhantes aos dos macacos atuais, mas ao mesmo tempo, não era um macaco idêntico ao que vemos hoje. A forma mais correta de responder à pergunta "o homem veio do macaco?" é então a seguinte: humanos e macacos são parentes próximos na natureza e o ancestral que deu origem a ambos era um animal semelhante aos macacos que conhecemos hoje.
Meyer & El-Hani, 2005, p. 26.

APÊNDICE 5:

ATIVIDADE REALIZADA NA ÚLTIMA AULA DA SEQÚÊNCIA

ROTEIRO DE DISCUSSÃO: Resistência de Pragas a inseticidas

A prancha que vocês receberam ilustra um processo que gerou resistência a inseticidas numa população de pragas agrícolas. Lembrando que as variedades verde e vermelha são VARIEDADES DA MESMA ESPÉCIE DE BESOUROS, responda as questões abaixo:

O que aconteceu com a população de besouros da espécie daninha entre o momento 1 e o momento 2?

O que aconteceu com a população de besouros da espécie daninha entre o momento 2 e o momento 3. O que explica esta mudança?

Ao final do processo, no quadro 5 , o que podemos observar?

Gostaríamos que vocês fizessem uma descrição de como **a espécie** da praga agrícola ilustrada no caso, se tornou resistente ao inseticida. Procure na sua narrativa usar os termos, organismos, população, variação, seleção natural e adaptação.

Vocês encontraram alguma relação com este caso da resistência de pragas a inseticidas e os resultados do jogo dos clipsetacídeos?