



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

Tese de doutorado apresentada por:
Mario de Jesus Ferreira

"A controvérsia do efeito das radiações ionizantes em doses baixas e
sua recepção no Brasil"

Orientador: Prof. Dr. Amilcar Baiardi

À minha esposa Andréia, às minhas filhas Naia e Naíse, aos meus pais, familiares e amigos que me inspiraram, estimularam e perdoaram a minha ‘ausência’ nesse longo período de estudo..., o meu amor, minha gratidão, minha alegria por ter finalizado o trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências por ter acolhido esse projeto de pesquisa,

ao Professor Amilcar Baiardi, pelos livros disponibilizados, pelas sugestões de organização do trabalho, pela atenção, compromisso e presteza que dedicou à orientação dessa tese,

ao Professor Olival Freire, pelos vários artigos importantes que “garimpou” para essa tese, pelo estágio que estimulou e que se efetivou junto ao MAST, pela abertura de espaço para estágios no exterior e pelas várias contribuições que deu ao longo do projeto,

aos Professores Aurino Ribeiro e Flavio Edler, pelas importantes contribuições durante a qualificação,

ao Pesquisador Albin Volte, pela disponibilidade em participar desse projeto como membro da banca de defesa,

à Universidade Estadual da Bahia - UNEB, em particular ao DCET, Campus II, que me liberou das atividades docentes a partir do segundo semestre de 2010,

à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da UNEB, pela bolsa de estudos concedida a partir do período de liberação,

ao Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST, pelo proveitoso estágio concedido,

à Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN, pelos livros e números da revista Brasil Nuclear disponibilizados,

ao Núcleo de Tecnologia e Saúde e ao Laboratório de Física Radiológica do IFBa, em particular ao professor Marcus Navarro pelos artigos disponibilizado e pelos trabalhos realizados em conjunto,

aos membros do LACIC pela manutenção da agenda de seminários, que possibilitam muitos momentos de debate, reflexão e troca de informações,

á Patrícia Ferreira, pela revisão de português,

Meus agradecimentos.

Tese de doutorado: “A controvérsia sobre o efeito das radiações ionizantes em doses baixas e sua recepção no Brasil”

Orientador: Amilcar Baiardi

Orientando: Mario Ferreira

Resumo:

Esse trabalho tem como objetivo acompanhar, do ponto de vista da História das Ciências, a controvérsia sobre o efeito das radiações ionizantes em doses baixas e sua recepção no Brasil. A análise envolveu, de um lado, o relatório do *Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation* (BEIR V), *National Academy of Science*, dos Estados Unidos, que conclui que, com relação ao câncer radio-induzido e aos efeitos genéticos hereditários, a frequência desses efeitos varia linearmente, sem limiar de dose (modelo LNT) e, do outro, o relatório da *Académie des Sciences de France*, “*Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation*”, que defende que o modelo LNT e o seu uso para avaliar riscos em baixas doses não são baseados em evidências científicas. O acompanhamento da controvérsia no Brasil mostrou que ela foi discutida em periódicos, livros, e palestras e o artigo mais enfático que a abordou, publicado na revista *Brasil Nuclear*, reuniu vários argumentos em favor da tese que defende que as radiações ionizantes, em doses baixas, podem produzir efeitos benéficos (hormese), uma outra vertente da controvérsia. A pesquisa envolveu, principalmente, o período de 1990 a 2005, e os trabalhos analisados mostram uma controvérsia aberta, que envolve elementos que tentam se articular e alistar o maior número possível de aliados com o propósito de transformar em fatos científicos seus argumentos. Embora tenha suas raízes na década de 1950, a controvérsia ganhou espaço a partir do final da década de 1960, se intensificou a partir de 2005 com o relatório francês e não apresenta sinais claros de que um razoável consenso, sobre os reais efeitos das radiações ionizantes em doses baixas, possa ser facilmente alcançado em um curto intervalo de tempo.

Abstract:

This paper aims to follow the controversy over the effect of ionizing radiation at low doses and its reception in Brazil. Based on the History of Science, the analysis involved two reports. One of them, written by the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, (BEIR V), created by the National Academy of Sciences of the United States, concludes that the cancer induction, and its hereditary genetics effects, increases with the radiation level, likely a linear, no-threshold function of the dose (LNT model). The other, written by the *Academie des Sciences de France* and entitled "Dose-Effect Relationships and Estimation of the Carcinogenic Effects of Low Doses of Ionizing Radiation", argues, in other way, that the LNT model, and its use to evaluate the risk associated with low doses, is not sustainable by scientific evidence. The following in Brazil showed that it was discussed in magazines, books and lectures and more emphatic that the article addressed, published in the journal Nuclear Brazil, met several arguments in favor of the thesis that argues that ionizing radiation in low doses may produce beneficial effects (hormesis), another aspect of controversy. The research involved mainly the period from 1990 to 2005, and the studies analyzed show an open controversy, which involves elements that attempt to articulate and enlist as many allies as possible in order to transform their arguments in scientific facts. Although it has its roots in the 1950s, the controversy gained space since the late 1960s, intensified after 2005 with the French report and shows no clear signs that a reasonable consensus about the real effects of ionizing radiation at lower doses, can be easily achieved in a short time.

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCC	Atomic Bomb Casualty Commission
ABEN	Associação Brasileira de Energia Nuclear
EFN	Association of Environmentalists For Nuclear Energy
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANS	American Nuclear Society
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BEIR	Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CBR	Colégio Brasileiro de Radiologia
CBC	Colégio Brasileiro de Cirurgiões
DSB	Double Strand-Breaks - Quebra dupla de cadeias de DNA
CEA	Centre d'Etudes Atomiques
FRC	Federal Radiation Council
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
INCA	Instituto Nacional do Câncer
LNT	Linear No-Threshold
LSS	Life Span Study
LET	Linear Energy Transfer
MAST	Museu de Astronomia e Ciências Afins
NAS	National Academy of Sciences
NCRP	National Council of Radiation Protection
NRC	National Research Council
ONU	Organização das Nações Unidas

RERF	Radiation Effects Research Foundation
SAR	Síndrome Aguda da Radiação
SSB	Single Strand-Breaks – Quebra de uma cadeia de DNA
SBM	Sociedade Brasileira de Mastologia
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
USPSTF	U.S. Preventive Services Task Force
WHO	World Health Organization
WTC	World Trade Center

Sumário

Capítulo I: Introdução	10
Capítulo II: Contextualizando o problema	16
2.1 Do encantamento inicial aos primeiros indícios de problemas	17
2.2 O Projeto Manhattan e a radiofobia	21
2.3 A radiofobia e a pressão sobre os órgãos de controle das radiações	28
2.4 Os testes nucleares, os acidentes nucleares e os riscos	31
2.4.1 Os testes nucleares	31
2.4.2 O acidente de Three Mile Island	33
2.4.3 O acidente de Chernobyl	35
2.4.4 O acidente de Goiânia	37
Capítulo III: O relatório NAS-BEIR V	39
3.1 A estrutura do relatório americano	39
3.2 O “Executive sumary”	42
3.3 Estimativa dos riscos de câncer radio-induzido	44
3.4 A base principal do BEIR V: os estudos desenvolvidos pela RERF	46
3.5 O possível “calcanhar de Aquiles” do relatório	52
Capítulo IV: A posição da “ <i>Académie des Sciences de Freance</i> ”	55
4.1 A Estrutura do relatório francês	56
4.2 O “ <i>Executive Summary</i> ”	58
4.3 Dados radio-biológicos que respaldam o relatório francês	62
4.3.1 A reação contra as espécies reativas de oxigênio	62

4.3.2 A ativação de sistema de reparos do DNA	64
4.4 Mecanismos da carcinogênese	66
4.5 A possibilidade de efeitos benéficos da radiação: a hormese	69
Capítulo V: A recepção da controvérsia no Brasil	73
5.1 O conteúdo da palestra “Efeito das radiações sobre os organismos vivos”	74
5.2 O artigo “Quando a radiação faz bem”	78
5.3 O editorial da revista Brasil Nuclear: “A fabricação do consenso”	83
5.4 A crítica aos órgãos de controle: O que fazer com a população de Guarapari?	86
Capítulo VI: Os riscos em torno dos exames radiológicos - rastreamento mamográfico	91
6.1 Os problemas em torno do conceito de “risco”	91
6.2 Incertezas dos riscos de morte por câncer-radio-induzido, no BEIR V	93
6.3 A “estimativa” do risco de morte por câncer induzido pela mamografia	87
6.4 O debate em torno do rastreamento mamográfico	99
Capítulo VII: Desdobramentos da controvérsia	106
7.1 O relatório BEIR VII, da academia americana	107
7.2 Os ensinamentos de Chernobyl	110
7.3 As “controvérsias” nucleares e os ambientalistas	113
7.4 O desdobramento na academia francesa	121
7.5 O <i>Bulletin of the Atomic Scientists</i> e a controvérsia em baixas doses	123
Capítulo VIII: Considerações finais	125
Anexo: Influências teóricas – a difícil questão da abordagem em história das ciências	133
Referências bibliográficas	151

CAPÍTULO I – Introdução

O objetivo deste trabalho é acompanhar, do ponto de vista da História das Ciências, a controvérsia sobre o efeito das radiações ionizantes em doses baixas, abordando sua recepção no Brasil, procurando caracterizá-la, identificar os principais atores envolvidos e analisar, de forma simétrica e sincrônica os relatórios, a natureza dos fatos e argumentos que sustentaram os debates no período de 1990 a 2005. Os objetivos específicos são:

- Analisar a posição das Academias de Ciências dos Estados Unidos e da França sobre o efeito das radiações ionizantes em doses baixas.
- Caracterizar a controvérsia, procurando identificar os pontos, em torno do qual, ela foi gerada.
- Analisar a recepção da controvérsia no Brasil, identificando os principais atores envolvidos, bem como suas motivações.
- Discutir a natureza dos fatos, argumentos e interesses que sustentam a controvérsia.

O estudo justifica-se, pois, vive-se em um planeta no qual as fontes de radiações naturais (o potássio 40, o carbono 14, o radônio, o urâno, o tório, entre outras) ou as fontes produzidas pelo homem em artefatos militares, industriais, ou médicos, nos expõem aos efeitos das radiações ionizantes. Em geral, chama-se de radiações ionizantes aquelas com energia suficiente para ionizarem o meio, ou seja, aquelas capazes de transferirem para os elétrons do meio energia suficiente para fazê-los escapar dos átomos. Quando não houver outras referências, o termo genérico ‘radiações’ designará, ao longo deste trabalho, ‘radiações ionizantes’. Os efeitos em doses altas dessas radiações estão bem estabelecidos; entretanto, na maior parte das vezes estamos sujeitos a doses baixas; quais seriam, então, os efeitos biológicos nesse caso?

Vários cientistas, embasados em trabalhos como os da Academia Americana de Ciências, por exemplo, poderão afirmar que os efeitos genéticos e carcinogênicos aumentam linearmente com a dose, sem limiar. Outros cientistas, que tomem como base o relatório publicado pela Academia de Ciências da França, poderão argumentar que esse modelo não tem sustentação em dados científicos, implica na disseminação do medo e impõe gastos

significativos com sistemas de radioproteção que, muitas vezes, inibe a construção de instalações que ajudariam no desenvolvimento científico e tecnológico.

Trata-se, portanto, de uma controvérsia aberta que envolve elementos claros da Ciência, Tecnologia e Sociedade, que tentam se articular e alistar o maior número possível de aliados com o propósito de transformar em fatos científicos seus argumentos. Embora tenha suas raízes na década de 1950, a controvérsia ganhou força a partir do final da década de 1960, de forma que ela já tem algumas décadas de existência. Não obstante esses dados, e considerando a importância que os estudos de controvérsias adquiriram para a História das Ciências, surpreende o fato de termos, até o momento, encontrado apenas um artigo, em revistas da área, que trata diretamente do tema. Assim, o interesse social e acadêmico pelo tema, a pouca inserção do mesmo no âmbito da História das Ciências e a existência de fontes que se prestam a uma análise histórica, justificam e viabilizam o estudo dessa controvérsia.

Aspectos metodológicos

Esse trabalho visa desenvolver um estudo sobre controvérsia, seguindo uma tradição iniciada a partir do Programa Forte, mas apostando na necessidade de ampliar o enfoque, buscando uma aproximação com a disciplina História e com a área de Ensino de Ciências. Da primeira, interessa, principalmente, os argumentos e objetivos do método crítico e da abordagem histórica do tempo presente. Já a aproximação com área de Ensino de Ciências, parece ser importante visto que vários estudos vêm demonstrando uma visão distorcida da natureza da ciência, além de problemas na própria aprendizagem dos conceitos científicos. Não obstante as várias tentativas de aproximação, na expectativa de atenuar essas dificuldades, a realidade é que as obras de História das Ciências ainda são lidas quase que exclusivamente dentro do próprio círculo dos historiadores das ciências, despertando pouco interesse para outros públicos, inclusive os ligados à área de Ensino de Ciências. A estratégia, para tentar conseguir esse objetivo, na realidade é muito simples, e consiste, essencialmente, em procurar manter uma permanente preocupação com a clareza da informação e com o conteúdo científico em si, tentando construir uma narrativa com atrativos capazes de interessar a esse público. Essa parece uma forma adequada de, pelo menos, sinalizar que as portas do “auditório”, ainda tão restrito da História das Ciências, estão abertas.

Por outro lado, como será discutido no **Anexo: Influencias teóricas – a difícil questão da abordagem em História das Ciências**, por ser uma área comum a muitas disciplinas, é esperado que cada uma delas influencie a forma de abordar uma obra de História das Ciências, o que termina por criar várias correntes. Essa diversidade de enfoques, para alguns, é a força da disciplina, para outros, entretanto, descaracteriza e leva a pouco consenso sobre a real importância de cada um deles. É assim, por exemplo, em torno de algumas correntes historiográficas que, estimuladas pelo Programa Forte, focam suas análises preferencialmente na discussão dos interesses externos (econômicos, políticos, sociais, etc), em torno das proposições científicas. A expectativa é que uma abordagem historiográfica, que procure atrair para o “auditório” da História das Ciências um público vinculado à área de Ensino de Ciências, ajude a balancear a narrativa, pois, para esse público, é importante a compreensão dos interesses externos, mas, também, das proposições e dos conceitos científicos em si mesmos.

Ainda para esse público, uma História das Ciências, do tempo presente, pode facilitar ainda mais a aproximação, visto que, temas e problemas do nosso tempo, costumam despertar um maior interesse. Quais são, de fato, os riscos das radiações ionizantes em doses baixas? Como se comportar diante de um exame radiológico se os mesmos implicam em certos riscos? Deve-se ou não viver ou frequentar lugares de altos níveis de radiação natural, como as praias de Guarapari, por exemplo? A produção de energia elétrica a partir da fissão nuclear, diante dos riscos das radiações, deve ou não ser abandonada? A essência dessa tese é acompanhar, do ponto de vista da História das Ciências, as respostas que os especialistas vêm tentando oferecer para essas questões.

Inicialmente, foi feita uma ampla revisão bibliográfica cobrindo um período que vai, desde a descoberta dos Raios X e da radioatividade, até o surgimento dos primeiros problemas de saúde associados às radiações ionizantes. Esse assunto é trazido no **Capítulo II – Contextualizando o problema**, no qual se discute, em especial, o papel das bombas atômicas, dos testes nucleares, e dos acidentes radioativos na criação de um sentimento de medo generalizado das radiações, e a pressão que esse medo exerceu sobre os órgãos de controle, dando origem à controvérsia sobre o efeito das radiações ionizantes em doses baixas.

O estudo foi realizado procedendo-se a análise de diversas fontes históricas que retratavam essa controvérsia – relatórios, periódicos, depoimentos escritos, artigos,

documentos de arquivo pessoal, livros, etc. Após uma análise preliminar, foi percebido que o volume e a diversidade das fontes estava se constituindo em um obstáculo para uma análise simétrica e imparcial das mesmas. Diante desse fato, optou-se por analisar, de um lado, os relatórios BEIR V (1990), do *Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation*, da *National Academy of Science* (NAS), dos Estados Unidos, cuja conclusão principal é que a frequência, do risco de câncer radio-induzido, varia linearmente com a dose, sem limiar (modelo LNT – *Linear No Threshold*). Segundo essa conclusão, qualquer nível de dose, sem importar o quanto baixo seja seu valor, é capaz de aumentar a frequência de casos de câncer; essa conclusão é sustentada fortemente pelos estudos dos sobreviventes das bombas atômicas, assunto discutido no **Capítulo III – O relatório NAS-BEIR V.**

Do outro lado, analisou-se o relatório “*Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation*”, de março de 2005, da *Académie des Sciences*, França, que defende que modelo LNT não possui bases científicas e que os sobreviventes das bombas foram expostos a alta dose e a alta taxa de dose e, por isso, os resultados desses estudos não podem ser aplicados, sem correções, em populações expostas a baixas doses e baixas taxas de dose. Esse argumento é sustentado à luz de vários dados da radiobiologia, e conta com o respaldo dos estudos epidemiológicos de populações que residem em locais de altos níveis de radiação natural, assunto discutido no **Capítulo IV - A posição da Académie des Sciences de France**. Tanto o relatório americano, quanto o francês, podem ser caracterizados como trabalhos de revisão de artigos e, devido ao caráter multidisciplinar, a tarefa envolveu um grupo de especialistas em áreas como radiobiologia, bioquímica, proteção radiológica, física, medicina, estatística, etc.

Mas não seria uma inversão de valores, focar dois estudos de revisão, ao invés de focar os próprios artigos objetos dos estudos? Acredita-se que não, pois, numa controvérsia, bons estudos de revisão desempenham um grande papel, visto que seu poder de persuasão pode ser, muitas vezes, superior ao que é proporcionado por artigos isolados. Além disso, caso a opção metodológica tivesse sido focar diretamente os artigos, como se apropriar dos conteúdos envolvidos e ter acesso a publicações em meio a tanta diversidade? Como fazer um recorte? Como julgar adequadamente a qualidade do artigo? O trabalho das duas academias resolveu esses problemas - ambas mobilizaram um grupo de especialistas, com notoriedade científica internacional, que produziram estudos de revisão que se mostraram viáveis como porta de entrada para a abordagem da controvérsia.

Essa opção metodológica está dentro do propósito de perseguir uma abordagem simétrica; ao invés da análise de artigos isolados, publicados nessa ou naquela revista especializada, por esse ou aquele cientista conhecido apenas em suas áreas de atuação, a análise se daria em cima dos estudos de revisão dos principais artigos sobre o tema, com conclusões opostas, feitos em nome de duas academias de ciências bem estabelecidas no mundo científico. Entretanto, em muitos momentos, foi necessário recorrer a um ou outro dos artigos originais e não houve acanhamento em fazê-lo, sobretudo quando o veículo de publicação tinha abrangência e conceito, como no caso da revista *Nature*. Assim, como pode ser visto no ano de publicação das fontes estudadas, acompanhou-se a controvérsia no período de 1990 a 2005 e isso aconteceu, principalmente, porque foi esse o menor período no qual ocorreram publicações conjuntas das academias de medicina e de ciências de ambos os países.

Como segundo passo, avaliou-se como a controvérsia foi inserida no Brasil, assunto tratado no **Capítulo V – A recepção da controvérsia no Brasil**; rastreou-se artigos, livros, depoimentos, e outros documentos relacionados com o tema, publicados no período estudado. Okuno (1998), em um tópico de duas páginas denominado ‘Controvérsias entre cientistas’ e, posteriormente, Calegaro (2005), no breve artigo “Controvérsias sobre radiação ionizante”, discutem diretamente o tema; ambos os trabalhos mereceram análise. Entretanto, o artigo mais enfático encontrado foi Giurlani (1997), “Quando a radiação faz bem”. Esse foi o primeiro artigo, encontrado e que chamou a atenção para a controvérsia. Publicado na revista Brasil Nuclear, da Associação Brasileira de Energia Nuclear, o trabalho cita diversas pesquisas que relatam a ocorrência de efeitos benéficos da radiação em doses baixas (hormese), e traz fortes declarações, em defesa desse efeito, de um dos entrevistados, o Prof. Hervásio de Carvalho, um dos responsáveis pelo Programa Nuclear brasileiro de produção de energia elétrica a partir da fissão do átomo; esse fato nos levou a pesquisar o arquivo pessoal do professor, mantido pelo Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST.

Conforme depoimento informal do engenheiro nuclear e historiador Guilherme Camargo, colaborador do artigo, quem forneceu todo o material científico para a elaboração do mesmo, foi o Prof. Hervásio de Carvalho. Embora esse material continue em mãos de Camargo, o que empobreceu significativamente o arquivo pessoal no tocante ao tema, foi encontrado um conjunto de documentos que foi catalogado, pelo Arquivo de História da

Ciência do MAST, como “Conteúdo da palestra Efeito das radiações sobre os organismos vivos”, ministrada pelo Prof. Hervásio, em 1990. Esse conteúdo traz relatórios, comunicação interna da NUCLEBRÁS, apostilas que tratam diretamente do assunto e mostram o interesse explícito de usar a hormese para combater a radiofobia e diminuir a resistência da sociedade ao Programa Nuclear. Além do artigo de Giurlani (1997), e do conteúdo dessa palestra, a revista Brasil Nuclear trouxe um editorial muito rico sobre o tema, na mesma linha de defesa do uso da energia nuclear para fins pacíficos. Todos esses documentos se mostraram importantes para os objetivos do trabalho e mereceram uma análise e uma discussão mais profundadas.

Como terceiro passo, ampliou-se ligeiramente o recorte inicial, com o objetivo de adquirir uma visão do quanto esse debate afeta o uso médico das radiações ionizantes, discutindo-se, especificamente, os problemas em torno do rastreamento mamográfico. Nesse estudo conclui-se que o risco de câncer de mama radio-induzido, embora seja muito propagado, não é o argumento mais utilizado contra a recomendação de mamografias em pacientes com menos de cinquenta anos, o que surpreende e fornece um bom indicador de que os efeitos nocivos das radiações ionizantes, atribuídos às doses baixas, devem ser vistos com muita cautela; o assunto é discutido no **Capítulo VI – Os riscos em torno dos exames radiológicos - o caso do rastreamento mamográfico.**

Como quarto passo, rastreou-se publicações sobre o tema editadas pelas academias de ambos países, após o período estudado. Analisou-se o relatório NAS-BEIR VII (2006), último relatório da academia americana sobre o tema, e o trabalho publicado em 2009, por Maurice Tubiana, presidente da comissão que publicou o trabalho da Academia Francesa, em 2005. Conclui-se que ambas as academias, a americana com um pouco mais de cautela, mantêm suas posições, o que mostra que a controvérsia continua aberta, assunto analisado no **Capítulo VII - Desdobramentos da controvérsia.** Ainda nesse capítulo, discutiu-se os dados sobre Chernobyl divulgados em 2005, em nome de sete agências internacionais, além dos desdobramentos da controvérsia entre os ambientalistas no *Bulletin of the Atomic Scientists*. O Capítulo VIII é destinado às considerações finais.

CAPÍTULO II - Contextualizando o problema...

Em 28 de dezembro de 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen anuncia a descoberta de uma radiação invisível; ela não interagia nem com o campo magnético, nem com o campo elétrico, não era desviada por prismas ou lentes, e era capaz de atravessar madeira, corpo humano e alguns metais. Para documentar esse fenômeno, que ficou conhecido como raios X, ele apresentou uma ‘fotografia de Roentgen’ mostrando a estrutura óssea de uma mão, e a fez chegar a cientistas como Boltzmann, Kelvin, Lorentz, Poincaré e muitos outros. Três semanas após a publicação do artigo, Poincaré o apresenta em uma reunião da Academia de Ciências francesa e conjectura, supondo que os raios X são emitidos devido à fluorescência do vidro do tubo de raios catódicos, que qualquer elemento que apresentasse aquele fenômeno poderia, também, emitir raios X. Essa conjectura, não obstante tenha se revelado falsa, colocou vários pesquisadores em uma pista que os levaria a outra grande descoberta, a *radioatividade*. Dentre os cientistas que se interessaram pela hipótese de Poincaré, encontrava-se Henri Becquerel, que se envolveu com o tema e realizou pesquisas utilizando o urânio. Em 1896 ele apresentou um trabalho onde assinalou que o elemento emitia uma radiação invisível capaz, como os raios X, de impressionar chapas fotográficas. Em 1898, Marie Curie chama esse fenômeno de *radioatividade* e, juntamente com seu marido Pierre Curie, descobre outros dois elementos que emitiam radiações similares às do urâno: o rádio e o polônio.

A natureza das radiações produzidas por esses elementos foi sendo compreendida gradualmente com a publicação de trabalhos de vários cientistas, principalmente aqueles realizados por Rutherford e seus colaboradores. Dignas de destaque são as experiências que levaram à detecção da radiação *alfa*, da radiação *beta* e da radiação *gama*. A radiação *alfa*, identificada em 1908/1909 como sendo o núcleo do átomo de hélio, sabe-se hoje ser constituída de dois prótons e dois nêutrons e, por isso, possui natureza corpuscular e interage fortemente, tanto com o campo magnético, quanto com o campo elétrico; a massa e carga elétrica presentes nas partículas constituintes da radiação alfa fazem com que ela seja absorvida facilmente pela matéria e, diferentemente dos raios X, é facilmente parada até por uma folha de papel. A radiação *beta* é constituída por partículas com a mesma massa do elétron e podem apresentar tanto a carga elétrica do elétron, quanto a carga elétrica do próton; assim, é também uma radiação corpuscular, interage com campos elétricos e magnéticos e, em uma escala menor do que as partículas alfa, também interage com a matéria com certa facilidade. A radiação *gama* é uma radiação eletromagnética, ou

seja, possui a mesma natureza dos raios X e difere destes apenas por se originar nos núcleos atômicos¹, enquanto os raios X se originam da interação entre partículas carregadas (principalmente os elétrons) e o átomo.

2.1 Do encantamento inicial aos primeiros indícios de problemas

Essas radiações possuem, em comum, o fato de serem *ionizantes*, ou seja, elas são capazes de transferirem, para o meio que as absorvem, energia suficiente para os elétrons desligarem-se de seus átomos; é esse o aspecto que as tornam importantes em várias aplicações médicas e industriais. Tanto os raios X, quanto as radiações nucleares, possuíam características surpreendentes para a época e isso, juntamente com a relativa facilidade de se obter os tubos de raios catódicos e os elementos radioativos, fez com que vários pesquisadores buscassem, em suas bancadas, os mesmos resultados anunciados por Roentgen e por Becquerel. Tauhata (1984) assinala que, em 1904, já eram conhecidos cerca de 20 elementos naturais que emitiam as mesmas radiações relatadas por Becquerel. Martins (1998) assinala que, apenas no ano de 1896, foram publicados mais de 1000 artigos sobre os raios X. Uma observação crucial sobre esses novos raios foi a de que eles eram capazes de causar fortes reações na pele (eritema), fato relatado no início de 1896, lesão essa que regredia após alguns dias sem novas exposições. O mistério em torno desses raios, bem como seu efeito biológico sobre a pele, levou à suposição de que eles poderiam ter propriedades terapêuticas; essa perspectiva, de certa forma, fez com que os efeitos negativos sobre a pele, pelo menos até aquele momento, ficassem em segundo plano. Várias tentativas de uso terapêutico ocorreram em tratamentos como tuberculose, processos inflamatórios e em diversos tumores.

Citando diversas fontes, Ferreira (2008) assinala que, em janeiro de 1896, os raios X foram utilizados para o tratamento de câncer de mama, e em julho, na França, numa

¹Encontra-se bem estabelecido nos livros textos da área que a ideia de núcleo atômico começa a ganhar respaldo científico depois de outra experiência importante, realizada em 1909. Geiger e Marsden fizeram um feixe de partículas alfa incidirem em uma lâmina de ouro; os ângulos de espalhamento das partículas foram analisados por Rutherford e os resultados encontrados o levaram, em 1911, a questionar a estrutura atômica defendida por Thompson (cargas positivas e negativas distribuídas por todo o átomo) e propor o modelo das cargas positivas ocupando apenas uma pequena região no centro (núcleo) do átomo, com as cargas negativas girando em volta do núcleo (eletrosfera). Esse modelo, que guarda semelhanças com o modelo planetário, foi aperfeiçoado por Bohr e Sommerfeld, o que propiciou o desenvolvimento de inúmeros campos de pesquisa, tais como mecânica quântica, cristalografia, física nuclear e física de partículas.

tentativa de tratamento de um câncer gástrico, com relato de melhora da dor e diminuição da massa tumoral. Em 1899, um tumor de células basais foi relatado como curado, utilizando-se essa técnica. Ou seja, é possível se dizer que, desde sua descoberta, riscos e benefícios estiveram sempre presentes nas aplicações desses raios, embora, no início, pouca atenção tenha sido dada aos primeiros. Quinn² (1997) assinala que, logo após o início das pesquisas que levaram à descoberta do rádio em 1898, o casal Curie começou a apresentar problemas de saúde como dores agudas no corpo, cansaço físico e perda de peso; os amigos, associando esses efeitos ao excesso de trabalho, os aconselharam a tirar férias; um trecho de uma carta de um desses amigos, Georges Sagnac³, é usada pela autora para ilustrar esse fato:

[Madame Curie] não tem suficiente resistência física para levar a vida puramente intelectual que vocês dois levam; e o que digo sobre ela vale também para você... Vocês mal se alimentam, os dois. Já observei isso mais de uma vez, quando tive o prazer de me sentar à sua mesa. Madame Curie beliscou um pedaço de salsicha e engoliu junto com ela uma xícara de chá! Por favor, reflita um pouco. Acha que mesmo uma constituição robusta não sofreria com uma tal *insuficiência alimentar?* (QUINN, 1997, P.196)

Segundo a autora, os conselhos não foram seguidos e, mais do que isso, Pierre Curie, reproduziu uma curiosa experiência relatada por dois alemães: Colocou, em cima do próprio braço, bário radioativo durante dez horas e observou, após a remoção do mesmo, que a pele ficara vermelha no local; depois de vinte dias da remoção formou-se um ferimento que só começou a cicatrizar após cinquenta dias. Becquerel apresentou ferimento parecido, após ter carregado, durante seis horas, a mesma substância no bolso do seu casaco; essas observações, entretanto, não pareciam incomodá-los:

Tanto os Curie quanto Becquerel tendiam a não levar a sério esses ferimentos. Marie Curie contou que Becquerel ficou ao mesmo tempo ‘deliciado e aborrecido’ com a descoberta de que o tubo de rádio queimara sua pele. ‘Eu o amo’, disse ele aos Curie, ‘mas devia estar ressentido com ele!’. Embora um de seus colegas tivesse descoberto que animais de laboratório morriam, após a exposição, não parecia ocorrer a ninguém que a radiação causasse danos orgânicos, e não apenas superficiais, aos seus corpos. Em retrospecto, parece claro que muitos dos

² A escritora Susan Quinn, num projeto que começou em 1990, publicou em 1995 uma nova biografia de Marie Curie, visto que, para ela, a vida real de Marie Curie permanecia oculta sob relatos triunfalistas, idealizados ou míticos. Quinn também reconhece como uma cientista singular mas traz à luz uma mulher e uma cientista que experimentou dificuldades comuns a ambas, marcadas por hipóteses científicas que se mostraram falsas, além de relacionamentos conturbados. O livro, *Marie Curie: A Life*, mereceu uma apresentação na *Nature*, VOL 374, de 27 de abril de 1995, recebeu o prêmio *Elle Grand prix des lectrices* em 1997, e foi publicado em oito línguas.

³ Georges Sagnac (1869 - 1928), físico francês, um dos pioneiros dos estudos dos raios X tem o seu nome ligado ao Efeito Sagnac, fenômeno previsto teoricamente por Max Von Laue em 1911 e demonstrado por ele em 1913, que levou ao desenvolvimento de instrumentos óticos, como os interferômetros por exemplo.

problemas que atormentaram tanto Marie quanto Pierre, nos anos seguintes, resultaram não de excesso de trabalho, mas do excesso de exposição. (QUINN, 1997, P.197)

O entusiasmo com as radiações descobertas, e o fato de que muitos dos efeitos mais graves só manifestam-se tarde, adiaram a percepção de que era necessário um maior controle no manuseio dos equipamentos e fontes de radiação, e isso valia não só para o continente europeu. Navarro (2009) cita que Thomas Edison, por exemplo, organizou em 1896, em Nova York, uma demonstração pública da fluoroscopia; o objetivo era mostrar a imagem da mão dos visitantes. Considerando-se que o tempo do exame podia chegar até uma hora e meia, percebe-se que as doses recebidas pelos operadores, e pelos ‘visitantes’, não era tão desprezível assim. Mr. Dally, um dos assistentes de Thomas Edison, por exemplo, desenvolveu uma radiodermite, que evolui para necrose até causar sua morte em 1904.

O caso do médico Álvaro Alvim (1863-1928), homenageado no selo dos correios com o título de ‘o mártir da ciência’, talvez seja o mais documentado caso de superexposição no Brasil. Como consequência de seu trabalho com os raios X, no início do século XX, ele recebeu altas doses nos seus dedos e mãos, as quais levaram a eritemas, que evoluíram para necrose e resultou na amputação desses membros:



Kraft (2009) cita que, após a Primeira Guerra Mundial, o interesse pelos danos à saúde, causados pelas radiações, se intensificou, devido aos relatos de aumento dos casos de leucemia, entre os radiologistas americanos expostos aos raios X, ao rádio e ao gás radônio:

O link com o câncer foi reforçado na metade dos anos vinte com as revelações chocantes sobre o aumento da incidência de câncer oral, ósseo e, especialmente, de

mandíbula, entre as mulheres que usavam tinta à base de rádio em New Jersey, e pelas mortes de câncer associadas com ‘tônicos’ à base de rádio. (KRAFT, 2009, p. 176-177)

Ele cita o caso de Eben Byers, industrial de Pittsburgh, que teve sua morte de câncer associada com o uso intenso de um tônico, à base de água radioativa, contendo o elemento rádio; o “*Radithor*” foi muito popular na década de 1920 pelas supostas propriedades milagrosas da radioatividade:



Superexposições como essas, que levaram a morte de mais de 300 pessoas, segundo Martins (1997), no início do uso dos raios X, chamaram a atenção para a necessidade de um maior controle das doses recebidas. Em 1921, o comitê britânico de radioproteção propõe 10% da dose de eritema (‘queimadura’ radio-induzida da pele) como dose máxima permitida para os trabalhadores (Em unidades de hoje esse valor seria, aproximadamente, 7000 mSv/ano)⁴. Em 1925, o 1º Congresso Internacional de Radiologia, realizado em Londres, propõe 10% da dose sugerida pelo Comitê Britânico (aproximadamente 700 mSv/ano) como dose ‘segura’. Em 1928 o 2º Congresso

⁴ Com o propósito de simplificar a narrativa, foi feita a opção de evitar o uso de unidades radiológicas antigas e convertê-las diretamente para o Sievert, unidade de dose equivalente do Sistema Internacional. Entretanto, para atenuar a chance de parecer anacrônico, deve ser assinalado que o Sievert só foi escolhido como unidade de dose equivalente em 1979, pela conferência geral de pesos e medidas, em homenagem ao físico sueco Rolf Maximiliam Sievert, chefe de física radiológica do Instituto Karolinska, Suécia, e um dos fundadores da ICRP. Para termos uma noção de sua magnitude, a dose equivalente média, à qual estamos sujeitos devido à radiação natural da terra, é cerca de 2,4 miliSievert (mSv) por ano.

Internacional de Radiologia, em Estocolmo, cria o comitê internacional que viria a se chamar ICRP (*International Comission on Radiological Protection*). Esse órgão, juntamente com o seu análogo americano (NCRP - *National Council of Radiation Protection*), são importantes referencias no campo da proteção radiológica.

2.2 O Projeto Manhattan e a radiofobia

O historiador Richard Rhodes, na introdução do livro **The Manhattan Project**, define, no título da mesma, uma das características mais destacadas desse projeto: “O grande trabalho da colaboração humana”. Em 1938, cinco anos após o físico húngaro, Leo Szilard, idealizar a possibilidade teórica de uma reação nuclear em cadeia, os químicos alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann, durante pesquisas de bombardeio do núcleo com neutrons, observaram um fenômeno que foi interpretado, pela física austríaca Lise Meitner, e por seu sobrinho, o também físico austríaco Otto Frisch, como **fissão** do átomo de urâno. Os resultados foram publicados em 15 de janeiro de 1939, com a previsão de que a quebra de cada núcleo, do átomo de urâno, liberaria uma energia de cerca de 200 milhões de eletrovolt. Em março do mesmo ano, os cientistas franceses Hans von Halban, Frédéric Joliot, e Lew Kowarski, confirmam a possibilidade teórica de uma reação em cadeia ao calcularem, que cada núcleo que sofre fissão, pela absorção de um nêutron, liberaria, em média, cerca de três nêutrons. Essas descobertas aconteceram em plena expansão da Alemanha de Hitler que, naquele momento, já havia se aliado a Mussolini, forçado uma união com a Áustria, anexado parte da Tchecoslováquia e feito reivindicação de parte de território da Polônia.

Para Rhodes (2007), a corrida para o desenvolvimento da bomba atômica tinha começado e, o medo que os alemães fossem mais “rápidos”, levou vários cientistas de origem europeia, como Leo Szilard, por exemplo, a se mobilizarem e buscarem o apoio de Albert Einstein para convencer o Presidente Roosevelt da importância dessa corrida. Em dois de agosto de 1939, Einstein encaminha para o presidente americano uma carta, sugerida por Leo Szilard e Eugene Wigner, chamando atenção do presidente para os trabalhos que mostravam a possibilidade de construção de uma bomba nuclear, e para o fato de que os alemães já poderiam estar mobilizando-se para a construção da mesma. Um memorando, escrito pelos físicos Otto Frisch e Rudolf Peierls em março de 1940, mostrou, que a fissão do urâno 235 com nêutrons rápidos, era viável e que a massa crítica para uma reação em

cadeia explosiva era da ordem de 1 kg, um valor que não se confirmou, mas que estimulou as pesquisas por ser bem menor do que se esperava na época.

Em julho de 1941, o comitê britânico, encarregado de estudar a viabilidade da bomba, elabora um relatório (*o MAUD report*) concluindo que o desenvolvimento da bomba era viável e urgente. Em outubro de 1941, Roosevelt escreve a Churchill propondo um esforço Anglo-American para a construção da mesma (BROWN, 2007)). Meses de pesquisas, em ambos os países, foram necessários para vencer a burocracia e o ceticismo de Vannevar Bush, diretor do *Office of Scientific Research and Development*, e convencê-lo a escrever para o presidente Roosevelt, em 9 de março de 1942, dizendo que “...o assunto é mais importante do que eu acreditava...a soma necessária parece ser menor ...as possibilidades reais de produção parecem mais certas”. Em setembro de 1942, com a designação do general Leslie Groves para o comando do *Manhattan Project*, como ficou conhecido o plano Anglo-American, os trabalhos para o desenvolvimento da bomba efetivamente começaram de forma sistemática, integrada, coordenada e altamente secreta (HERSHBERG; KELLY 2007).

Foi escolhido como coordenador técnico o físico J. Robert Oppenheimer e o desafio principal era obter o material físsil necessário: o urâno 235 e o plutônio. O primeiro existe na natureza junto com o urâno 238, numa proporção de apenas 0,7%; sua obtenção implicava na descoberta de técnicas eficientes para a separação. As unidades destinadas ao enriquecimento do urâno, como é conhecido o processo de separação, foram montadas em Oak Ridge, no Tennessee, e chegou a ocupar uma área de 180 quilômetros quadrados. Para a produção do plutônio, elemento produzido pelo bombardeio do urâno com neutrons, foi montada uma unidade em Hanford, Washington; o laboratório ocupava uma área de cerca de 1700 quilômetros quadrados e empregava cerca de 60 mil trabalhadores (CAMARGO, 2006)). O local escolhido para a coordenação técnica, estudos teóricos, planejamento, montagem final e testes da bomba foi Los Alamos, no Novo México. Foi lá que dezenas de cientistas, de altíssimo nível, incluindo vários ganhadores do prêmio Nobel, trabalharam durante meses, isolados inclusive de seus familiares, e construíram as três primeiras bombas atômicas, finalizando um projeto que, de forma pouco questionável, pode ser considerado o primeiro exemplo de *Big Science*, ou simplesmente “O grande trabalho da colaboração humana”, como prefere o historiador Richard Rhodes.

Mais fácil de questionar é o “esquecimento” de que o objetivo principal, de muitos dos cientistas que se empenharam na construção da bomba, era evitar que ela chegasse primeiro às mãos dos nazistas. O mundo acordou desse pesadelo em 30 de abril de 1945, com o suicídio de Hitler, mas a decisão de lançar as bombas, em 06 e 09 de agosto de 1945, contra um Japão já destruído e sitiado, mostrou que ainda havia muito o que temer. A decisão teria sido tomada para “salvar vidas americanas”, durante uma possível invasão. Para alguns, como Thomas Kuhn⁵, por exemplo, as justificativas eram até aceitáveis, para outros, entretanto, o argumento era pouco convincente. A liberação dos documentos *Top Secrets*, do Projeto Manhattan, bem como a análise de outros dados, como as fotos de Tóquio após os intensos bombardeios pelas forças americanas, permitem uma compreensão diferente dos acontecimentos.

Jordan (2011) traz uma dessas fotos, onde se visualiza uma grande área da cidade completamente destruída, o que sugere que o poderio aéreo americano, que matou bem mais japoneses do que as bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, era significativo o suficiente para forçar a rendição, sem a necessidade de uma invasão que colocasse em risco um grande número de vidas de soldados americanos:



Não parece fácil encontrar uma razão, dentro do contorno restrito ao conflito militar Estados Unidos/Japão, que justificasse a “urgência” de se invadir uma cidade com

⁵ Sobre esse assunto Kuhn, numa longa entrevista dada a Kostas Gavroglu e outros historiadores, questionado sobre o seu sentimento em relação às bombas, disse: "...Acho que, se questionado, eu aprovaria, eu sabia que havia pessoas que achavam que nós simplesmente não deveríamos tê-la jogado, que nós deveríamos ter feito uma demonstração dela, mas o sentimento geral era: 'Olhe nós temos de acabar com isso'. Eu olhava com simpatia aqueles que achavam que talvez nós devêssemos ter usado outra técnica. Mas eu não sabia o suficiente para realmente ter quaisquer convicções a esse respeito, ou qualquer grande sensação de que teria funcionado; e provavelmente não teria funcionado. Assim, não sou daqueles que ficaram terrivelmente perturbado, embora muitos admirassesem esse grupo e concordassem com eles e desejassem que tivessem sido capazes de fazer mais do que fizeram. E acho que eu teria me associado a eles, mas não era uma grande questão para mim, quer dizer, talvez tenha concluído que havia chegado a época de terminar com aquilo." (KUHN, 2006, p. 335-336)

esse grau de destruição, usando forças terrestres e expondo as vidas dos soldados. Jordan (2011) cita que a “exigência de rendição incondicional”, emitida pela Conferência de Potsdam, em 26/07/45, foi rejeitada, dois dias mais tarde, “amplamente devido ao fato de não haver menção nenhuma à permanência do imperador Hiroito no trono”. Essa garantia foi dada depois das bombas atômicas serem lançadas...

É difícil ignorar o sentimento de revolta após o ataque japonês em Pearl Harbor; é difícil ignorar os relatos de crueldade dos militares japoneses nos territórios por eles invadidos; é difícil, quase seis décadas após os acontecimentos, analisá-los, adequadamente, sob o assédio constante do anacronismo; mas é difícil, também, simplesmente ignorar que havia, na época em que os fatos ocorreram, outras alternativas. É bastante significativo que, pelo menos uma delas – a da demonstração das bombas atômicas - tenha surgido de cientistas do próprio Projeto Manhattan. Sete deles, inclusive Leo Szilard, apresentaram essa proposta, inicialmente através de um relatório elaborado em 11 de junho de 1945, conhecido como *Franck Report*,⁶ que dizia que a demonstração teria o mesmo efeito de apressar a rendição, sem a necessidade de inúmeras vítimas e sem induzir uma corrida armamentista futura, a qual, sem sombra de dúvida, levaria outros países a adquirirem o domínio da tecnologia nuclear.

A resposta de Oppenheimer, em nome dele e dos outros três físicos do painel científico do Projeto Manhattan, foi dada no documento *Recommendations on the Immediate Use of Nuclear Weapons*, parcialmente reproduzido abaixo⁷:

⁶ A não aceitação dessa proposta inicial pelo Painel Científico levou o grupo a elaborar uma petição ao presidente dos Estados Unidos, em 17 de julho de 1945. Cento e quinze cientistas do Projeto assinaram a petição; para Kelly (2007), nem o secretário da guerra, nem o presidente, viram a petição antes das bombas serem lançadas.

⁷ Esse recorte foi feito a partir de cópia, disponibilizada na internet, do documento original sob a guarda do U.S. National Archives, Record Group 77, Records of the Office of the Chief of Engineers, Manhattan Engineer District, Harrison-Bundy File, Folder #76. O mesmo conteúdo da cópia pode ser encontrado no livro **Manhattan Project** (KELLY, 2007).



[...] You have asked us to comment on the initial use of the new weapon. This use, in our opinion, should be such as to promote a satisfactory adjustment of our international relations. At the same time, we recognize our obligation to our nation to use the weapons to help save American lives in the Japanese war.

[...] to induce surrender. Those who advocate a purely technical demonstration would wish to outlaw the use of atomic weapons, and have feared that if we use the weapons now our position in future negotiations will be prejudiced. Others emphasize the opportunity of saving American lives by immediate military use, and believe that such use will improve the international prospects, in that they are more concerned with the prevention of war than with the elimination of this specific weapon. We find ourselves closer to these latter views; we can propose no technical demonstration likely to bring an end to the war; we see no acceptable alternative to direct military use.

June 16, 1945

A. H. Compton
R. O. Lawrence
J. H. Oppenheimer
E. Fermi

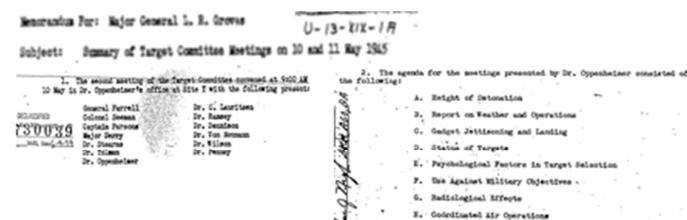
J. R. Diefendorf
J. H. Oppenheimer
For the Panel

Nele os físicos, depois de dizer que a posição entre os cientistas não é unanime, consideram a demonstração uma alternativa “não aceitável”. Eles iniciam o documento dizendo que, na opnião deles, o objetivo das bombas deveria ser o de “...promover um ajuste satisfatório de nossas relações internacionais. Ao mesmo tempo, nós reconhecemos que é nossa obrigação para com a nação usar as bombas para salvar vidas americanas...”. Embora opinar sobre o uso da bomba não fosse parte da agenda formal do grupo, o assunto veio à tona através do *Franck Report*, e chama a atenção o “ajuste das relações internacionais” aparecer como argumento principal de um grupo de cientistas, o que, de certa forma, pode ser atribuído à proximidade, principalmente de Oppenheimer, com os militares do Projeto.

O importante, para a presente análise, é que esse argumento se acomoda bem melhor ao conjunto dos fatos históricos. Em primeiro lugar, no dia 7 de maio de 1945, os alemães assinam uma rendição incondicional com os aliados; os soviéticos, que também haviam chegado a Berlim pela frente oriental, exigem uma segunda cerimônia de rendição, realizada em 8 de maio; vinte dias depois, “Stalin informa os americanos de que pretende declarar guerra ao Japão em meados de agosto” (JORDAN, 2011). Esse conjunto de acontecimentos oferece um motivo bastante plausível para “tanta” urgência de se obter a rendição de um país já destruído e sitiado: era estratégico, para os Estados Unidos, obter a rendição **formal** dos japoneses **antes** que Stalin avançasse, sobre o Japão, o suficiente para conferir a ele o direito de fazer reivindicações sobre o território, como o fez na Europa. Em

segundo lugar, mostrar a capacidade de destruição real de uma bomba que, até então, era exclusiva dos americanos (é difícil dizer, até que ponto, seria dos ingleses também) conferiria a eles um poder de barganha inigualável, como fica claro na ênfase dada aos aspectos psicológicos que deveriam ser observados no planejamento da escolha dos alvos, destacados no memorando endereçado ao General Groves.

O documento, de 12 de maio de 1945, tinha como assunto “*Summary of Target Committee Meetings*” e sua leitura sugere que os verdadeiros motivos que levaram os físicos do painel científico, e as autoridades americanas, a considerarem a demonstração como uma alternativa “não aceitável” era, de fato, os aspectos psicológicos: Era consenso que eles possuíam tal relevância que o uso inicial da bomba deveria, além de impressionar os japoneses a ponto de apressar a rendição, ser “suficientemente espetacular para a importância da bomba ser internacionalmente reconhecida quando a publicidade sobre ela fosse liberada”. Nesse sentido a “cidade de Kioto tinha a vantagem de ter uma população mais inteligente”, o que ajudaria a repercutir mais os efeitos da bomba; Hiroshima, por sua vez, tinha a “vantagem” de, devido à proximidade de montanhas, “uma grande fração da cidade poderia ser destruída”. Essas afirmações podem ser vistas no recorte parcial do documento⁸, reproduzido abaixo:



7. Psychological Factors in Target Selection

A. It was agreed that psychological factors in the target selection were of great importance. Two aspects of this are (1) obtaining the greatest psychological effect against Japan and (2) making the initial use sufficiently spectacular for the importance of the weapon to be internationally recognized when publicity on it is released.

B. In this respect Kyoto has the advantage of the people being more highly intelligent and hence better able to appreciate the significance of the weapon. Hiroshima has the advantage of being such a size and with possible focusing from nearby mountains that a large fraction of the city may be destroyed. The Emperor's palace in Tokyo has a greater fame than any other target but is of least strategic value.

⁸ Essa montagem foi feita a partir de cópia, disponível na internet, do documento original sob guarda do U.S. National Archives, Record Group 77, Records of the Office of the Chief of Engineers, Manhattan Engineer District, TS Manhattan Project File '42-'46, folder 5D Selection of Targets, 2 Notes on Target Committee Meetings. O mesmo conteúdo da cópia pode ser encontrado em Kelly (2007) e em <http://www.dannen.com/decision/targets.htm>, acesso em abril de 2013.

Os efeitos psicológicos desejados seriam, realmente, difíceis de serem alcançados sem um grande número de vítimas reais e sem a destruição real de grande parte de uma cidade. Aliás, não foi por outra razão que as cidades escolhidas para alvo deveriam, prioritariamente, terem sido minimamente atingidas pelos bombardeios convencionais, e esse foi um dos fatores que não fizeram de Tóquio um dos alvos. Assim, fica evidente que, uma simples demonstração, era mesmo uma alternativa “não aceitável” para quem pretendia algo “suficientemente espetacular” a ponto de apressar a rendição, impressionar os outros países, e promover um reajuste nas relações internacionais. Mais que isso, além do seu poder devastador imediato, como um poderoso explosivo, a bomba trazia pelo menos um outro aspecto “espetacular”: Ela, ao mesmo tempo que causava os danos característicos de uma potente explosão, liberava radiações nucleares que também eram devastadoras pelo seu poder de causar tanto danos letais imediatos, como danos letais tardios. Ou seja, os seus danos seriam perpetuados por várias décadas, amplificando os efeitos psicológicos cuidadosamente planejados.

Toda essa exposição sobre o Projeto Manhattan tem dois propósitos principais; o primeiro, como Kraft (2009) bem o fez, é chamar a atenção para o fato de que, em paralelo com o objetivo principal de desenvolver as bombas atômicas, o Projeto precisou desenvolver uma enorme quantidade de pesquisas sobre os efeitos biológicos da radiação ionizante. Além dos estudos com animais, os trabalhadores do projeto eram classificados em termos de suas proximidades com as fontes no curso de seus trabalhos, e submetidos a uma sistemática avaliação médica que incluía exames de sangue de rotina. Consciente dos riscos envolvidos, Arthur Compton, Diretor do Metallurgical Laboratory, em Chicago, designou o médico Leon Orris Jacobson para a equipe de Divisão Médica, para supervisionar a monitoração dos trabalhadores. Os resultados dessas observações, juntamente com aqueles oriundos das explosões das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, colocaram a radiobiologia em evidência. O segundo propósito é usar, os dados apresentados, para subsidiar o argumento de que o Projeto Manhattan, com o objetivo de maximizar os efeitos das bombas, criou o cenário desejado, deliberadamente trágico, perfeito para apresentar ao mundo os efeitos catastróficos da radiação e, assim, usarem o temor generalizado da mesma como uma “arma” psicológica de efeito prolongado.

Ou seja, embora o termo radiofobia não tenha aparecido explicitamente, nos documentos do Projeto aqui analisados, a forma como os acontecimentos se sucederam sugerem que esse sentimento não pode ser considerado simplesmente um efeito “colateral” ou secundário da utilização das bombas. Seria ele que, em última instância, iria possibilitar o “reajustamento das relações internacionais”. Temer e respeitar o poder destruidor das radiações era temer e respeitar a única nação que, até então, tinha se mostrado capaz de “penetrar” no núcleo dos átomos, dominar os fenômenos ali presentes, e usá-los, em escala catastrófica, quando fosse de seu interesse. Como grande parte dos estudos, sobre o efeito das radiações em doses baixas, foram desenvolvidos em um ambiente onde a “radiofobia” sempre teve um papel de destaque, o tema passou a ser o “combustível” principal da controvérsia que estava para se iniciar. Assim, parece ser razoável admitir que o ingrediente principal da controvérsia sobre o efeito das radiações foi concebido, de forma cuidadosamente planejada, ainda que para outros objetivos, dentro do Projeto Manhattan.

O que os norte americanos não consideraram, embora tenha sido alertado no *Franck Report*, foi que o “monopólio” do domínio da tecnologia nuclear pudesse ser quebrado tão facilmente. Isso aconteceu num tempo relativamente curto, e logo pela União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, o que fez com que a radiofobia, “arma” desenvolvida para ser usada “apenas” contra o resto do mundo, se voltasse, “espetacularmente”, contra a própria nação norte americana. Com a entrada da União Soviética, e de outros países, no clube atômico, passou a ser urgente, para os americanos, a busca da ‘cura’ para os efeitos da radiação, o que levou à uma desenfreada corrida científica à procura de medicamentos e técnicas que curassem ou atenuassem os efeitos das radiações. Kraft (2009) assinala que o desenvolvimento da técnica de transplante de medula óssea, por exemplo, foi amplamente beneficiada pela expectativa que se criou de que ela fosse capaz de combater os males causados pelas radiações.

2.3 A radiofobia e a pressão sobre os órgãos de controle das radiações

O fracasso dessa busca, os testes nucleares com as bombas de fusão e o acirramento das relações com o bloco soviético, estavam esquentando, em demasia, os bastidores da Guerra Fria, e alarmando a sociedade. Em paralelo com essas questões ligadas à segurança internacional, os estudos dos sobreviventes das bombas atômicas chamavam a atenção para a necessidade de se considerar, para efeitos de proteção radiológica dos

trabalhadores e do público em geral, não apenas os efeitos imediatos. Uma dose de radiação poderia ser inócuas para provocar eritema, por exemplo, mas poderia induzir o câncer anos após a exposição. Como se pensar em uma dose ‘segura’ se não se conhecia um limiar, abaixo do qual, se pudesse garantir a não ocorrência de um efeito genético ou de um câncer radio-induzido? A ausência desse limiar fez com que, a partir de 1954, o NCRP adotasse o princípio ALARA (*As Low as Reasonably Achievable*), que recomenda que as doses nos trabalhadores expostos à radiação ionizante devam ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequível, o que, na prática, significa o abandono do conceito de que existe uma dose ‘segura’. A comissão internacional (ICRP), mesmo sem adotar oficialmente o princípio ALARA (isso só irá ocorrer em 1973)⁹, também rejeita o conceito de dose ‘segura’. Uma outra forma de enunciar esse princípio é dizer que radiação, por menor que seja o nível de dose, é danosa aos seres vivos.

Baixar os limites aceitáveis de radiação passou a ser uma obsessão dos órgãos de controle. Assim, no final da década de 1950, tanto o NCRP quanto o ICRP, recomendam que a dose para indivíduos ocupacionalmente expostos, em situação normal de trabalho, não deveria ultrapassar o limite de 50 mSv/ano. Esse limite, entretanto, não é entendido como limite isento de riscos; ele é considerado como uma condição de contorno, dentro do qual, os riscos são considerados aceitáveis por serem compatíveis com os riscos de atividades profissionais consideradas seguras. Se, para os trabalhadores expostos à radiação, chegou-se a um consenso razoável em torno do princípio ALARA, e dos limites de dose, o mesmo não pode ser dito dos limites para indivíduos do público. A perspectiva de um uso cada vez maior da energia nuclear para fins pacíficos, bem como as exposições devidas aos testes nucleares, poderiam expor os indivíduos do público¹⁰ a doses significativas de radiação; era urgente se estabelecer limites para a população em geral. O NCRP sugeriu o limite de 1,7 mSv/ano para indivíduos do público e, em 1960, o *Federal Radiation Council* (FRC) adota esse limite como dose média aceitável para um grupo de indivíduos do público.

⁹ Em 1977 a ICRP estabelece como princípios básicos da proteção radiológica as seguintes recomendações: “a) Não se deve adotar nenhuma prática a menos que sua introdução produza um benefício claro e positivo; b) todas as exposições devem mantidas tão baixas quanto seja razoavelmente possível, levando em conta fatores econômicos e sociais; e c) a dose equivalente recebida pelos indivíduos não deve exceder os limites recomendados pela Comissão para as circunstâncias apropriadas” (OPS, 1986).

¹⁰ O termo “Indivíduo do público” se refere a indivíduos que não estejam se expondo à radiações durante procedimentos médicos, nos quais sejam pacientes, nem durante atividades profissionais envolvendo fontes de radiações, caso no qual seriam denominados de Indivíduos ocupacionalmente expostos.

Semendeferi (2008) assinala que, para John Gofman, cientista americano, esse limite seria muito alto e provocaria um excesso de 32000 mortes de câncer por ano. Uma das formas de se chegar, a valores como esse, é relacionar o excesso de mortes ocorridas por câncer radio-induzido, nos sobreviventes das bombas atômicas, com as doses recebidas por eles; esses dados, obtidos para doses altas, é extrapolado, linearmente, para doses baixas (no caso, o limite de 1,7 mSv/ano), sem considerar nenhum limiar de dose. Esse modelo é conhecido pela sigla LNT (Linear No Threshold). O *Bulletin of the Atomic Scientists*, em 1973, noticiou o assunto da seguinte forma:

Em 1969, uma controvérsia nacional surgiu em torno da segurança dos padrões de proteção radiológica federal para os reatores nucleares. Dois cientistas, Arthur R. Tamplin e John Gofman, do Atomic Energy Commission's Lawrence-Livermore Laboratory, lançaram um manifesto afirmando que os padrões da AEC permitiam que as usinas nucleares emitissem 10 vezes mais radiação do que era seguro. Eles reivindicavam uma redução dos padrões por um fator de 10. Funcionários da AEC responderam denunciando o manifesto como errôneo e não científico. No último inverno a National Academy of Sciences-National Research Council quebrou um longo silêncio sobre esta controvérsia. Ela reportou os resultados de uma revisão dos padrões [...realizada] pelo seu consultivo Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation [...]. O relatório claramente deu suporte a Tamplin e Gofman. (TAMPLIN, 1973, P.19)

John Gofman, em 1963, era professor de física médica da Universidade da California, Berkeley; na opinião de Semendeferi (2008), um “cientista visto por alguns como um potencial ganhador do prêmio Nobel” e que tornou-se diretor da divisão de pesquisa biomédica e diretor associado do *Lawrence-Livermore Laboratory*, da Comissão de Energia Atomica americana. A sua atuação, na tentativa de provar os danos causados pela radiação em baixa dose, é acompanhada no trabalho “*Legitimating a Nuclear Critic: John Gofman, Radiation Safety, and Cancer Risks*” e foi o único artigo, encontrado durante esta pesquisa, que trata diretamente dessa controvérsia no âmbito da História das Ciências. A posição de destaque ocupada pelo cientista, e o fato da sua pesquisa ter tido financiamento de órgãos vinculados ao sistema de fiscalização e controle da energia nuclear, davam às suas opiniões um peso significativo, o que chamou a atenção da opinião pública e das autoridades.

Como noticiado pelo *Bulletim*, um dos resultados desse debate foi a criação, em 1972, do *Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation* (BEIR), pela *National Academy of Science* (NAS). Semendeferi (2008) destaca a influência exercida pelas ideias

de Gofman¹¹ sobre o comitê, cujo relatório não só afirmou o modelo LNT, como recomendou a adoção de um limite dez vezes menor. Embora Tamplin (1973) tenha se referido ao BEIR I como o documento que encerrava a controvérsia, o fato é que nem a comunidade científica, nem os órgãos de controle, aceitaram inteiramente o relatório, o que pode ser verificado a partir de dois dados importantes:

1 – O limite foi reduzido para 1 mSv/ano, o que indica que o fator de redução foi 1,7 e não 10, como sugerido pelo BEIR I;

2 – O relatório BEIR III, de 1980, que revisou os dados estudados pelo BEIR I e acompanhou os sobreviventes da bomba atômica de 1950 a 1974, divergiu do primeiro relatório, não legitimando o modelo LNT.

A falta de consenso em torno do BEIR III foi de tal ordem que a conclusão do relatório foi adiada por vários meses, e foi necessária, inclusive, a convocação de um membro externo para assumir a presidência do comitê e concluir o relatório. É apropriado dizer que o relatório de 1980 é a prova concreta de que a controvérsia estava reaberta dentro da própria academia americana de ciências. Os relatórios BEIR II (que discutiu questões ligadas à análise custo benefício, aplicada à proteção radiológica) e BEIR IV (que fez uma revisão dos trabalhos sobre o efeito biológico de emissores alfa dentro do corpo humano), embora tenham discutido temas ligados ao efeito biológico das radiações ionizantes, não tiveram o propósito mais amplo dos relatórios I e III e, por isso, não foram objeto de nosso estudo.

2.4 Os testes nucleares, os acidentes nucleares e os riscos

O clima de desconfiança em torno das radiações, que já era tenso devido aos efeitos tardios das explosões em Hiroshima e Nagasaki, piorou com os vários eventos que se seguiram: “Chuva” de resíduos radioativos dos testes nucleares, o acidente em Three Mile Island, na Pensilvânia, o acidente de Chernobyl, na antiga União Soviética, e, numa escala menor, o acidente de Goiania, no Brasil.

2.4.1 Os testes nucleares

¹¹ Depois desses debates Gofman e Tamplin vão se tornar dois ativistas confessos da causa anti-nuclear e fizeram vários livros com esse propósito, entre eles o livro “Poisoned Power”, no qual eles criticam, veementemente, o uso da energia nuclear para a produção de energia elétrica, comparando-a a um poderoso veneno, mesmo quando as usinas estão funcionando em condições normais (GOFMAN, 1979; SEMENDEFERI, 2008).

O primeiro teste nuclear aconteceu em 16 de julho de 1945, no deserto do Novo México, quando a bomba denominada *Trinity*, construída pelo Projeto Manhattan, foi detonada. Desde então várias detonações foram feitas para testar artefatos nucleares, espalhando, por toda superfície da terra, uma quantidade significativa de elementos como iodo 131, césio 137, estrôncio 90, entre outros. Ukono (1998) cita que cerca de 500 testes nucleares foram realizados no hemisfério norte até 1963, data do acordo entre Estados Unidos, Grã-Bretanha e União Soviética para proibir os testes em área aberta, mas os testes subterrâneos tiveram sequência e foram realizados 50 ou mais vezes por ano, de 1962 a 1990. Mesmo os testes em área aberta continuaram a ser realizados por países como a França, a China e outros que não participaram do acordo. Avalia-se que a dose média efetiva, devido exclusivamente aos testes nucleares, alcançou um pico em 1963, atingindo o valor de 0,150 mSv. Desde então o valor veio diminuindo e atingiu o valor de 0,005 mSv em 2000, devido principalmente aos resíduos de carbono 14, estrôncio 90, e césio 137).

O quadro abaixo permite a comparação das doses efetivas oriundas dos testes nucleares, com outras doses oriundas dos elementos radioativos naturais e de outras atividades desenvolvidas pelo homem (UNSCEAR, 2000):

Table 4
Annual per caput effective doses in year 2000 from natural and man-made sources

Source	Worldwide annual per caput effective dose (mSv)	Range or trend in exposure
Natural background	2.4	Typically ranges from 1-10 mSv, depending on circumstances at particular locations, with sizeable population also at 10-20 mSv.
Diagnostic medical examinations	0.4	Ranges from 0.04-1.0 mSv at lowest and highest levels of health care
Atmospheric nuclear testing	0.005	Has decreased from a maximum of 0.15 mSv in 1963. Higher in northern hemisphere and lower in southern hemisphere
Chernobyl accident	0.002	Has decreased from a maximum of 0.04 mSv in 1986 (average in northern hemisphere). Higher at locations nearer accident site
Nuclear power production (see paragraph 34)	0.0002	Has increased with expansion of programme but decreased with improved practice

Analisando-se as doses liberadas pelos testes nucleares, mesmo considerando o valor de pico em 1963 (0,150 mSv/ano) percebe-se que esse valor representa 6% da dose liberada pelas fontes naturais. Essa análise retrospectiva, entretanto, está bem longe de traduzir as incertezas de quem acompanhou o aumento do número de testes ao longo da década de 1950, e que tinha poucas razões para acreditar nas versões oficiais sobre o valor e o risco dessas doses. Moore (2008) retrata bem a forte controvérsia que surgiu nos Estados

Unidos em torno dos efeitos das radiações dos testes nucleares, principalmente depois da morte, em setembro de 1954, de um dos pescadores japoneses atingidos pelos testes americanos realizados, em março desse mesmo ano, no atol de Bikini, no pacífico sul. O debate em torno dos efeitos dos testes foi intenso e envolveu vários cientistas, levou à elaboração do manifesto Russel-Einstein pedindo o fim da corrida armamentista, inspirou a realização das Conferências Pugwash¹² (BARROS, 2005) e chegou à campanha presidencial americana de 1956 envolvendo os candidatos Adlai Stevenson, contrário aos testes, e Dwight Eisenhower, favorável a eles (MOORE, 2008).

2.4.2 O acidente de Three Mile Island

Na primavera de 2004, 25 anos após o acidente com o reator da unidade 2 da usina nuclear de Three Mile Island, na Pensilvânia, o National Museum of American History organizou uma exposição denominada *Three Mile Island: The Inside Story*, concebida e organizada pelos historiadores Paul Forman e Roger Sherman. Segundo os historiadores, em 28 de março de 1979, operadores da usina, tentando desobstruir tubos do sistema secundário de circulação de água, “accidentalmente” bloquearam o sistema de remoção de calor do reator. A temperatura aumentou, uma válvula de segurança abriu automaticamente permitindo a fuga de vapor do circuito secundário, mas a temperatura do reator continuou a subir, o que fez com que o sistema de segurança principal, de forma automática, interrompesse a reação em cadeia. Nessa situação a válvula de segurança deveria mudar automaticamente para fechada, e o indicador luminoso da sala de controle assim indicava. O problema é que a válvula, de fato, havia travado na posição aberta e assim se encontrava. O instrumento que estava indicando que ela se encontrava fechada também estava dando uma informação falsa, o que confundiu os operadores.

Nessa situação, o reator, que mesmo desligado produzia uma quantidade significativa de calor devido à radioatividade, estava perdendo água de sua refrigeração pela válvula defeituosa e continuava aquecendo. As indicações confusas, a falha da válvula e o fato do reator estar desligado levaram os operadores, para impedir a ebulação violenta da

¹² Como uma forma de estimular cientistas de todo o mundo, principalmente americanos e soviéticos, a tentarem influenciar seus governos alertando para o risco que a humanidade corria com a escalada armamentista, foram idealizadas várias conferências internacionais sobre o tema; a primeira (1957) e várias delas foram realizadas num vilarejo canadense chamado de Pugwash. Essas conferências foram fortemente apoiadas pelo cientista inglês Joseph Rotblat, o único cientista que abandonou o Projeto Manhattan tão logo ficou evidente que a Alemanha não tinha condições de construir a bomba. Joseph Rotblat e as Conferências Pugwash receberam o Prêmio Nobel da Paz em 1995 (BARROS, 2005).

água, a desligarem as bombas de água, o que agravou ainda mais a situação. Forman (2004) explica que logo após a reação em cadeia ser interrompida, o reator ainda é capaz de gerar, devido à radioatividade de seus elementos, cerca de 160 megawatts de calor, que cai para 30 megawatts após 1 h e para 20 megawatts após as três primeiras horas de reator desligado. Nesse período, mesmo com o reator desligado, as temperaturas ainda sobem o suficiente para permitir a ruptura do zircônio, material que reveste o combustível nuclear, composto de urâno e dos elementos derivados das reações nucleares (césio 137, iodo 131, estrôncio 90, entre outros). Os operadores estavam perdidos com as informações indicadas nos instrumentos e passaram a desacreditar deles, inclusive das indicações de nível de radiação na unidade, tão altos que justificava-se, pelas normas de então, a declaração de uma emergência geral. Às 06:18 eles descobriram a falha da válvula de segurança, fecharam a válvula de reserva manualmente, e ligaram as bombas de água que permitiam a refrigeração do reator. Às 09:00, cinco horas após o acidente, o perigo real havia passado “sem que ninguém soubesse o quanto grave havia sido”.

Após 48 horas de investigação, relatos indicaram a possibilidade de vazamento de uma quantidade significativa de material radioativo, o que levou as autoridades a recomendarem, que as mulheres grávidas e crianças pequenas, deixassem a área, e que fosse adquirido cerca de um quarto de milhão de garrafas de solução de iodeto de potássio, para inibir a absorção do iodo 131 pela tireoide. Forman (2004) diz que, de fato, “não houve liberações de radioatividade que constituam um perigo para a saúde pública” e que tudo não passou de “mal-entendidos”. Na época, funcionários da *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) não tiveram esse entendimento e declararam, que as presenças dos gases hidrogênio e oxigênio no interior do reator, poderiam causar uma explosão, o que tornaria necessário uma evacuação num raio entre 15 e 30 quilômetros em torno do reator.

A visita do Presidente americano, Jimmy Carter, e da primeira dama, às instalações da unidade 2, no dia primeiro de abril de 1979, mostrou, de certa forma, que o risco de explosão tinha sido superestimado e que a crise tinha acabado. Entretanto, os danos sofridos pelo reator, cuja construção começou em 1969, e a operação em abril de 1978, demoraram mais para serem bem compreendidos. Em 1981 começou a limpeza e, no ano seguinte, as inspeções começaram; vários meses depois foram constatados os sérios danos sofridos pelo reator, o que inviabilizou sua recuperação; em 1985 os destroços foram removidos, em 1987 foi reconhecido que metade do combustível tinha derretido e, dois anos

depois, que o combustível fundido tinha derramado no fundo do vaso do reator, constituído por uma camada de aço de cerca de 13 centímetros de espessura. Não houve registro de danos ambientais ou à saúde de nenhum indivíduo.

2.4.3 O acidente de Chernobyl

Em 26 de Abril de 1986, o reator da unidade da usina nuclear de Chernobyl, na ex-República da Ucrânia, na União Soviética, estava sendo submetido a um teste para verificar se, no caso de perda de potência, as turbinas poderiam produzir energia elétrica suficiente para manter as bombas de refrigeração ligadas, até que o gerador de emergência funcionasse. Para isso, foi reduzida a potência do reator e desligado o sistema de segurança. Funcionando nessa situação, por cerca de 11 horas, o reator começou a aquecer de tal forma que, mesmo quando os operadores tentaram interromper a reação em cadeia, as hastas de controle travaram, devido ao aumento de temperatura e, o processo não pode ser concluído completamente. O aquecimento do reator continuou e os gases produzidos no processo explodiram violentamente, destruindo a cobertura e liberando na atmosfera uma grande quantidade de material radioativo, principalmente o Iodo 131 e o césio 137. As próprias barras de grafite entraram em combustão e mantiveram-se assim por 10 dias, liberando ainda mais material radioativo na atmosfera. As investigações apontaram erros de projeto¹³, erros operacionais e erros no sistema regulatório soviético. O relatório da agência resumiu assim os principais fatores que contribuiram para o acidente:

A usina ficou muito aquém das normas de segurança em vigor, quando foi projetada e recursos inseguros foram incorporados. Análise de segurança inadequada. Atenção insuficiente para revisão de segurança independente. Procedimentos operacionais não fundados satisfatoriamente na análise de

¹³O projeto do reator permitia que ele funcionasse com o sistema de segurança desligado. Permitia, também, que bolhas de vapor, que se formassem na água de resfriamento, pudesse acelerar, de forma significativa, a reação nuclear, tornando-o instável e perigoso; essa situação foi agravada durante o funcionamento em baixa potência, o que mostra que o engenheiro chefe que autorizou o teste, bem como os operadores, não conheciam suficientemente aspectos de segurança do reator. As hastas de controle, destinadas a absorção de neutrons para controlar a reação em cadeia, tinham uma estrutura que fazia com que, durante a lenta inserção das hastas, houvesse uma aceleração temporária da reação, aumentando a temperatura do reator. A presença do grafite nas hastas favoreceu a combustão do mesmo por dez dias, aumentando a emissão de substâncias radioativas. O reator foi construído apenas com uma cobertura parcial, insuficiente para conter os resíduos radioativos da explosão. Reatores como esse custavam dez vezes menos do que os reatores ocidentais, mas eram inseguros o suficiente para serem proibidos pela IAEA , e só eram permitidos nos países do antigo bloco soviético, que não permitiam a fiscalização da agência; seus resíduos, por outro lado, se prestavam mais facilmente para a obtenção do plutônio, o que era uma vantagem para quem desejava produzir artefatos nucleares (AGUIAR, 2006).

segurança. Troca inadequada e ineficaz de informações de segurança importantes tanto entre operadores, quanto entre estes e os projetistas. Compreensão inadequada por parte dos operadores dos aspectos de segurança do reator. Respeito insuficiente por parte dos operadores para os requisitos formais dos procedimentos operacionais e de teste. Um regime regulatório insuficientemente eficaz, que foi incapaz de contrariar pressões para a produção. A falta geral de cultura de segurança em matéria nuclear, a nível nacional bem como localmente. (IAEA, 1992, p.24-25)

Entre 2003 e 2005, foi realizado um fórum envolvendo especialistas da *International Atomic Energy Agency* (IAEA), da *World Health Organization* (WHO), da *United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR) e de mais quatro agências¹⁴ internacionais, além de especialistas dos Governos da Belorussia, Russia e Ucrânia. Como resultado desse fórum, foi publicado um relatório denominado *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*. Segundo o relatório, a forte explosão liberou no ar uma quantidade significativa de Iodo 131, que possui uma meia vida física pequena (oito dias), o que fez com que o elemento praticamente desaparecesse poucas semanas após o acidente; seu principal risco foi a absorção do elemento pela tireoide, o que levou a um aumento dos casos de câncer nessa glândula. O césio 137 possui uma meia vida de 30 anos, bem mais longa do que o iodo 131, e ainda hoje pode ser detectado em algumas partes da Europa. As áreas mais afetadas pertencem hoje a territórios da Belorussia, Ucrânia e Russia. O relatório das agências destaca, além dos problemas clínicos, psicológicos e sociais das pessoas envolvidas, os danos de ordem econômica causados principalmente ao setor agrícola, que teve 784.320 hectares perdidos devido ao acidente, e a produção de madeira interrompida em outros 694.200 hectares. O custo total do acidente é estimado em centenas de bilhões de dólares.

Cerca de 350 000 pessoas trabalharam durante os procedimentos de emergência, limpeza e contenção, sendo que cerca de 240.000 deles trabalharam dentro de um raio de 30 km da usina e foram chamados de “liquidators”. Mais tarde o número registrado desses operários aumentou para 600.000. Cerca de 1000 desses trabalhadores receberam uma dose alta de radiação durante os primeiros dias do acidente, entre 2 e 20

¹⁴ United Nations Development Programme (UNDP), Food and Agriculture Organization (FAO, United Nations Environment Programme (UNEP), United Nations Office For the Coordination of Humanitarian Affairs (UN-OCHA).

Gy¹⁵. Dentre esses trabalhadores, 134 foram diagnosticados com Síndrome Aguda da Radiação¹⁶ e 28 deles morreram no ano de 1986; nesse mesmo ano três pessoas do grupo morreram de causas não relacionadas à radiação, uma delas com trombose coronariana. Os trabalhadores que ajudaram na cobertura do reator, e que trabalharam poucas horas por dia, receberam, em média, 100 mSv de dose efetiva no corpo inteiro. Cerca de 116.000 moradores da vizinhança da usina foram evacuados, entre a primavera e o verão de 1986, e receberam uma dose média de 33 mSv. Outras 220.000 pessoas foram relocadas anos seguintes. A ingestão de alimentos contaminados pelo Iodo 131, presente no leite, levou a uma alta dose na tireoide de alguns indivíduos mais expostos (50 Gy), embora a dose média nessa glândula tenha variado entre 0,03 e algumas poucas unidades de Gray, dependendo da região e do consumo dos alimentos contaminados. A ingestão de alimentos contaminados pelo Césio 137, além da exposição externa devido a esse e outros elementos, levou a uma dose efetiva média, na população geral de áreas “contaminadas”, de 20 mSv, acumulada entre os anos 1986 e 2005, com alguns casos individuais de doses médias acumuladas superiores a 50 mSv, em áreas restritas.

2.4.4 O acidente de Goiânia

O Instituto Goiano de Radioterapia mudou de endereço e, como não havia mais perspectiva de uso, deixou um aparelho de teleterapia com césio 137 na antiga instalação, ‘sem notificar a CNEN’¹⁷ e sem a necessária segurança no local. Duas pessoas entraram na instalação e, sem saberem o que era o aparelho, o desmontaram para vendê-lo no ferro velho. Nesse processo, a cápsula contendo a fonte de radiação foi removida do ‘cabeçote’ de

¹⁵ O Gray(Gy) é a unidade de dose absorvida em um meio físico, grandeza que não leva em conta a eficácia do feixe em produzir danos biológicos. A dose equivalente, por sua vez, é obtida multiplicando-se a dose absorvida por um fator de qualidade que leva em consideração a eficácia do feixe em produzir danos biológicos. A unidade de dose equivalente, no Sistema Internacional de unidades é o Sievert(Sv). Como para feixes de fótons e de elétrons o fator de qualidade é considerado 1, as doses absorvida e equivalente dessas radiações são numericamente iguais, ou seja, 1Gy de dose absorvida de fótons ou elétrons corresponde a 1 Sv de dose equivalente. Para feixes de nêutrons, prótons e partículas alfa, os valores das grandezas diferem significativamente visto que essas partículas, para uma mesma dose absorvida, causam efeitos biológicos muito maiores do que aqueles produzidos por fótons e elétrons.

¹⁶ Radiações em doses altas e em altas taxas de dose podem causar danos: No sistema hematopoiético (leucopenia, trombocitopenia, etc, levando a infecções e hemorragias, ocorre para doses superiores a 1 Gy); No sistema gastrointestinal (danos na mucosa intestinal, náusea, vômito, diarreia, etc, ocorre para doses superiores a 1 Gy); No sistema nervoso central (desorientação, fadiga fácil, etc, ocorre para doses da ordem de 100 Gy). Qualquer um desses sintomas, bem como o conjunto deles, é chamado de Síndrome Aguda da Radiação.

¹⁷ Essa informação foi contestada pelo Físico da Clínica que em várias ocasiões afirmou que a CNEN foi comunicada, embora não tenha providenciado o recolhimento da fonte. Essa comunicação, entretanto, não justifica o fato da fonte ter sido abandonada uma vez que, até o momento do seu recolhimento pela CNEN, a responsabilidade pela segurança do aparelho era da Clínica de Radioterapia.

proteção da máquina, ficou exposta e teve seu lacre rompido, expondo a fonte, que estava na forma de cloreto de césio 137. Foi divulgado que a fonte apresentava um brilho de cor azul, quando observada no escuro, e isso fascinou as pessoas. Por um período de cinco dias, várias indivíduos viram o fenômeno e fragmentos da fonte foram distribuídos para alguns deles. Problemas gastrointestinais começaram a aparecer nas pessoas expostas, o que levou uma das vítimas a procurar a Vigilância Sanitária e desencadear uma série de eventos que levou à descoberta do acidente e de sua gravidade.

Vários especialistas do Rio de Janeiro e de São Paulo foram para local, 112000 pessoas foram monitoradas, foi constatada a contaminação de 249 delas, 20 foram internadas, sendo que 14 delas, em estado mais grave, foram para o Hospital da Marinha, no Rio de Janeiro. Quatro foram a óbito dentro do prazo de um mês de internamento, apresentando hemorragias, infecção generalizada e outras complicações associadas com a Síndrome Aguda de Radiação. A análise citogenética dessas pessoas mostrou que elas receberam uma dose de corpo inteiro na faixa de 4,5 Gy a 6,0 Gy. Duas outras pessoas, que a análise mostrou ter recebido essa mesma dose, sobreviveram. Os dados não contemplam os preconceitos que os goianos sofreram, os danos psicológicos, econômicos e sociais que acidentes como esses causam e que ampliariam significativamente o número de vítimas. O Sr. Devair, o dono do Ferro Velho, por exemplo, recebeu alta e só veio a morrer sete anos depois, aparentemente de “cirrose hepática”, não constando na lista oficial de vítimas fatais do acidente (FERREIRA, 2008).

Esses acidentes tiveram muita repercussão, principalmente o de Chernobyl, que envolveu até outros países fora do continente europeu, como o Brasil, por exemplo, que se viu às voltas com o problema do leite supostamente contaminado, importado de alguns países da Europa. A expectativa que se criou foi que centenas de milhares de pessoas morreriam de câncer radio-induzido. Segundo sua programação de revisão periódica dos trabalhos, sobre o efeito biológico das radiações ionizantes, mas também fortemente pressionada pelo medo dos efeitos das radiações oriundas dos testes nucleares, dos acidentes de Three Mile Island e Chernobyl¹⁸ a academia americana convocou um novo comitê, o BEIR V, para fazer uma revisão do tema.

¹⁸ Não obstante o número de vítimas ter sido maior do que o acidente em Three Mile Island, que não teve relato oficial de vítimas, não foi encontrada nenhuma referência direta ao acidente de Goiânia no relatório BEIR V.

CAPÍTULO III - O relatório NAS-BEIR V

A *National Academy of Sciences* (NAS) foi oficialmente criada pelo presidente Abraham Lincoln, em 3 de março de 1863, com a função de "investigar, examinar, experimentar e relatar sobre qualquer assunto de ciência ou arte" sempre que convocada a fazê-lo por qualquer departamento do governo. A ideia de criação de uma academia nacional remonta ao ano de 1743, quando Benjamin Franklin criou a Sociedade Filosófica Americana. Trinta e sete anos depois foi fundada a Academia Americana de Artes e Ciências, e sessenta anos depois, o Instituto Nacional para a Promoção da Ciência. Não obstante essas informações, as raízes imediatas da NAS, segundo o site¹⁹ da academia, pode ser rastreada até o início de 1850, como vinculada a um grupo de cientistas com base, em grande parte, em Cambridge, Massachusetts.

A importância da NAS é bem assinalada em Baiardi (2012), que destaca o seu quadro de servidores de tempo integral (cerca de 1.100), sua produção anual de relatórios para o Governo Federal (aproximadamente 200 relatórios) e sua transparência para a sociedade. Segundo as notas de apresentação do relatório BEIR V, a NAS é composta de "distintos estudiosos envolvidos em investigação científica e de engenharia, dedicada à promoção de ciência e tecnologia e sua utilização para o bem-estar geral". Entre suas competências, destaca-se a de aconselhar o governo federal em questões científicas e técnicas. Ela congrega a *National Academy of Engineering* (NAE, estabelecida pela NAS em 1964 para as questões específicas de engenharia) e pelo *Institute of Medicine* (IM, estabelecido, também pela NAS, em 1970, para oferecer suporte às questões médicas). Ainda dentro do quadro da NAS, encontra-se o *National Research Council* (NRC, organizado em 1916), cujo propósito é articular a comunidade de ciência e tecnologia de forma a viabilizar a tarefa da NAS de assessorar o governo federal.

3.1 A estrutura do relatório americano

Embora a NAS já tenha publicado sete relatórios sobre o efeito das radiações ionizantes, apenas os relatórios BEIR I (1972), BEIR III (1980), BEIR V (1990) e BEIR VII (2006) tratam do efeito das radiações ionizantes em doses baixas de forma abrangente, com

¹⁹Endereço <http://www.nasonline.org/about-nas/history/>, acessado em 10/07/2012

o seguinte substituindo o anterior em termos de recomendações. Conforme o texto de apresentação, o BEIR V tem o objetivo de substituir o BEIR III, uma vez que:

Seguindo o programa de pesquisa binacional pelos cientistas japoneses e americanos, um reavaliação da dosimetria foi amplamente completada em 1986 e um novo programa de estimativa de dose nos sobreviventes foi iniciada pela *Radiation Effects Research Foundation* (RERF) em Hiroshima e Nagasaki. Além disso, os cientistas da RERF estenderam suas avaliações até 1985.

O BEIR III havia acompanhado os estudos dos sobreviventes no período de 1950 até 1974, sem o novo programa de estimativa de dose disponibilizado a partir de 1986 pela RERF- *Radiation Effects Research Foundation*, instituição de pesquisa sediada em Hiroshima e Nagasaki, mantida, pelos governos americano e japonês, com o objetivo de promover estudos sobre os efeitos das bombas atômicas nos sobreviventes. Todos os relatórios BEIR são fortemente baseados nos estudos desenvolvidos pela RERF, de forma que se faz necessário que se crie um espaço para se descrever, um pouco mais, a atuação dessa entidade, o que será feito no final desse capítulo. Em abril de 1986, de posse dos novos dados, o *Committee on Interagency Radiation Research and Policy Coordination* (CIRRPC)²⁰, do *Office of Science and Technology Policy*, solicitou que a NAS formasse o novo comitê, o BEIR V.

Composto por 17 membros, o comitê teve como *Chairman* Arthur C. Upton²¹, do *Department of Environmental Medicine, New York University Medical Center*. Além da revisão dos dados, o comitê foi solicitado a documentar a metodologia que levou às estimativas de riscos da radiação em doses baixas, bem como discutir as incertezas associadas a essas estimativas. As informações deveriam ser apresentadas de forma que pudesse subsidiar decisões sobre proteção radiológica, embora recomendações sobre normas ou diretrizes tenham sido especificamente excluídas deste estudo. Tanto a documentação das incertezas, quanto a decisão de não usar o relatório para “recomendar” limites de doses, normas ou diretrizes, constitui duas das principais mudanças em relação aos relatórios anteriores. Além dos membros do próprio comitê - cientistas com experiência em carcinogênese radio-induzida, epidemiologia, radiobiologia, genética, bioestatística,

²⁰ Enquanto no Brasil existe apenas a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) para cuidar da proteção radiológica das usinas nucleares, competência questionada pelo fato dela também ser usuária de fontes de radiações, nos Estados Unidos o problema é de outra ordem – várias entidades dividem essa responsabilidade, o que gerou a necessidade da criação de um comitê para coordenar as ações desses órgãos.

²¹ Formado em medicina pela Universidade de Michigan, Upton é um pesquisador nas áreas de Radiobiologia, Radiologia Oncológica e Saúde Pública, tendo ocupado vários cargos no *National Cancer Institute, no Institute of Environmental Medicine, New York University School of Medicine*. Detentor de vários prêmios, o pesquisador possui inúmeras publicações em suas áreas de atuação.

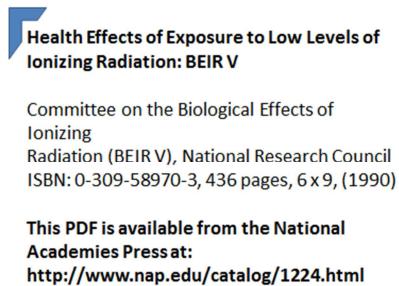
patologia, dosimetria, radiologia, modelagem matemática e avaliação de riscos – alguns cientistas externos também participaram das deliberações ao longo do trabalho.

No período de 30 meses de funcionamento do comitê, foram realizados oito encontros com todos os membros²², sendo que o segundo deles, em março de 1987, foi aberto ao público. Os estudos foram divididos nas seguintes categorias:

- Efeitos genéticos hereditários;
- radiobiologia celular e mecanismos carcinogênicos;
- carcinogênese radio-induzida;
- efeitos da radiação sobre o feto;
- modelagem de risco;
- epidemiologia das radiações.

Os membros podiam transitar entre essas categorias, o que permitia a troca de experiências entre especialistas de diversas áreas. Em dezembro de 1989 foi feita a primeira impressão do relatório BEIR V, cujo título foi “*Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*”. A versão estudada está disponível em formato PDF, com 436 páginas, e foi publicada, em 1990, pela *National Academy Press*, editora responsável pelas publicações da NAS:

²²ARTUR C. UPTON, *Chairman*, DANIEL L. HARTL, *Vice Chairman*, Department of Genetics, Washington, University School of Medicine, St Louis, Missouri; BRUCE B. BOECKER, Inhalation Toxicology Research Institute, Albuquerque, New Mexico; KELLY H. CLIFTON, University of Wisconsin Clinical Cancer Center, Madison, Wisconsin; CARTER DENNISTON, Department of Genetics, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin; EDWARD R. EPP, Division of Radiation Biophysics, Massachusetts General Hospital, Boston, Massachusetts; JACOB I. FABRIKANT, Donner Laboratory, University of California, Berkeley, California; DOUGLAS GRAHN, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois; ERIC J. HALL, Radiological Research Laboratory, Columbia University, New York, New York; DONALD E. HERBERT, Department of Radiology, University of South Alabama, Mobile, Alabama; DAVID G. HOEL, National Institute of Environmental Health Science, Research Triangle Park, North Carolina; GEOFFREY R. HOWE, National Cancer Institute of Canada, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada; SEYMOUR JABLON, National Cancer Institute, Bethesda, Maryland; ANN R. KENNEDY, Department of Radiation Oncology, Hospital of the University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania; ALFRED G. KNUDSON, JR., Fox Chase Cancer Center, Philadelphia, Pennsylvania; DUNCAN C. THOMAS, Department of Preventive Medicine, University of Southern California, Los Angeles, California; DALE PRESTON, Scientific Advisor to the Committee, National Cancer Institute, Bethesda, Maryland.



O relatório é iniciado com o resumo das principais conclusões, seguido de sete capítulos. O primeiro capítulo descreve os princípios científicos, os métodos epidemiológicos e as evidências dos efeitos biológicos em populações expostas às radiações ionizantes em doses baixas. O segundo capítulo resume as evidências científicas para os efeitos hereditários. O capítulo terceiro discute os mecanismos envolvidos na indução do câncer. O quarto capítulo descreve o modelo de risco usado pelo Comitê e o risco total de câncer induzido por exposição de corpo inteiro. O capítulo cinco discute o risco de câncer em diversos órgãos e tecidos do corpo e contém sete anexos. O sexto capítulo discute outros efeitos somáticos e o efeito sobre o feto. O capítulo sétimo reúne os estudos epidemiológicos, em doses baixas, que deram suporte ao comitê.

3.2 O “Executive summary”

As conclusões do relatório são apresentadas logo no seu início, no item denominado *Executive summary*. Na introdução do mesmo, afirma-se que a radiação ionizante pode afetar vários órgãos e tecidos do corpo, dependendo das características da radiação (dose, taxa de dose, transferência linear de energia da radiação, etc) e de fatores biológicos (área irradiada, tipo de órgãos e tecidos atingidos, idade, etc). Os efeitos tardios incluem a indução de câncer, problemas de saúde determinados geneticamente, desenvolvimento de anormalidades e algumas doenças degenerativas (catarata, por exemplo). O relatório destaca que o recente interesse nos riscos desses efeitos se deve, em parte, à presença de níveis altos de radônio em certas regiões e pela contaminação proveniente dos acidentes de Three Mile Island e Chernobyl, e acrescenta:

...Além disso, há o interesse na radioatividade ambiental em torno das usinas nucleares e a necessidade de se estabelecer normas para a descontaminação e deposição do lixo nuclear [...] A maior parte deste relatório lida com carcinogênese radio-induzida em seres humanos, primariamente porque: (1) Há um acompanhamento prolongado nos estudos epidemiológicos principais,

particularmente aqueles dos sobreviventes da bomba japonesa e de pacientes de radioterapia tratados para doenças malignas e benignas e (2) A revisão por um grupo binacional de experts do sistema dosimétrico para os sobreviventes da bomba em Hiroshima e Nagasaki permite melhorar a análise dos dados japoneses [...] Enquanto apenas uma aplicação limitada dos avanços em nossa compreensão dos mecanismos moleculares de indução do câncer e doenças genéticas é possível, estes tem sido examinados com o objetivo de diminuir a faixa de incertezas e pressupostos inerentes ao processo de estimativa dos riscos. (BEIR V 1990, p.16-17)

Em face dos estudos epidemiológicos disponíveis, o relatório abordará, principalmente, o câncer radio-induzido por baixas doses de radiação. São essas doses que atingem todos os habitantes da terra em virtude da presença de fontes naturais: o radônio e o carbono 14, presentes na atmosfera, o potássio 40, presente nos alimentos, o uranio e o tório, presentes nas rochas, entre outras. Juntou-se às fontes naturais outras fontes produzidas pelo homem em artefatos médicos, militares e industriais. Os acidentes de *Three Mile Island*, na Pennsylvania em 1979, e em Chernobyl, na USSR, em 1986, ocorreram em instalações industriais destinadas à produção de eletricidade, e os efeitos desses acidentes, como citado, chamaram a atenção do comitê, que mostrou-se preocupado com essas instalações mesmo em situações normais, sem acidentes, como pode ser percebido na afirmação de que “há o interesse na radioatividade ambiental em torno das usinas nucleares e a necessidade de se estabelecer normas para a descontaminação e deposição do lixo nuclear”. Ou seja, o debate sobre o efeito das radiações ionizantes em doses baixas tem, como uma de suas motivações, fornecer subsídios para a normatização do uso da energia nuclear para a produção de eletricidade.

O objetivo principal do relatório é quantificar o risco de câncer radio-induzido, baseado em análises de dados estatísticos provenientes de estudos epidemiológicos em humanos e em animais de laboratório. Com relação aos efeitos hereditários, o relatório diz que não foi encontrada evidência, em humanos diretamente expostos às radiações ionizantes, e que as estimativas de riscos foram obtidas com o acompanhamento de animais expostos em laboratório. Diz, ainda, que as extrapolações desses dados para os seres humanos permanecem incertas e que “no presente, nenhum dado está disponível para permitir confiáveis estimativas de riscos de desordens hereditárias multifatoriais mais complexas”. Sobre o retardo mental, radio-induzido em sobreviventes irradiados no útero, o relatório informa que novos dados permitiram a estimativa dos riscos dessas anormalidades. Na avaliação das estimativas de riscos o comitê cita que se baseou em suas próprias avaliações, utilizando métodos recentemente desenvolvidos para a análise de dados dos

sobreviventes estudados; mas logo em seguida ele alerta que os métodos estatísticos sofisticados reduzem, mas não eliminam as incertezas inerentes à estimativa do risco. Não obstante essa ressalva, o comitê traz a seguinte conclusão:

Dos vários tipos de efeitos biomédicos que pode resultar da irradiação em baixas doses e em baixas taxas de dose, alterações de genes e cromossomos permanecem para ser melhor documentadas. Recentes estudos dessas alterações em células de vários tipos, incluindo linfócitos humanos, tem aumentado nosso conhecimento de relevantes mecanismos e relações dose-resposta. Apesar das evidências de que as lesões moleculares que dão origem a danos somáticos e genéticos podem ser reparadas em um grau considerável, os novos dados não contradizem a hipótese, pelo menos no que diz respeito à indução do câncer e os efeitos genéticos hereditários, que a frequência de tais efeitos aumenta com baixo nível de radiação de forma linear, sem limiar de dose. (BEIR V, 1990, p. 4)

Dois aspectos precisam ser realçados nessa conclusão. Em primeiro lugar, a possibilidade de mutação genética radio-induzida em seres humanos, que assustou a humanidade e alimentou roteiros de filmes como *Godzilla*²³, embora venha sendo ainda muito explorada, permanece “para ser melhor documentada”. Ou seja, não se encontrou evidências de mutação genética mesmo em estudos amplos, como o realizado com os sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki. O segundo aspecto é que o relatório afirma que a frequência, tanto do câncer radio-induzido, quanto dos efeitos genéticos, “aumenta com baixo nível de radiação de forma linear, sem limiar de dose”; ou seja, o BEIR V, diferentemente do BEIR III, reafirma o modelo linear, sem limiar de dose (LNT), que já havia sido defendido no BEIR I.

3.3 Estimativa dos riscos de câncer radio-induzido

A estimativa dos riscos de câncer radio-induzido é o ponto principal do relatório; o que subsidiou essas estimativas foi o levantamento do excesso de mortes por câncer, de vários tipos, observados em Hiroshima e Nagasaki. Relacionou-se esse excesso com a dose equivalente, com a idade da exposição, com o sexo e com a faixa etária atingida. A partir dos dados obtidos, o comitê estima que o risco de uma pessoa exposta a uma dose única de 0,1 Sv, no corpo inteiro, é de 0,8%, embora ressalve que esse risco varia consideravelmente com a idade no momento da exposição. Para doses dessa ordem de

²³ Godzila foi originalmente criado para ilustrar as possíveis consequências da bomba de hidrogênio. Embora o filme de 1998, dirigido por Roland Emmerich, seja a versão de *Godzilla* mais conhecida de nosso público, segundo a Wikipedia, acessada em 29/01/2012, já foram feitos 29 filmes para o cinema, 04 filmes para a televisão (incluindo um seriado) e uma série de livros sobre o tema.

grandeza, recebidas ao longo de dias, semanas ou meses, esse risco pode ser reduzido por um fator igual a dois, ou até mais. O comitê assinala que os riscos estimados para homens e mulheres são semelhantes, e que o risco de exposições durante a infância ainda é incerto, devido ao limitado acompanhamento de pessoas expostas nessa faixa etária, mas pode ser até duas vezes maior do que o risco para adultos.

A reprodução da imagem da tabela 4-3, obtida do relatório BEIR V, mostra esses dados, por grupo de 100.000 pessoas expostas à dose de 0,1 Sv (100 mSv):

TABLE 4-3 Cancer Excess Mortality by Age at Exposure and Site for 100,000 Persons of Each Age Exposed to 0.1 Sv (10 rem)

MALES						
Age at Exposure	Total	Leukemia	Nonleukemia	Respiratory	Digestive	Other
5	1,276	111	1,165	17	361	787
15	1,144	109	1,035	54	369	612
25	921	36	885	124	389	372
35	566	62	504	243	28	233
45	600	108	492	353	22	117
55	616	166	450	393	15	42
65	481	191	290	272	11	7
75	258	165	93	90	5	—
85	110	96	14	17	—	—
Average ^a	770	110	660	190	170	300
FEMALES						
Age at Exposure	Total	Leukemia	Nonleukemia	Breast	Respiratory	Digestive
5	1,532	75	1,457	129	48	655
15	1,566	72	1,494	295	70	653
25	1,178	29	1,149	52	125	679
35	557	46	511	43	208	73
45	541	73	468	20	277	71
55	505	117	388	6	273	64
65	386	146	240	—	172	52
75	227	127	100	—	72	26
85	90	73	17	—	15	4
Average	810	80	730	70	150	290

^aAverages are weighted for the age distribution in a stationary population having U.S. mortality rates and have been rounded to the nearest 10. See also footnotes to Table 4-2. 90% confidence interval for these risk estimates are listed in Annex 4D, Table 4D-4.

A tabela mostra que o risco médio dos homens morrerem de qualquer tipo de câncer radio-induzido é de 770 (parte superior da tabela, segunda coluna, última linha) para cada 100.000, o que representa 0,77% para cada 0,1 Sv de dose recebida. O risco médio das mulheres é de 810 (parte inferior da tabela, segunda coluna, última linha), o que representa 0,81 %, para cada 0,1 Sv de dose. O comitê aproximou ambos os riscos (homens e mulheres) para 0,8%, para cada 0,1 Sv de dose, ou seja, 8% por unidade de dose equivalente

recebida (um risco de 0,08 pessoas x Sv⁻¹). Com essa estimativa, pode-se esperar que de cada grupo de 100 indivíduos expostos a uma dose equivalente de 1,0 Sv no corpo inteiro, oito pessoas morram de algum tipo de cancer radio-induzido. Com a metodologia usada pelo BEIR V, a estimativa de risco de morte para cancer de tecido sólido foi três vezes maior do que o estimado pelo BEIR III. Para a leucemia, a estimativa do BEIR V foi quatro vezes maior.

3.4 A base principal do BEIR V: os estudos desenvolvidos pela RERF

As conclusões do comitê estão respaldadas, principalmente, nos estudos conduzidos pela *Radiation Effects Research Foundation* (RERF). Trata-se de uma instituição de pesquisa mantida, desde 1975, pelos governos americano e japonês, originada a partir da *Atomic Bomb Casualty Commission* (ABCC), estabelecida pela *US National Academy of Sciences* em 1947, nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, para estudar os efeitos sobre a saúde dos sobreviventes das duas bombas:

A RERF assumiu os estudos de acompanhamento a longo prazo realizados pela ABCC, sem fazer qualquer mudança significativa [...]. O Objetivo da pesquisa é determinar os efeitos da exposição à radiação a longo prazo, os quais vinham sendo um território desconhecido para a pesquisa científica. Mais de 60 anos já se passaram (em 2008) desde o início dos estudos de acompanhamento, mas serão necessários quase 40 anos a mais para completar o acompanhamento daqueles que eram jovens na época de exposição. Assim, deve-se dizer que a pesquisa da RERF está pelo meio. Apesar disso, no entanto, algumas descobertas das pesquisas já foram realizadas e os resultados da investigação têm sido utilizados como referência na assistência médica e bem-estar dos sobreviventes da bomba, de forma consistente, atraindo a atenção de organizações internacionais como uma fonte de informação de base para estabelecer padrões de proteção contra os efeitos da radiação [...]. A escala, a estrutura e o rigor dos estudos de acompanhamento não tem paralelo em lugar algum do mundo. A taxa de participação nos exames tem se mantido alta por vários anos... (RERF, 2008, p.7)

A figura que se segue, obtida da capa do documento *Brief description*, da RERF, mostra a sede da fundação (parte baixa da figura) em uma foto panorâmica da cidade de Hiroshima. Acostumados com imagens trágicas da cidade destruída pela bomba, não deixa de causar um sentimento agradável a visão da cidade reconstruída, irradiada, de forma intensa, mas apenas pelo brilho do sol:



Embora o nível de radiação observado na cidade, nos dias de hoje, esteja dentro da média observada em outros locais, a frequência de incidência de câncer da população mostra que os problemas não acabaram. O grande esforço da RERF é relacionar essa frequência com a dose recebida por cada sobrevivente, a qual, segundo a fundação, “tem sido estimada com alto grau de precisão”, através de sistemas de dosimetrias que foram introduzidos a partir de 1965, e que vem sendo aperfeiçoados periodicamente:

O primeiro sistema de dosimetria da radiação da RERF foi anunciado em 1965, seguido por duas revisões em 1986 (DS86) e 2002 (DS02) [...]. Nós agora estamos usando doses estimadas com o sistema DS02. [...] As principais diferenças entre o DS86 e o DS02 são a precisão dos dados usados e o método de cálculo [...] diferenças nas doses individuais são numerosas mas, em média, as doses obtidas pelo DS02 são aproximadamente 8% maiores do que as estimadas pelo DS86, e como resultado, os riscos dos efeitos, por unidade de dose, são sensivelmente menores. (RERF, 2008, p. 8)

Ainda segundo o documento RERF (2008), os trabalhos da fundação estão a cargo de seis departamentos. O Departamento de Epidemiologia acompanha, há mais de 50 anos, cerca de 200.000 sobreviventes e seus filhos, buscando determinar os riscos associados com a exposição de seres humanos à radiação ionizante. O Departamento de Estatística analiza as informações coletadas e gerencia o cálculo das doses individuais. O Departamento de Estudos Clínicos conduz exames médicos bianuais, envolvendo exames clínicos padronizados e testes especiais para avaliar a saúde dos sobreviventes; embora seja voluntário, os exames são feitos regularmente por cerca de 70% a 80% do público alvo.

O Departamento de Genética conduz, no laboratório de citogenética, pesquisas de aberrações cromossomiais²⁴ e de alterações no esmalte do dente, para ajudar na determinação da dose recebida pelo indivíduo; no laboratório de genética molecular, análise do DNA²⁵ é feita a partir do sangue dos sobreviventes para verificar se a frequência de mutações está relacionada com a dose recebida. O Departamento de Radiobiologia/Epidemiologia Molecular é composto dos laboratórios de biologia celular e de imunologia, onde são investigadas frequências de mutação somática em células do sangue e possíveis efeitos da radiação sobre a função imunológica; amostras de tumor, guardadas por décadas, podem ser analisadas utilizando-se técnicas modernas. O Departamento de Tecnologia da Informação compreende a Biblioteca, o Arquivo e a Seção de Tecnologia de Sistemas, que promove a manutenção e a integração do sistema de informática da fundação. Esses departamentos integrados permitem o acompanhamento de nove programas de pesquisa, como pode ser visto no quadro seguinte:

表1. 主要調査プログラムと調査人数
Table 1. Major RERF research programs and population sizes

調査 Studies	対象者数 Subjects
寿命調査 Life Span Study	120,000
成人健康調査 Adult Health Study	23,000
胎内被曝者調査 In Utero Study	3,600
遺伝学調査 Genetic Studies	
死亡率とがん発生率 Mortality and Cancer Incidence	77,000
細胞遺伝学調査 Cytogenetic Studies	16,000
遺伝生化学調査 Biochemical Genetic Studies	24,000
分子遺伝学調査 Molecular Genetic Studies	1,500
臨床健康調査 Clinical Health Survey	12,000

²⁴ Aberrações cromossomiais são mudanças estruturais que ocorrem nos cromossomos quando eles são atingidos por alguns elementos, entre eles as radiações ionizantes. A interação com o cromossomo pode causar sua ruptura e acarretar a perda de um fragmento, processo chamado de **deleção**; a fixação desse fragmento noutro cromossomo é chamada de **translocação**. Quando dois cromossomos trocam fragmentos desse modo tem-se a translocação recíproca. Se o fragmento voltar a soldar-se de forma anormal no mesmo cromossomo tem-se a **inversão**. As duas extremidades de um cromossomo podem soldar-se e formar um **anel**. Caso se soldem de novo, de forma complexa, podem formar cromossomos **dicêntricos**.

²⁵ A sua estrutura é a mesma em todas as espécies vivas. O constituinte elementar da molécula é o nucleotídeo formado por um agrupamento fosforado, um açúcar (desoxirribose) e uma base. Uma molécula de DNA compõe-se de duas longas cadeias ou fibras de milhões de nucleotídeos que formam como que uma escada cujas barras seriam a sucessão de açucares e dos fosfatos alternados e as travessas duas bases unidas entre si e fixadas na outra extremidade aos açucares alternadamente. Esta escada enrola-se em torno do seu eixo. As quatro bases são: adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T) que podem formar apenas os seguintes pares A-T, T-A, G-C, C-G, de forma que a ligação das duas cadeias é feita por esses pares de bases. A ordem das bases constitui um código e a sequência de três bases (triplet) determina o aminoácido que estará presente na proteína codificada. O conjunto dos tripletos que codificam uma proteína constitui um gene. Assim um gene é constituído pela sequência de alguns milhares de nucleotídeos que codificam uma proteína específica, que só é sintetizada a partir da informação contida nesse gene. Essa informação é transmitida para o citoplasma por RNA mensageiro.

O grupo denominado *Life Span Study* (LSS) consiste da amostra de sobreviventes que residiam oficialmente nas cidades atingidas em 1950, o que totaliza 120.321 membros. Desse grupo, 26.580 pessoas não estavam na cidade no momento da explosão. O grupo principal de sobreviventes, com 93.741 membros, foi dividido originalmente de acordo com as distâncias que os afastavam do ponto de explosão (hipocentro):

- a) dentro de um raio de 2 km (proximamente expostos);
- b) entre 2km e 2,5 km;
- c) entre 2,5 km e 10 km.

Das pessoas situadas dentro de raio de 2 km do hypocentro, 86.671 pessoas tiveram suas doses individuais avaliadas, conforme a tabela abaixo:

表 2. 寿命調査集団の人数と推定線量分布 (DS02)
Table 2. LSS subjects by estimated radiation dose (DS02)

重み付けした結腸線量 (Gy) Weighted colon dose (Gy)	LSS 集団の人数 LSS subjects		
	広島 Hiroshima	長崎 Nagasaki	合計 Total
<0.005	21,713	16,823	38,536
0.005–0.05	17,207	6,227	23,434
0.05–0.1	5,537	1,005	6,542
0.1–0.25	6,273	1,270	7,543
0.25–0.5	3,842	956	4,798
0.5–1.0	2,376	1,052	3,428
1.0–2.0	1,151	614	1,765
>2.0	436	189	625
被曝線量不明 Dose unknown	3,449	3,621	7,070
被爆者合計 Total survivors	61,984	31,757	93,741
市内不在者（早期入市者） Not in city (early entrants)	3,792	827	4,619
市内不在者（後期入市者） Not in city (late entrants)	16,438	5,523	21,961
市内不在者合計 Total not in city	20,230	6,350	26,580
LSS 対象者合計 LSS total	82,214	38,107	120,321

O documento assinala que os efeitos imediatos da radiação ocorrem para doses, no corpo inteiro, entre 1 e 10 Gy; nesses casos, os sintomas, chamados de Síndrome Aguda da Radiação, são vômito, diarreia, redução das células sanguíneas, hemorragia, perda dos

cabelos e esterilidade temporária dos machos. A análise de 7600 sobreviventes, que estavam num raio de 1,6 km, mostrou que doses na medula óssea entre 2,9 e 3,3 Gy (medidas pelo sistema DS02) causaram a morte de 50% dos indivíduos, dentro de um período de 60 dias após a exposição.

A homogeneidade das casas japonesas permitiu à fundação avaliar o quanto a estrutura do alojamento foi capaz de atenuar a dose recebida. Porém, na região mais próxima do epicentro, ficou mais difícil a avaliação da dose e da causa da morte, por conta dos danos diretos causados pela explosão e pelo calor, como alerta o estudo:

Quanto mais próximo do epicentro, no entanto, maior a dose de radiação recebida e mais grave os efeitos da explosão e do calor, que levaram à incêndios e destruição subsequente de casas. Era, portanto, impossível de classificar as mortes ocorridas dentro de algumas semanas após os atentados como devido à radiação, lesões ou queimaduras. Para evitar mortes por ferimentos e queimaduras, as análises da RERF, por conseguinte, focaram, principalmente, mortes tardias; tais mortes atingiram um pico cerca de um mês após a explosão. (RERF, 2008, p.17)

Diante das dificuldades de se caracterizar as mortes imediatas (ocorridas dentro de um mês após a explosão), como sendo causadas pela Síndrome Aguda da Radiação ou por efeitos da explosão e dos incêndios, os efeitos tardios, principalmente o câncer radio-induzido, passaram a ser o mais importante alvo dos estudos da fundação. Para os cânceres sólidos (todos, exceto a leucemia), o excesso de risco associado à radiação foi observado em 1956, pelo médico japonês Gensaku Obo, o que levou à criação de centros de registros de tumores em Hiroshima e Nagasaki. Sobreviventes que receberam uma dose de 0,2 Gy (dose média de quem estava num raio de 2,5 km do epicentro) apresentaram um aumento de 10% acima da taxa normal de incidência de câncer. Aqueles que receberam a dose de 1,0 Gy, apresentaram um excesso de câncer de aproximadamente 50%.

A tabela seguinte, obtida do mesmo documento, resume os riscos de câncer atribuídos à radiação ionizante:

表3. LSS集団における固形がん発生のリスク（線量別）、1958–1998年¹⁰
Table 3. Excess risk of developing solid cancers in LSS, 1958–1998¹⁰

重み付けした結腸線量 Weighted colon dose (Gy)	対象者数 LSS subjects	がん Cancers		
		観察数 Observed	推定過剰数 Estimated excess	寄与率 Attributable risk
0.005–0.1	27,789	4,406	81	1.8%
0.1–0.2	5,527	968	75	7.6%
0.2–0.5	5,935	1,144	179	15.7%
0.5–1.0	3,173	688	206	29.5%
1.0–2.0	1,647	460	196	44.2%
>2.0	564	185	111	61.0%
合計 Total	44,635	7,851	848	10.7%

A análise desses dados levaram a *Radiation Effects Research Foundation* (RERF) a concluir que a relação, entre a dose recebida pela população e o excesso de cânceres sólidos encontrado, “parece ser linear, sem nenhum limiar aparente”:

Durante o período de 1958 a 1998, 7.851 tumores malignos [...] foram observados entre 44.635 sobreviventes LSS com doses estimadas superiores a 0,005 Gy. O número de tumores sólidos em excesso é estimado em 848 (10,7%) (Tabela 3). A relação dose-resposta parece ser linear, sem nenhum limiar aparente abaixo do qual os efeitos possam não ocorrer (RERF, 2008, p.19).

Embora essa conclusão se restrinja aos estudos de Hiroshima e Nagasaki, nota-se que, na essência, ela é semelhante à apresentada pelo comitê que elaborou o BEIR V. A diferença principal é que o comitê concedeu a essa conclusão um *status* mais amplo, extrapolando as fronteiras das cidades atingidas pelas bombas e estendendo-a a todas as situações onde seres humanos possam estar expostos às radiações ionizantes.

Entende-se, com o relatório BEIR V, que a NAS havia chegado a um razoável consenso, o que permite afirmar que a academia americana de ciências tem uma posição a favor do modelo linear sem limiar de dose (LNT); ou seja, ela acredita que a radiação, mesmo em doses baixas, aumenta a frequência de incidencia de câncer. Essa foi a razão pela qual o relatório BEIR V foi escolhido como objeto de estudo: ele pode ser considerado como o relatório que define a visão da NAS. Não é exagero dizer que essa visão, diante da robustez dos relatórios BEIR I, BEIR V e BEIR VII (o BEIR III não é aqui citado pela razão óbvia dele ter divergido dos demais em relação ao modelo LNT), estava deixando de ser

uma suposição e sendo legitimada como um fato ‘cientificamente comprovado’ por estudos epidemiológicos.

O principal estudo epidemiológico que serviu de base para o relatório americano, como já foi dito, é esse que vem sendo conduzido pela RERF a mais de cinquenta anos, com uma seriedade inquestionável, além de ser o mais longo e mais amplo acompanhamento de seres humanos expostos às radiações ionizantes já realizado em todo o mundo. Juntando-se a essa qualificada fonte um relatório com uma estrutura elogiável, que abordou um grande número de categorias, que usou uma enorme lista de referências e de trabalhos analisados, que contou com a participação de um grande número de especialistas, que levou meses para ser concluído, resultou em um trabalho denso, tão bem consolidado que parece não deixar à vista “calcanhar” algum que possa sugerir fragilidade. Latour (1997) diria que discordar de um texto com essas características é como combater um tanque de guerra munido apenas com uma simples espada. Não seria o caso de, intimidados pela ‘autoridade’ do comitê, e das mais de 400 páginas do robusto relatório produzido, considerar a controvérsia encerrada?

Seria honesto confessar que, em muitos momentos da construção dessa tese, a resposta para essa pergunta teimava em ser simplesmente um “sim”. Um dos problemas dessa resposta é que ela, obviamente, representaria um “não” para o projeto de pesquisa construído originalmente. O outro problema é que, para merecer o nome de controvérsia, é necessário que haja bons argumentos contrários e, numa narrativa histórica que pretende se basear numa crítica simétrica e reflexiva, é fundamental que seja dado o mesmo espaço ao contraditório. Até lá, aceitemos, apenas, que a controvérsia aparentemente se encerrou no âmbito da NAS...

3.5 O possível “calcanhar de Aquiles” do relatório

O comitê reconhece que as estimativas de risco, obtidas por ele, baseiam-se em modelos e extrapolações feitas a partir de dados limitados de estudos de populações humanas. Por isso, diz o relatório, “espera-se que as estimativas de risco obtidas sejam modificadas com o surgimento de novos dados”. Na sequência do *Executive summary*, o relatório aponta que a relação dose-resposta depende do tipo de câncer e que, para doses abaixo de 4 Sv, a relação com o excesso de mortes por câncer é linear para todos os tipos de

câncer, com exceção da leucemia, que apresenta uma relação do tipo linear quadrática. Cita que a relação dose-resposta para a carcinogênese, em animais de laboratório, mostra uma dependência com a energia da radiação, com a taxa de dose, com o sexo, com a idade de exposição, além de outras variáveis, e que:

A influência da idade e do sexo na relação dose-resposta [...] tem sido caracterizada num grau limitado, mas mudanças na resposta devido a taxa de dose e LET não foram quantificados. Efeitos cancerígenos da radiação sobre a medula óssea, glândula tireóide, mama, pulmão, estômago, cólon, ovário e outros órgãos, reportados pelos sobreviventes das bombas, são semelhantes aos encontrados em outras populações humanas irradiadas. Com poucas exceções, no entanto, os efeitos foram observados apenas em altas taxas de doses e em doses relativamente elevadas. Estudos de populações cronicamente expostas a um baixo nível de radiação, como, por exemplo, aquelas que residem nas regiões de alto nível de radiação natural, não têm mostrado consistente ou conclusiva evidência de aumento associado no risco de câncer. (BEIR V, p. 20)

O primeiro aspecto digno de destaque é o reconhecimento de que a influência da taxa de dose na relação dose-resposta não foi considerada. O segundo aspecto é o reconhecimento de que “com poucas exceções”, os efeitos observados nos sobreviventes das bombas ocorreram “em altas taxas de doses e em doses relativamente elevadas”. O terceiro aspecto é o reconhecimento, também explícito, de que estudos de populações que vivem em regiões com nível de radiação natural superior a média (2,4 mSv/ano, o que é uma baixa taxa de dose) não revelam uma “consistente ou conclusiva evidência de aumento associado no risco de câncer”; essa informação pode ser vista nas referências específicas à cidade de Guarapari, no Espírito Santo:

...A dose média anual absorvida é aproximadamente 6.4 mSv (640 mrem), a qual é aproximadamente 6 vezes o nível de radiação de background médio global (excluindo os elementos que decaem do radônio no pulmão)...Estudos da saúde dessa população são limitados mas estudos citogenéticos de 200 indivíduos, em comparação com um grupo de controle de um vilarejo similar, reporta um crescimento no número total de aberrações cromossomiais. Nenhum aumento na frequência de câncer tem sido documentada nas populações residentes em áreas de alta radiação de background natural. Idem (p.384-385)

Pela conclusão do BEIR V, apresentada no início do relatório, a frequência da incidência de câncer aumenta linearmente, mesmo em doses baixas, sem limiar de dose. Assim, segundo essa conclusão, os estudos da saúde da população de Guarapari não deveriam revelar uma frequência maior na incidência de câncer? A julgar pelo próprio posicionamento do BEIR V, na página 34, sequer deve haver preocupação quanto às aberrações cromossomiais:

Visto que aberrações cromossomias são predominantemente deletérias para as células nas quais elas ocorrem, as células afetadas tendem a ser gradualmente eliminadas com o tempo [...] a maioria delas resulta de outras causas, incluindo certos vírus, produtos químicos e drogas. As implicações médicas, se houver, do aumento da frequência de tais aberrações na circulação de linfócitos é incerta. (BEIR V, 1990, p. 34)

Os estudos epidemiológicos conduzidos em Kerala, na Índia, levaram a resultados semelhantes, no tocante ao aumento da frequência de casos de câncer:

A população que vive ao longo da costa de Kerala, Índia, é exposta a aproximadamente 4 vezes o nível de radiação de background natural (excluindo os elementos que decaem do radônio, no pulmão). Por causa da presença de monazita no solo (concentração de tório, 8.0-10.5%, por peso), a taxa de dose média para 70.000 pessoas vivendo na região tem sido estimada ser aproximadamente 3.8 mGy/yr (380 mrad/yr) (Go71). A incidência de ambas, síndrome de Down e aberrações cromossomiais, tem sido reportada ser maior naquela população (Ko76)²⁶ [...]. Nenhum aumento na frequência de câncer tem sido documentada nas populações residentes em áreas de alta radiação natural. (BEIRV, 1990, p. 384-385)

Como aceitar que a influência, tanto da dose quanto da taxa de dose, possa ser negligenciada, se os estudos de populações, naturalmente expostas, sugerem que essa influência é importante, e pode, inclusive, ser a principal explicação para a não observação de excesso de casos de câncer nessas regiões?

Ou seja, embora o relatório BEIR V seja enfático no que diz respeito ao câncer radio-induzido, afirmado que sua frequência aumenta, de forma linear, mesmo em baixas doses, ele não oferece explicação para os resultados contraditórios encontrados nos estudos epidemiológicos de locais de alto nível de radiação natural. Essa lacuna não seria um bom argumento para se entender que a controvérsia não se encontra resolvida? Esse é o entendimento de muitos cientistas, inclusive daqueles que assinam o relatório da academia de ciências da França, assunto do próximo capítulo...

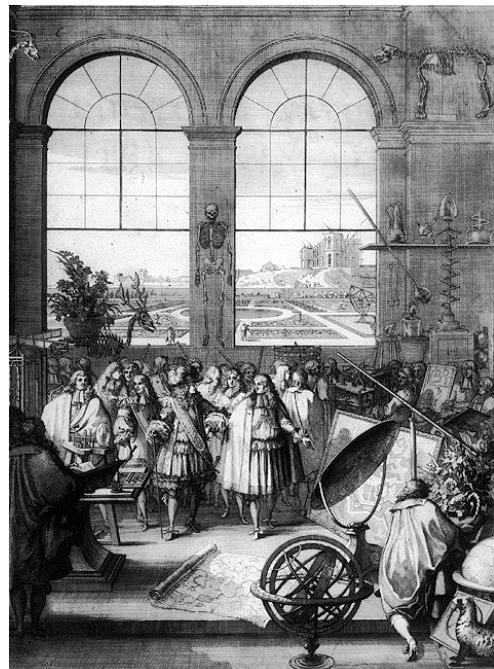
²⁶ A referência (Ko76) diz respeito ao trabalho de Kochupillai (1976), publicado na revista *Nature*. O artigo relata uma aparentemente alta prevalência de síndrome de Down (taxa de um para cada 1076 habitantes-1:1076). Foram encontrados 12 casos na população avaliada (12.918 habitantes) e nenhum na população controle (5.938 habitantes). Um dos problemas assinalados no próprio artigo diz respeito ao fato de que não havia dados sobre a incidência de síndrome de Down, da Índia como um todo; sem esse parâmetro, como concluir que a prevalência de síndrome de Down era alta? Para suprir esses dados o trabalho revelou taxas de outros locais (Alemanha 1:7000; Austrália, 1:2083; Ilhas Shetland 1:714, entre outros). Em primeiro lugar, como pode ser visto nos dados, a taxa de síndrome de Down é maior nas Ilhas Shetland do que em Kerala; dado que o trabalho não assinala que o nível de radiação nas ilhas é maior do que em Kerala, os autores não deveriam propor alguma explicação para esse resultado contraditório? Em segundo lugar, como explicar o fato da taxa dessa síndrome ser cerca de 3,5 vezes maior na Austrália do que na Alemanha, se esses países não apresentam níveis de radiação natural tão diferentes entre si? Outra dificuldade do trabalho é que os estudos nas populações, de outros locais sujeitos a alto nível de radiação natural, não apoiam os resultados encontrados em Kerala, com relação à síndrome de Down.

CAPÍTULO IV - A posição da *Académie des Sciences de France*

A academia de ciências da França tem suas origens no hábito, que alguns intelectuais tinham, de se reunir em torno de personalidades que dominavam certos assuntos. Jean Baptiste Colbert, que planejava a criação de uma academia de vocação geral escolheu, como embrião de seu plano, um desses pequenos grupos de intelectuais que se reuniram, em 22/12/1666, na biblioteca do rei Louis XIV, em Paris e que mantinham duas reuniões por semana.²⁷ Em 20/01/1699, o rei Louis XIV criou as primeiras regras da entidade, que passou a ser chamada de *Académie Royale des Sciences* e foi sediada no Louvre, em Paris. Fazendo um paralelo com a academia inglesa, Baiardi (2012) assinala:

Enquanto a Royal Society fomentava a cultura de ciência e financiava pesquisadores independentes a Académie Royale, que funcionava em dependências do palácio real, era, ao mesmo tempo, centro de pesquisa e agência de controle da propriedade intelectual e da normatização metrológica, vide imagem 2. (BAIARDI, 2012)

A imagem que o autor se refere retrata o rei Louis XIV visitando a *Académie Royale*, no ano de 1671:



Em meio às varias reformas, sempre teve um papel de destaque nas discussões científicas; para não sair muito do objeto de estudo dessa tese, é suficiente lembrar os debates ocorridos no final do século XIX e inicio do século XX, em torno da descoberta dos raios X e da radioatividade. Cerca de um século depois, o tema retorna à academia, dessa

²⁷ Informações obtidas no endereço: <http://www.academie-sciences.fr/en/history.htm>, acesso em 06/06/2012.

vez mais preocupada com os efeitos biológicos, em doses baixas, causados por uma das principais características dessas radiações: o fato delas serem ionizantes. Em 1995, a academia de ciências publicou um relatório discutindo os efeitos das radiações em baixas doses (denominado *Problèmes liés aux faibles doses des rayonnements ionisants. Rapport n° 34*), e organizou um simpósio sobre esse tópico; o resultado do debate foi publicado em 1999, com o título *Colloque « Risques cancérogènes dus aux rayonnements ionisants »*. A importância do tema também não passou despercebida pela *l'Académie Nationale de Médecine*, que o discutiu nos trabalhos *Communiqué « Energie nucléaire et santé »*, de 1999, e *Avis : Irradiation médicale, déchets, désinformation*. Esses documentos assinalavam que os estudos epidemiológicos não evidenciavam efeitos significativos em exposições de baixas doses. Ou seja, ou esses efeitos não ocorriam de fato ou eram muito pequenos para serem detectados nos estudos.

4.1 A Estrutura do relatório francês

Em 8 de março de 2005, a *Académie des Sciences* e *l'Académie Nationale de Médecine*, adotaram um relatório conjunto sobre o efeito biológico das radiações em doses baixas. Esse relatório foi escolhido para nosso estudo por reunir as visões tanto da academia de ciências quanto da academia de medicina francesa, o que dá ao relatório um *status* semelhante ao elaborado pela academia americana de ciências. O recorte abaixo mostra a repercussão na imprensa desse relatório:



L'Académie des sciences dans la presse en 2005

Publications

L'Académie des sciences et l'Académie de médecine ont adopté le 8 mars 2005 un rapport commun "La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants".

Agence France Presse Mondiales 9 avril / Agence France Presse Economique 12 avril / L'Express 11 avril / LaMarseillaise 13 avril / 20 minutes 13 avril / Le Courrier de l'Ouest 13 avril / Presse Océan 13 avril / Vendée matin 13 avril/ Impact médecine 14 avril / Le Quotidien du Médecin 14 avril / Paris Normandie 14 avril / L'éveil de la Haute Loire 14 avril / Marseille plus 15 avril / Le Moniteur des pharmacies 16 avril / Panorama du Médecin 18 avril / Le Quotidien du Pharmacien 18 avril / Le Concours médical 20 avril / Le généraliste 22 avril / Le Monde 25 avril / ID 27 avril

A versão analisada foi elaborada por nove membros de ambas as academias, está dividido em oito tópicos, contém 58 páginas, 306 referências bibliográficas, e foi publicada

em inglês em 30/03/2005; a figura seguinte mostra um recorte da primeira página do relatório, que traz Maurice Tubiana²⁸ como presidente da comissão e André Aurengo como relator:

FAcadémie des Sciences [Academy of Sciences] -
Académie nationale de Médecine [National
Academy of Medicine]

**Dose-effect relationships and estimation of the
carcinogenic effects of low doses of ionizing
radiation March 30, 2005**

André Aurengo¹ (Rapporteur), Dietrich Averbeck,
André Bonnin¹ (†) , Bernard Le Guen, Roland Masse²,
Roger Monier³, Maurice Tubiana^{1,3} (Chairman), Alain-Jacques Valleron³, Florent de Vathaire.

¹ Membre de l'Académie nationale de médecine ² Membre correspondant de l'Académie nationale de médecine ³ Membre de l'Académie des Sciences

Os membros da academia francesa revisaram várias publicações sobre o efeito das radiações em doses baixas, incluindo os relatórios BEIR IV, ICRP, NCRP e UNSCEAR, e publicaram um relatório dividido nos seguintes tópicos:

Executive Summary;

1. Introduction;
2. The mechanisms of carcinogenesis;
3. Physical and biological phenomena caused by ionizing radiation;
4. Experimental animal data;
5. Epidemiological data;

²⁸ Maurice Tubiana nasceu na Argélia, em 1920, obteve o grau de médico em 1945, e de Doutor em Física, em 1947, em Paris. Ele treinou em física com Frédéric Joliot e com John D. Lawrence em Berkeley. Professor de radioterapia clínica e experimental na *Paris Medical Scholl*, ele foi pioneiro no uso de isótopos radioativos em biologia e medicina na França. Publicou cerca de 300 trabalhos científicos, livros nas áreas de radiobiologia, radioproteção e história da Medicina e foi consultor da Organização Mundial da Saúde e da Agência Internacional de Energia Atomica. Dados obtidos do site <http://www.radscihealth.org/rsh/docs/byAuthor/TubianaBio.htm>, acessado em 08/07/2012.

6. Validity of the linear no-threshold (LNT) relationship;
7. Implications of the dose-effect relationship;
8. Proposals.

4. 2 O “Executive Summary”

O estudo é iniciado com o reconhecimento de que a avaliação dos riscos de câncer radio-induzido, para doses entre 0,2 Sv (200 mSv) e 5 Sv (5000 mSv), está baseada em numerosos dados epidemiológicos. Nessa faixa de dose pode-se aceitar, para uma grande parte dos casos de câncer de tecido sólido, que a frequência aumenta de forma aproximadamente linear com a dose, sem um limiar (modelo LNT); ou seja, sobre esses dados não são apresentadas divergências significativas, de forma que a controvérsia não se estende até elas. O bom entendimento desse debate depende da compreensão que se tenha das magnitudes das doses envolvidas na disputa. O relatório francês considera doses inferiores a 100 mSv como sendo doses baixas e, doses inferiores a 10 mSv, como sendo doses muito baixas.

O problema enfrentado pelo relatório é com relação às doses inferiores a 100 mSv, como acontece nas doses liberadas nos exames de raios X médico convencional, as quais, dependendo do tipo de exame, podem variar de 0,1 mSv (raio X de tórax, por exemplo) a 20 mSv (raio X de coluna torácica lateral, por exemplo); na França, esses procedimentos acrescentam na população uma dose média de 1 mSv/ano por pessoa. Doses dessa mesma ordem de grandeza podem ser recebidas por trabalhadores ocupacionalmente expostos²⁹ ou por habitantes de regiões de alto nível de radiação natural. No caso das usinas nucleares, na França, a dose média dos trabalhadores se situa na faixa de 2 mSv/ano, e a dose média acrescentada por essas atividades, na população como um todo, é de cerca de 0,001 mSv/ano, podendo chegar a 0,015 mSv/ano na vizinhança das usinas. No caso da radiação natural, o relatório indica, também, que a dose na França varia entre 1 e 6 mSv/ano, ficando a média em torno de 2,5 mSv/ano e, no mundo, a dose pode variar entre 1 e 80 mSv/ano. A dose média mundial é da ordem de 2,4 mSv/ano (UNSCEAR, 2000).

²⁹ As normas de radioproteção determinam que os trabalhadores expostos às radiações ionizantes não podem, durante suas atividades profissionais, receber uma dose superior a 20 mSv/ano (dose média em cinco anos) nem superior a 50 mSv/ano em qualquer ano de trabalho.

Excluindo situações extremas, como tratamento radioterápico³⁰, ou eventos como os acontecidos nas cidades de Hiroshima, Nagasaki ou Chernobyl, para ficar apenas nos exemplos mais críticos, essa é a magnitude das doses recebidas pela maioria absoluta dos habitantes da terra. O relatório assinala que os estudos epidemiológicos desenvolvidos na faixa de dose inferior a 100 mSv não foram capazes de revelar riscos, estatisticamente significativos de câncer radio-induzido, mesmo em estudos envolvendo grandes populações; além de não ter encontrado respaldo nesses estudos, o modelo LNT também encontra outros tipos de problemas:

Em conclusão, este relatório levanta dúvidas sobre a validade do uso do modelo LNT para avaliar riscos carcinogênicos de doses baixas (<100 mSv) e, mais ainda, para doses muito baixas (<10 mSv). O conceito LNT pode ser uma ferramenta útil para a avaliação pragmática de regras em radioproteção para doses acima de 10 mSv, no entanto, uma vez que não é baseado em conceitos biológicos de nosso conhecimento atual, não deve ser usado, sem precaução, para avaliar, por extração, os riscos associados com baixa e mais ainda, com doses muito baixas (<10 mSv), especialmente para as avaliações risco-benefício impostas aos radiologistas pela diretiva europeia 97-43. Os mecanismos biológicos para doses mais baixas do que algumas dezenas de mSv são diferentes dos observados em doses mais elevadas... (TUBIANA, 2005)

A conclusão “levanta dúvidas” sobre a validade do uso do modelo LNT para avaliar riscos em doses inferiores a 100 mSv, visto que o modelo “não é baseado em conceitos biológicos de nosso conhecimento atual”, conhecimento esse oriundo da radiobiologia, que mostra que os “mecanismos biológicos são diferentes para doses mais baixas”. O relatório ressalva que o modelo LNT é útil como uma forma “pragmática” de implementar regras de radioproteção em instalações radioativas. Foi exclusivamente com esse propósito que, embriões desse modelo surgidos em nome do princípio da precaução, fizeram emergir, na década de 1950, o princípio ALARA e, na década de 1970, os princípios básicos de radioproteção. Entretanto, o relatório se mostra contrário ao seu uso “sem precaução” para se estimar os riscos associados às doses baixas. Para o relatório, a falta de “precaução”, na extração desses riscos para a faixa de dose inferior a 100 mSv, fez com que o Conselho da União Europeia, através do documento “*Council Directive 97/43*”, passasse a ser mais exigente com os médicos, no que diz respeito à aplicação do princípio da justificativa³¹ no ato da solicitação de exames radiológicos, determinando, inclusive, que os

³⁰ Nesses tratamentos, as doses absorvidas no volume alvo podem atingir até 80.000 mGy.

³¹ Esse princípio diz, de forma geral, que todo procedimento envolvendo o uso de radiação ionizante, deve ser plenamente justificado, de forma a produzir um benefício líquido para os indivíduos envolvidos e para a sociedade em geral. Por esse princípio, os médicos, para solicitarem qualquer exame radiológico, devem ser rigorosos e só fazê-lo quando a avaliação risco-benefício for claramente favorável ao paciente. Para o

riscos dos mesmos sejam apresentados aos pacientes antes da solicitação do mesmo (EURATOM, 1997). Assim, para que esses riscos não sejam superestimados, deve-se buscar um modelo de dose-resposta na própria faixa de doses liberadas nos exames de radiodiagnóstico:

...Os eventuais riscos no intervalo de doses de exames radiológicos (0,1 a 5 mSv, até 20 mSv para alguns exames) devem ser calculados tendo em conta dados radiobiológicos experimentais [...] Uma relação empírica validada para doses superiores a 200 mSv pode levar a uma superestimação de riscos (associados com doses cem vezes menores), sendo que esta superestimativa, pode desencorajar os pacientes submetidos a exames úteis e introduzir um viés nas medidas de radioproteção contra doses muito baixas (<10 mSv). Os tomadores de decisão, confrontados com problemas de resíduos radioativos ou risco de contaminação, devem reexaminar a metodologia utilizada para a avaliação dos riscos associados com doses muito baixas, e com doses liberadas a uma taxa de dose muito baixa. Este relatório confirma a inadequação do conceito de dose coletiva para avaliar os riscos de irradiação da população. (TUBIANA, 2005)

Esse posicionamento indica que a motivação principal do estudo está, de fato, relacionada com a repercussão que o modelo LNT possa ter junto aos médicos e pacientes de radiodiagnóstico, uma vez que o mesmo superestima os riscos relacionados com as doses desses procedimentos, e isso pode desencorajar os pacientes a realizarem exames importantes para a saúde dos mesmos. Na sequência da conclusão o relatório afirma que os “tomadores de decisão, confrontados com problemas de resíduos radioativos ou risco de contaminação, devem reexaminar a metodologia” para evitar avaliações superestimadas dos riscos em doses e taxas de doses muito baixas. Essa afirmação parece sugerir que os órgãos reguladores, mirando no problema dos resíduos radioativos de usinas nucleares (problema que envolve vários e complexos interesses econômicos, políticos, ambientais e ideológicos), estão terminando por atingir uma importante área médica, podendo criar problemas graves na área de saúde da população.

A conclusão é finalizada com a afirmação de que o conceito de **dose coletiva** é inadequado para a avaliação dos riscos de uma população irradiada. A dose coletiva é uma grandeza introduzida para o propósito de proteção radiológica, e é definida como sendo o produto, do número de indivíduos expostos a uma fonte de radiação ionizante, pelo valor médio da distribuição de dose efetiva recebida pelos indivíduos; a dose coletiva é expressa em homem-sievert (homem-Sv).³² O problema para o qual o relatório procura chamar a

relatório, o “*Council Directive 97-43*” impôs critérios de avaliação risco-benefício que parecem superestimar esses riscos, o que acontece quando se usa o modelo LNT nessa faixa de dose.

³² Os historiadores mais especializados em questões ligadas ao gênero poderiam arguir que a dose coletiva apresenta outro problema: a escolha da unidade (Homem-Sievert) reforça a característica “machista” que

atenção é que, **pequenas doses** individuais, ao serem multiplicadas por **grandes números de indivíduos** expostos, são transformadas em **grandes doses** “coletivas”. Como para as grandes doses não existe controvérsia quanto aos efeitos, o modelo LNT poderia, então, ser aplicado sem restrição alguma, levando à grandes distorções.

Admita-se, como exemplo, que 100 indivíduos recebam, cada um, uma dose equivalente de 1 Sv no corpo inteiro; isso geraria uma dose coletiva de 100 homem-Sv. Pelas estimativas do BEIR V, vistas no capítulo anterior, o risco de morte por câncer é de 0,08 / Sv; assim, cerca de 8 pessoas desse grupo ($0,08 \times 100=8$) morrerão de algum tipo de câncer radio-induzido. Como a dose recebida individualmente é considerada alta (1 Sv), haverá pouca ou nenhuma discordância em relação a esse número de mortes. Consideremos, agora, outra situação na qual 100.000 indivíduos recebam, cada um, uma dose de 0,001 Sv. Como a dose coletiva será, também, de 100 homem-Sv ($100000 \times 0,001=100$) a estimativa de risco será a mesma, ou seja, 8 pessoas desse grupo deverão morrer de câncer radio-induzido. Dessa vez haverá uma forte discordância, pois, embora as doses coletivas sejam as mesmas, as doses individuais do segundo grupo são muito mais baixas e, segundo o relatório francês, os mecanismos biológicos são diferentes nessas situações.

Maurice Tubiana, presidente da comissão francesa, fez, em um de seus vários trabalhos sobre o tema, uma analogia que sugere, em linhas gerais, que aceitar o conceito de dose coletiva é acreditar que um saco contendo uma tonelada de areia, ao cair de uma certa altura com toda sua massa sobre um grupo de indivíduos, vai causar o mesmo dano que causaria se essa mesma massa de areia caisse, paulatinamente, de grão em grão, sobre um grupo bem maior de pessoas. Segundo vários especialistas, esse é um dos principais problemas que faz com que as estimativas de mortes por câncer radio-induzido, feitas sem precaução em populações irradiadas para fins médicos ou por acidentes radioativos, levam a um número de mortes alarmante, nunca confirmado com o acompanhamento das populações atingidas. O problema é que uma justificativa comum que se ouve, quando essas mortes não são verificadas, é que os órgãos competentes podem estar “escondendo” o número verdadeiro de mortes...

muitos estudos atribuem à atividade científica e não reflete o esforço que se faz para diminuir a desigualdade de tratamento entre homens e mulheres. Esse destaque parece particularmente importante dado que, na área nuclear, algumas mulheres, como Marie Curie, Lise Meitner, Ida Noddack, Irene Curie, tiveram um papel relevante.

4.3 Dados radio-biológicos que respaldam o relatório francês

Segundo o relatório, as hipóteses nas quais o modelo LNT encontra-se implicitamente respaldado são:

- a) Constância da probabilidade de taxa de mutação (por unidade de dose) qualquer que seja a dose;
- b) constância da probabilidade de taxa de mutação, qualquer que seja a taxa de dose;
- c) independência do processo cancerígeno, com o número de lesões presentes nas células vizinhas.

Aceitar essas hipóteses é aceitar que as células, e os indivíduos, não possuem mecanismos de defesa algum contra o efeito das radiações ionizantes em doses baixas e, assim, vão sendo afetados passivamente qualquer que seja a dose absorvida, e qualquer que seja a taxa de dose (dose por unidade de tempo). O relatório francês é categórico em alertar que estudos recentes na área de radiobiologia mostram que uma célula não é afetada passivamente pelos efeitos adversos das radiações ionizantes. Pelo menos três importantes mecanismos de defesa vêm sendo demonstrados após a exposição às radiações ionizantes, são eles:

- 1)A reação contra as espécies reativas de oxigênio;
- 2)A ativação de sistema de reparos do DNA;
- 3)A eliminação das células danificadas;

4.3.1 A reação contra as espécies reativas de oxigênio

Quando as radiações ionizantes atingem um meio material, parte do feixe interage com o meio, transferindo energia para o sistema, e outra parte pode atravessar o meio sem interagir, dependendo das características da radiação e do meio. A transferência de energia para o meio ocorre num tempo muito curto, da ordem de 10^{-15} segundos, de forma que a radiação, em si mesma, não fica “armazenada” no meio. Após essa interação, chamada de estágio físico, ocorrem a **excitação** de átomos e moléculas (o que não provoca

danos significativos) ou a quebra das ligações químicas da molécula, chamada de **ionização**, que pode provocar danos importantes; essa etapa dura cerca de 10^{-6} s, e é chamada de estágio físico-químico. Na etapa seguinte, chamada de estágio químico, em poucos segundos as moléculas e íons formados ligam-se entre si ou a outras moléculas. Quando a interação é com um meio biológico, a molécula mais abundante é a água (H_2O , em cerca de 70% no caso do ser humano), o que faz com que o alvo mais atingido seja essa molécula. Ao ionizar a água, a radiação induz a formação de radicais livres e de moléculas altamente reagentes (OH , H° , HO_2° , H_2O_2). Essas moléculas são as principais causadoras dos danos biológicos, e esse mecanismo, chamado de **ação indireta** da radiação, é a forma mais comum de se produzir danos radio-induzidos em um ser vivo.

A formação dessas espécies reativas de oxigênio pode prejudicar constituintes celulares, gerar processos inflamatórios, modificar a transcrição de genes e ativar vários sistemas de enzimas. Esse conjunto de reações é chamado de *oxidative stress*; citando quatro estudos realizados³³, o relatório francês afirma que esse *stress* induz a transcrição de muitos genes envolvidos na sinalização que ativa as defesas celulares. Uma das consequências da ativação desse sistema é a neutralização parcial ou total dos radicais livres produzidos, desintoxicando a célula. Esse sistema atua, também, na presença de outros agentes tóxicos, o que funciona como uma importante linha de defesa do indivíduo. O grau de eficiência depende de diversos fatores, sendo que o principal deles é, naturalmente, a quantidade de radicais produzidos; no caso do agente indutor ser a radiação ionizante, quanto menor for a dose, menor será a quantidade de espécies reativas e, consequentemente, maior a eficiência do sistema de desintoxicação natural.

³³ Os estudos citados são:

Dent P, et al. *Stress and radiation-induced activation of multiple intracellular signaling pathways*. **Radiat Res**, v. 159, p. 283-300, 2003.

Feinendegen LE. *Reactive oxygen species in cell responses to toxic agents*. **Human & Exp. Toxic**, v. 21, p. 85-90, 2002.

Kojima S, et al. *Elevation of glutathione induced by low-dose gamma rays and its involvement in increased natural killer activity*. **Radiat. Res**, v. 157, p. 275-280, 2002.

Yukawa O, et al. *Induction of radical scavenging ability and protection against radiation-induced damage to microsomal membranes following low-dose irradiation*. **Int J Radiat Biol**, v. 75, p. 1189-1199, 1999.

4.3.2 A ativação de sistema de reparos do DNA

Quando a radiação ionizante atinge diretamente moléculas importantes, como o DNA, por exemplo, danos significativos podem acontecer; esse mecanismo é chamado de **ação direta** das radiações ionizantes. As moléculas de DNA são aquelas nas quais as lesões são mais graves uma vez que cada uma delas tem um papel específico. Os efeitos principais são: modificações da ordem ou da natureza das bases, o que pode acarretar uma alteração da informação transportada pelo gene (mutação pontual); quebra simples de uma das cadeias (*Single Strand-Breaks – SSB*); quebra dupla das duas cadeias (*Double Strand-Breaks – DSB*); ligações cruzadas entre as duas cadeias de DNA ou entre o DNA e uma proteína (*cross links*). Além desses danos, as radiações ocasionam outros, como as remodelações da estrutura dos cromossomos (aberração cromossomial).

O relatório aponta estudos que mostram que moléculas de DNA em levedura, irradiadas com taxa de dose de 20 mGy/h, não sofrem efeitos biológicos letais e, em contra partida, a dose recebida ativa ou inibe genes importantes para a defesa contra a radiação ionizante; tais mecanismos são semelhantes aos que previnem ou reduzem potenciais efeitos devidos à radiação natural. Para exposições maiores do que 1 mGy de fótons ou elétrons, alguns SSBs são rapidamente reparados (em aproximadamente 5 minutos) enquanto as DSBs são reparadas mais lentamente e, às vezes, de forma imperfeita. Quando a dose ou a taxa de dose é muito baixa o sistema de reparo não é ativado adequadamente e a célula com DSB morre. A eliminação dessas células protege o organismo contra processos que, em potencial, poderiam se transformar em cancerígenos.

Recentes dados radiobiológicos vem demonstrando a existência de vários mecanismos de proteção do genoma, envolvendo a reparação do DNA. O relatório francês destacou sete trabalhos³⁴ que demonstram o papel desses mecanismos na preservação da

³⁴ Os trabalhos que indicam a importância do sistema de reparos estão citados abaixo; a numeração da referência bibliográfica é a mesma apresentada pelo relatório francês:

10 - Averbeck D. *Mécanismes de réparation et mutagenèse radio-induite chez les eucaryotes supérieurs*. **Cancer/Radiother**, v. 4, p. 1-20, 2000.

15 - Bakkenist C.J; Kastan M.B. *DNA damage activates ATM through intermolecular autophosphorylation and dimer dissociation*. **Nature** , v. 421, p. 499-506, 2003.

56 - Christmann M, et al. *Mechanisms of human DNA repair: an update*. **Toxicology**, v. 193, p. 3-34, 2003.

192 - Moustacchi E. *DNA damage and repair: consequences on dose-responses*. **Mutat Res**, v. 464, p. 35-40, 2000.

célula, do tecido e do indivíduo, após a agressão de agentes tóxicos. Para o relatório francês, a variação da eficácia (por dose unitária), com a dose e com a taxa de dose, já era conhecida mas os resultados obtidos por outros três trabalhos, também recentes, mostram o quanto é errado assumir que essa eficácia dos mecanismos de reparo do DNA é constante, qualquer que seja a dose e qualquer que seja a taxa de dose:

Em si mesmo, esses mecanismos de defesa não teriam sido suficientes para contestar a validade do modelo LNT, se a sua eficácia, por dose unitária, fosse constante independentemente da dose e da taxa de dose. No entanto, agora é claro que é errado assumir tal constância. Sabíamos que a eficácia de reparação era maior a uma taxa de dose baixa, mas recente estudos [60,73,241]³⁵, demonstram a extensão dessas diferenças, o que retira qualquer justificativa científica para extrapolações de doses altas para baixas doses. (TUBIANA, 2005, p.9)

Quando a taxa de dose é alta, o número de lesões, simultaneamente presentes na célula, é grande, o que leva a uma maior probabilidade de erros no sistema de reparo devido à presença de varias DSBs em um volume restrito. As diferenças na eficácia, do sistema de proteção, encontram suporte em vários dados clínicos e experimentais e mostram o quanto o sistema de reparo é importante para atenuar as consequências biológicas da radiação. Um dos exemplos citados pelo relatório é a ausência de redução, do efeito letal e mutagênico, quando a taxa de dose diminui em uma célula na qual o sistema de reparos do DNA não funciona, como acontece em doenças hereditárias associadas às deficiências do sistema de reparos (*reparatoses*). Fato semelhante ocorre quando levedura ou células de mamíferos, mantidas numa temperatura de 0°C, são expostas aos raios gama; nessa situação, o número de DSBs (por unidade de dose) observados após a irradiação é idêntico, tanto para baixa quanto para alta taxa de dose. Na temperatura ambiente, o número de DSBs, provocadas por

251 - Shiloh Y. *ATM and related protein kinases : safeguarding genome integrity*. **Nat. Rev. Cancer**, p.3, 2003.

298 - Wood RD, et al. *Human DNA repair genes*. **Science**, p. 10, 2001.

302 - Yang J, et al. *ATM, ATR and DNA-PK: initiators of the cellular genotoxic stress responses*. **Carcinogenesis**, v. 24, p. 1571-1580, 2003.

³⁵ Os trabalhos referenciados pelo relatório como 60, 73, 241, constantes na última citação são:

60- Collis SJ, et al. *Evasion of early cellular response mechanisms following low level radiation induced DNA damage*. **J. Biol. Chem**, v. 279, p. 49624-49632, 2004.

73- Dikomey E; Brammer I. *Relationship between cellular radiosensitivity and non-repaired double-strand breaks studied for different growth states, dose rates and plating conditions in a normal fibroblast line*. **Int J Radiat Biol**, v. 76, p. 773-781, 2000.

241-Rothkamm K; Löbrich M. *Evidence for a lack of DNA double-strand break repair in human cells exposed to very low x-ray doses*. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 100, p. 5057-62, 2003.

baixa taxa de dose, é bem menor do que aquelas provocadas por alta taxa de dose. Esse importante resultado experimental é explicado pela inativação das enzimas encarregadas dos reparos, fato que ocorre quando elas estão na temperatura de 0°C.

Em geral, diz o relatório, o efeito biológico (letalidade, mutação, aberração cromossomial, etc) diminui com a taxa de dose em virtude da maior eficácia do sistema de reparos e da maior probabilidade da célula, cujo DNA não foi reparado adequadamente, ser eliminada. Uma das vias de eliminação é a **apoptose**,³⁶ que é a morte programada da célula, processo que joga um papel importante na fase embrionária e na regeneração de tecidos. Outra via de eliminação ocorre durante o processo de mitose onde, devido aos danos sofridos no material genético, a célula não consegue evoluir até a fase da mitose, ou quando evolui, morre devido ao surgimento de aberrações, num processo chamado de **catástrofe mitótica** (ANDRADE, 2010).

A modulação do mecanismo de defesa com a dose, taxa de dose, tipo e número de lesões, condições fisiológicas das celulas, e o número de células afetadas, explicaria a grande variação na radiosensibilidade (variações na mortalidade celular ou na probabilidade de mutações por unidade de dose). Essas variações dos mecanismos de defesa são demonstradas em vários fenomenos observados: Hipersensibilidade celular inicial durante a irradiação; rápidas variações na radiosensibilidade, após curtas e intensas irradiações em taxas de doses muito elevadas; respostas adaptativas, as quais causam uma diminuição na radiosensibilidade das células, durante horas ou dias seguintes a uma exposição com baixa dose de radiação, etc.

4.4 Mecanismos da carcinogênese

A carcinogênese, processo que leva à transformação de uma célula normal em um tumor maligno, e que pode ser iniciado pela mutação de um **proto-oncogene**³⁷, é interpretado, segundo o relatório francês, como um processo de seleção, como o descrito por Darwin, determinado por uma série de eventos que podem conferir a uma determinada

³⁶ Esse processo é essencial para o “funcionamento do sistema imune e manutenção da homeostase de organismos multicelulares cuja desregulação está associada a doenças neuro-degenerativas, auto-imunes e câncer, majoritariamente mediados pelo gene transcritor da proteína p53[...] É mediada por proteases cisteínas (caspases) que são inicialmente, inativas no ambiente celular, sendo ativadas por oligomerização, que pode ser induzida por radiação ionizante” (ANDRADE, 2010).

³⁷ São genes geralmente ativos apenas na fase embrionária e durante processos normais de proliferação. Uma mutação, que pode ser induzida pela radiação, pode resultar na sua ativação permanente, transformando-o em um **oncogene** (gene que atua no sentido de estimular a proliferação da célula).

célula mais capacidade de sobreviver e de se proliferar do que as demais células do tecido ao qual ela pertence. Para que isso ocorra, se faz necessário que a célula adquira a capacidade de:

- autonomamente, produzir fatores de crescimento ou, mesmo sem eles, conseguir se proliferar;
- burlar ou se tornar insensível aos genes supressores³⁸;
- se tornar imortal, burlando ou se tornando insensível à apoptose ou outras formas naturais de morte celular.

Essa última característica parece ser a principal e resulta de mudanças (que podem ser induzidas pela radiação) nos genes envolvidos nesse processo. Daí a importância da apoptose como mecanismo de salvaguarda do indivíduo contra processos cancerígenos; o problema é que, diz o relatório francês, a radiação ionizante, da mesma forma que pode estimular a apoptose, também pode estimular mutações que permitam a sobrevivência e proliferação de células danificadas, o que pode levar à processos cancerígenos. O relatório chama a atenção que esse processo, para desencadear um tumor cancerígeno, depende da organização do tecido como um todo:

No nível do tecido, nós precisamos enfatizar o controle exercido pelas células vizinhas (inibição da proliferação em virtude do contato, trocas de sinalização e regulação de moléculas via junção intercelular, efeito *bystander* e secreção de fatores de regulação pelas células vizinhas e pelo estroma). Há múltiplas interações entre uma célula, na qual ocorreu um evento genético potencialmente oncogênico, e células vizinhas do mesmo tipo, a matriz extra-celular e o estroma. Essas interações entre as células jogam um papel crucial na embriogenese, no crescimento [...] e na regeneração do tecido danificado. Elas estão envolvidas no processo carcinogênico, inibindo-o ou estimulando-o [...]. Estudos patológicos têm de fato mostrado que a desorganização do tecido sempre precede ao surgimento de um câncer invasivo [...]. Carcinogênese pode ser facilitada por deficiência no sistema imunológico quando uma grande parte do corpo é irradiada. (Idem, p. 11)

Além desse aspecto, o relatório chama a atenção para o fato de que, em dose e em taxas de doses baixas, o efeito pró-apoptose é predominante e as células danificadas que escapem, por serem em pequeno número, tendem a ser eliminadas ou controladas; essa vantagem é perdida para doses superiores a 0,5 Gy. Em um breve resumo, o ‘stress’ oxidativo, provocado pela radiação, estimula um sistema de enzimas que neutralizam muitos dos radicais livres formados. Essa é, por assim dizer, a primeira linha de defesa. Quando essa linha é ultrapassada os danos causados podem ser reparados (o que pode ser entendido

³⁸ São genes que agem em oposição à proliferação continua de células, cuja ação é, em consequência, fundamental para impedir a formação de tumores.

como segunda linha de defesa) ou levar à morte da célula por apoptose ou durante a mitose (o que pode ser considerado a terceira linha de defesa do indivíduo irradiado, uma vez que é melhor para o indivíduo perder a célula danificada do que permitir que ela se reproduza de forma defeituosa, gerando efeitos tardios, como a carcinogênese, por exemplo). Ou seja, para uma célula normal se transformar em um tumor maligno é necessário que ela passe a se reproduzir autonomamente, fique imune a ação de genes supressores e drible os mecanismos de defesa citados. Em essência, a tese defendida pelo trabalho francês é que, para doses e taxas de doses muito baixas, essas linhas de defesa predominam e têm se mostrado suficientes para anularem os efeitos carcinogênicos da radiação.

Para o relatório francês, os dados radiobiológicos, destacados acima, mostram que não existe justificativa científica para se estimar riscos de câncer radio-induzido em doses baixas, a partir de dados observados em doses altas, via modelo LNT. Os estudos epidemiológicos, por sua vez, também não oferecem suporte para essa estreapolação; os últimos dados do estudo dos sobreviventes das bombas nucleares, por exemplo, segundo o relatório francês, mostram uma relação dose-efeito curvilínea e não exatamente linear para tumores sólidos na faixa entre 0 e 2 Sv. A relação global, observada empiricamente para tumores sólidos, corresponde à soma de relações que podem ser totalmente diferentes de acordo com o tipo de tumor, podendo ser linear ou quadrática, com ou sem limiar. Para a leucemia, por exemplo, o próprio BEIR V reconhece que a relação dose resposta é quadrática. O relatório francês destaca bem essa incapacidade dos estudos epidemiológicos de respaldarem o modelo LNT em baixas doses e baixa taxa de doses:

...Estudos epidemiológicos têm sido realizados para determinar os possíveis riscos cancerígenos de doses inferiores a 100 mSv, e eles não têm sido capazes de detectar riscos estatisticamente significativos, mesmo em grandes grupos ou populações [...]. É altamente improvável que riscos carcinogênicos possam ser estabelecidos ou até mesmo estimados para tais doses [...]. Apenas estudos em regiões com alta e baixa radiação natural, com condições de vida similares, podem oferecer informações adequadas para essa faixa de dose... (Idem, p. 1)

Como foi assinalado no capítulo anterior, o próprio relatório americano reconhece que os estudos em regiões com alta e baixa radiação natural não têm revelado uma “consistente ou conclusiva evidência de aumento associado no risco de câncer”, o que, por si só, já seria suficiente para colocar sérias dúvidas sobre a validade do modelo LNT em baixas doses e também baixas taxas de dose.

4.5 A possibilidade de efeitos benéficos da radiação: a hormese

O estudo francês diz que o modelo LNT foi usado, em 1956, para avaliar mutações radio-induzidas em ratos, e foi introduzido, entre as décadas de sessenta e oitenta, na área de radioproteção. O estudo destaca que, na ocasião, o modelo era apenas uma relação pragmática conveniente, adotada como medida de precaução, mas não um modelo baseado em dados diretamente observados. O modelo postula que as células reagem à radiação independente da dose e da taxa de dose, e isso encontra algum tipo de respaldo experimental apenas na faixa de dose entre 0,2 Sv e 3 Sv, para alguns tipos de tumor. Para o relatório francês, o uso do modelo LNT é inadequado para extrapolar riscos para doses menores pois, nessa faixa, vários mecanismos de defesa inibem os efeitos da radiação:

Para doses menores do que aproximadamente 100 mGy, ou para aquelas liberadas em baixa taxa de dose, as células danificadas são eliminadas ou, quando possível, reparadas por mecanismos de alta fidelidade. Quando este mecanismo de eliminação/reparo é induzido pela radiação, ele também atua sobre as células danificadas por metabolismo oxidativo. Em combinação com o mecanismo de desintoxicação induzido pelo stress oxidativo, essas defesas podem explicar o efeito da hormese o qual é observado em experimentos com animais. (TUBIANA, 2005, p. 16))

Nessa citação, aparece outro aspecto importante da controvérsia – o reconhecimento da possibilidade de hormese. Embora, desde a década de 1980, inúmeros trabalhos relatam a observação de efeitos benéficos da radiação em doses baixas, o que é chamado de efeito hormético da radiação, em nenhum momento essa palavra foi sequer citada no relatório BEIR V. Calabrese (2003), no artigo “*Toxicology rethinks its central belief*”, publicado na revista *Nature* e analisado pelo grupo francês, afirma:

Baixos níveis de agentes como cádmio, *dioxin*, sacarina, vários hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, raios X e várias fontes de raios gama reduzem tumores em algumas espécies [...]. O conceito de hormese é assim altamente generalizável e atingível. (CALABRESE, 2003, p.691)

No final do trabalho, o estudo francês aponta a necessidade de mais pesquisas na área de hormese e apresenta uma lista de propostas necessárias para se compreender melhor o universo do efeito das radiações em doses baixas. A lista de propostas envolve os seguintes assuntos:

- Estudos epidemiológicos para investigar o efeito de doses menores do que 20 mSv.

- Estudos experimentais da redução de taxa de câncer após irradiação ou exposição aos agentes geno-tóxicos (hormese).
- Pesquisa em radiobiologia para ajudar a compreender e quantificar os efeitos de baixas doses (<100 mSv) e doses muito baixas (<10 mSv).
- Maior esforço para reduzir as doses em exames de radiodiagnóstico que liberam mais de 5 mSv, especialmente em caso de crianças.
- Investigação de mecanismos biológicos desencadeados pela combinação de agentes genotóxicos.
- Discutir, no campo da saúde pública, quando o efeito carcinogênico torna-se significante para a sociedade.

Chama atenção a proposta que pede um maior esforço para reduzir as doses, nos procedimentos de radiodiagnóstico que liberam doses superiores a 5 mSv, ‘especialmente em crianças’. A parte da criança é inteiramente compreensível; uma vez que ela terá mais tempo de vida, ela poderá se submeter a outros exames e a outros agentes tóxicos ao longo de sua existência, merecendo, portanto, mais atenção. Esse pedido de esforço, entretanto, não é específico para as crianças, ou seja, inclui todas as pessoas, o que pode, numa primeira análise, parecer uma certa contradição já que o relatório afirma que “é altamente improvável que riscos carcinogênicos possam ser estabelecidos ou até mesmo estimados para tais doses”.

Por outro lado, a recomendação pode estar, simplesmente, sugerindo que o fato do risco de câncer radio-induzido ser difícil de ser determinado, nessa faixa de dose, não significa que não se deva levar em conta o princípio da otimização das doses, que determina que elas devam ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequível. Ou seja, se é possível conseguir um exame radiológico de qualidade com uma dose de 1 mSv, não se pode aceitar que um exame similar seja feito com uma dose de 4 mSv. Isso não significa contradição alguma, até por que os únicos princípios de radioproteção que dizem respeito diretamente aos pacientes são o princípio da justificativa e o princípio da otimização, uma vez que não existe limite de doses para pacientes durante os procedimentos médicos; ou seja, a decisão médica de sugerir o procedimento depende apenas da relação custo-benefício ser ou não favorável ao paciente. Quanto mais baixa a dose, mais evidente será o benefício. Encerra a lista, e o trabalho com um todo, a seguinte recomendação:

No campo da sociologia, investigar a percepção de risco de câncer radio-induzido, o conceito de risco aceitável, as reações da sociedade em relação ao uso médico e industrial das radiações ionizantes. Radiofobia, a qual não existia até 1950, isto é, vários anos após a primeira explosão atômica, tornou-se preeminente na metade dos anos 1950. Seria interessante investigar suas fontes e consequências e, mais amplamente, estudar quando o medo do risco torna-se um obstáculo ao progresso técnico e científico em nossa sociedade. (TUBIANA, 2005, p.39)

A recomendação pede para se investigar a percepção de risco de câncer radio-induzido, o conceito de risco aceitável e ‘estudar quando o medo do risco torna-se um obstáculo ao progresso técnico e científico em nossa sociedade’. O comentário parece não só revelar uma forte ‘fé’ no ‘progresso técnico e científico’, a qual precisa ser analisada criticamente, como parece sugerir que não existiriam razões concretas para a radiofobia só ter se tornado preeminente na segunda metade dos anos 1950, uma vez que as bombas nucleares explodiram bem antes. A discussão desse ponto traz à tona o Projeto Manhattan, que juntou os principais expoentes da ciência e da tecnologia da época; o principal produto desse extraordinário esforço foi a produção de três bombas atômicas, ícones do progresso científico e tecnológico da época. A radiofobia, esse é um argumento usado nessa tese, funcionaria como uma arma “psicológica” de efeito prolongado, mas seus efeitos seriam pouco percebidos no curto prazo devido aos danos, infinitamente maiores, da extraordinária potência da explosão.

Assim, não surpreende o fato da radiofobia ter se tornado preeminente a partir da segunda metade dos anos 1950 pois é, em torno desse período, que começa aparecer para a opinião pública a gravidade dos efeitos tardios da radiação nos sobreviventes das bombas. É nesse período, também, que os países, que haviam dominado a tecnologia da bomba de fissão, passaram a buscar a bomba de fusão nuclear, deixando apreensivos todos que conheciam o poder destrutivo desse arsenal. Isso, para muitos críticos da ciência, já parece ser suficiente para se ter um certo medo de alguns resultados do tal do ‘progresso científico e tecnológico’. Por volta da metade dos anos 1950, esse progresso voltava a mostrar a sua excepcional ‘força’: Os testes, com a bomba de fusão, denunciavam que essa tecnologia também tinha sido dominada, e isso esquentou, ainda mais, os bastidores da Guerra Fria. Diante de tal cenário, não parece inesperado o crescimento da radiofobia, nem absolutamente sem sentido explorações comerciais de possíveis mutações radio-induzidas, como Godzilla, por exemplo. Trata-se de um tema muito instigante, que merece, de fato, uma discussão mais profunda e um espaço maior para ela.

Embora seja possível levantar algumas questões sobre o estudo realizado, é necessário assinalar a importância da entrada da academia de ciências francesa na controvérsia. Além de polarizar, de forma qualificada, o debate, a academia foi capaz de produzir uma crítica convincente contra o uso generalizado do modelo LNT, além de sugerir novos estudos, inclusive sobre a possibilidade de hormese, uma vertente também importante dessa controvérsia. Não obstante a sua posição, contrária ao relatório produzido em nome da academia americana de ciências, é importante destacar que o relatório BEIR V não é citado, uma única vez, pelo relatório francês; apenas o relatório BEIR IV aparece na lista de referências bibliográficas, embora também não tenha sido explicitamente citado no corpo do relatório. Isso mostra certo cuidado em não deixar transparecer que estava ocorrendo uma disputa direta entre as duas academias, e sim, nas palavras do próprio relatório, uma atualização de dados, como é declarado no objetivo do mesmo:

O objectivo da presente relatório é, portanto, atualizar os dados multidisciplinares (biológicos, biofísica, epidemiológico), que tornam possível identificar, de forma mais clara, as diferenças qualitativa e quantitativa entre as doses baixa e elevada e seus efeitos carcinogénicos. (TUBIANA, 2005, p.9)

Esse comportamento, além de ser compatível com aspectos diplomáticos, visto que ambas as academias representam, de certa forma, os seus países, não se pode perder de vista que existe uma diferença de quinze anos entre os dois relatórios, o que é, de fato, um tempo suficiente para os resultados de novas pesquisas, feitas nesse intervalo, serem considerados e incorporados ao conteúdo científico estabelecido.

CAPÍTULO V - A recepção da controvérsia no Brasil

Para acompanhar a recepção do debate sobre o efeito das radiações em doses baixas, no Brasil, consultou-se periódicos, livros, teses, dissertações, e documentos de arquivo pessoal. Pesquisou-se, inicialmente, os anais da Academia Brasileira de Ciências, onde foram publicados alguns artigos sobre a presença de radioisótopos no meio ambiente e em seres vivos, aqui no país, após os testes nucleares; Penna Franca (1969), por exemplo, procurou determinar a presença de I¹³¹ em leite e tireoides bovinos, após os testes nucleares franceses, em 1968, na Polinésia francesa. Entretanto, os artigos mais próximos dessa tese estão relacionados com estudos em áreas de alta radioatividade natural, como em Penna Franca (1964), onde se estudou a absorção de areias monazíticas em camundongos, Freire-Maia (1967), que estudou a taxa de mortalidade, e Freire-Maia (1974), que estudou os efeitos genéticos também em áreas de alta radiação natural. Em 1977, a Academia Brasileira de Ciências realizou um simpósio interno sobre áreas de elevada radioatividade natural, onde foram discutidos os efeitos radiobiológicos em baixos níveis de radiação.

Penna Franca (1979), em seu depoimento na CPI sobre o Programa Nuclear, instalada no Senado Federal, discutiu os efeitos das radiações e alertou sobre a dificuldade dos estudos sobre os efeitos das radiações em doses baixas, que exigem o acompanhamento, por vários anos, de centenas de milhares de pessoas. Freire-Maia (1982), em seu livro “Efeitos genéticos das radiações no homem”, também abordou o tema, focando os danos genéticos. A professora Emico Okuno, do Laboratório de Dosimetria do Instituto de Física da USP, chamou a atenção para essa controvérsia em seu livro intitulado “Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios, publicado em 1998 e reeditado em 2007. Ela, no tópico de três páginas denominado ‘Controvérsias entre cientistas’, assinala:

Os dados acumulados e usados para formular modelos teóricos são de doses razoavelmente altas 0,5 a 2,0 Gy. Os riscos carcinogênicos devidos à baixa dose de radiação, nos quais estamos atualmente interessados, são estimados através de uma extração desses dados [...] Têm-se encontrado indicações de que, dependendo da natureza do efeito biológico, seja ele estocástico³⁹ ou não, a relação dose efeito é diferente. Portanto, qualquer consideração sobre riscos específicos deve ser feita partindo-se de uma discussão sobre a provável relação dose-efeito. (OKUNO, 1998, p.50)

³⁹ No campo da radioproteção os efeitos biológicos radio-induzidos são divididos em dois grupos: **Determinísticos** (aqueles cuja severidade aumenta com a dose recebida e, para os quais, admite-se a existência de um limiar) e **Estocásticos** (aqueles cuja probabilidade aumenta com a dose recebida, mas a severidade não é, para os quais, não se admite a existência de um limiar de dose).

Como o núcleo da controvérsia é a forma como a extração é feita, Okuno (1998) discutiu os modelos linear ($E = aD$), quadrático ($E = bD^2$), e linear quadrático⁴⁰ ($E = aD + bD^2$). Ela conclui que as estimativas de morte usando o modelo linear, adotado pelo BEIR V e pelos órgãos de controle, dão valores cerca de 2 e 18 vezes maiores, respectivamente, do que as estimativas obtidas a partir dos modelos linear quadrático ou simplesmente quadrático.

O artigo mais enfático encontrado no Brasil foi Giurlani (1997), publicado na revista Brasil Nuclear, da Associação Brasileira de Energia Nuclear. Nele, chamou a atenção, em especial, as declarações de um dos entrevistados, o Prof. Hervásio de Carvalho,⁴¹ um dos responsáveis pelo Programa Nuclear brasileiro para produção de energia elétrica a partir da fissão nuclear. Esse fato despertou o interesse pelo estudo do arquivo pessoal do professor, mantido pelo Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST. Em conversa informal, por telefone, com o engenheiro nuclear e historiador Guilherme Camargo,⁴² colaborador do artigo de Giurlani (1997), foi dito que o Prof. Hervásio de Carvalho lhe forneceu todo o material científico usado na elaboração do mesmo. Embora esse material continue em mãos de Camargo, o que empobreceu significativamente o arquivo pessoal no tocante ao tema, foi encontrado um conjunto de documentos catalogados, pelo Arquivo de História da Ciência do MAST, como conteúdo da palestra “Efeito das radiações sobre os organismos vivos”, ministrada pelo Prof. Hervásio, em 1990.

5.1 O conteúdo da palestra “Efeito das radiações sobre os organismos vivos”

No início, do que parece ser o registro escrito da palestra, o professor Hervásio de Carvalho declara:

⁴⁰ Nas relações dose-efeito discutidas, as quais, a propósito, não são as únicas possíveis, E representa o efeito biológico radio-induzido, D a dose absorvida, e a e b constantes.

⁴¹ Segundo Andrade (2006), Hervásio Guimarães de Carvalho, nascido em Araguari(MG), graduou-se em química industrial, em Recife, doutorou-se em engenharia nuclear, na *North Carolina University State College*, e orientou mais de 20 teses de doutorado no Brasil e Estados Unidos. Jerome Friedman, Nobel de Física de 1990, foi um de seus orientandos. Foi um dos idealizadores do CBPF mas, segundo a pesquisadora, ele “aliou-se aos militares, o que levou à ruptura com os colegas do CBPF”. Presidiu a CNEN de 1969 a 1982 e foi um dos principais responsáveis pelo programa nuclear brasileiro para produção de energia elétrica a partir da fissão do átomo.

⁴² Guilherme Camargo é engenheiro, ex-presidente da ABEN, membro do conselho editorial da revista Brasil Nuclear, autor do livro “O fogo dos deuses – uma história da energia nuclear”, lançado pela ABEN, em 2006, como parte do projeto Memória da Energia Nuclear no Brasil. Na contra capa do livro ele é apresentado por Edson Kuramoto, então presidente da ABEN, como “um dos mais atuantes defensores da causa nuclear. Grande estudioso da história da energia nuclear, vem pesquisando o assunto nos últimos 12 anos.”

O estudo do efeito de pequenas doses de radiação sobre seres vivos deve ser realizado sob uma ótica mais geral, englobando o estudo do efeito de agentes químicos e físicos que atuam sobre os seres vivos. Assim, para se entender melhor o efeito de baixas doses de radiação é conveniente comparar esses efeitos com os da energia solar, com o efeito das radiações eletromagnéticas de baixas frequências e com a ação biológica de agentes químicos. (CARVALHO, 1990, p.1)

Essa visão mostra que ele tinha uma compreensão de que a radiação não podia ter um tratamento diferenciado de outros agentes tóxicos, o que viria a ser assinalado em outros trabalhos. Após dizer que bilhões de dólares têm sido gastos com pesquisas e que a quantidade de trabalhos publicados é muito grande, ele destaca que a maioria utilizou doses altas, que o número de trabalhos com doses baixas é bem menor, mas ainda significativo.

Em seguida ele lembra:

Existem organizações internacionais tais como UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation*), e o BEIR (*Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation*) dedicadas a rever os trabalhos sobre o efeito das radiações. As recomendações adotadas para as normas de proteção em Física Radiobiológica, e quase sempre adotadas universalmente, são periodicamente revistas por estas organizações. (CARVALHO, 1990, p.1)

O relatório BEIR V foi discutido no capítulo III e o UNSCEAR, comitê das Nações Unidas, embora não esteja sendo focado nesta tese, publica regularmente relatórios sobre o tema, inclusive com a participação do Prof. Eduardo Penna Franca, da UFRJ, que foi 24 vezes o consultor do Brasil nas reuniões do comitê. Após essa apresentação, Hervásio de Carvalho inicia o primeiro tópico da palestra:

O PARADIGMA DA RADIAÇÃO

De forma simplificada, o paradigma do efeito da radiação (presentemente) afirma:

- 1)exposição à radiação é danosa;
 - 2)exposição é danosa qualquer que seja a dose de exposição;
 - 3)não existem efeitos decorrentes de exposição a baixas doses que não sejam previstos a partir dos efeitos observados a altas doses.
- Caberá ao leitor, depois de estudar o conjunto de dados e informações hoje disponíveis, aferir a justeza destes paradigmas. (CARVALHO, 1990, p. 1-2)

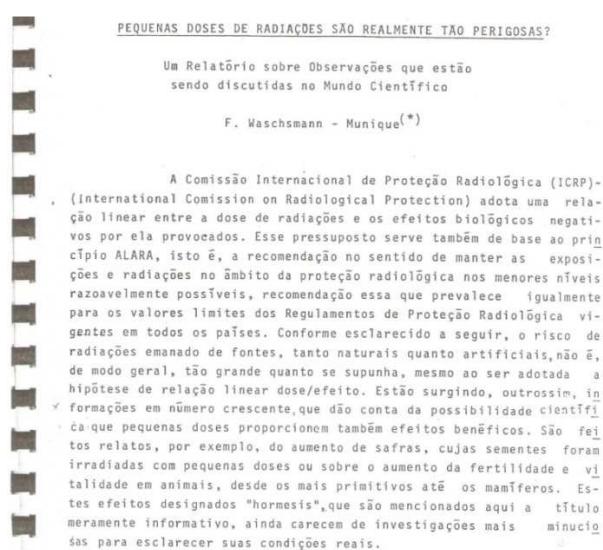
Paradigma, no sentido aqui usado, está em consonância com o sentido dado por Kuhn (2009), no seu posfácio, de “crenças em determinados modelos”, classificado então como um ‘segundo componente’ da ‘matriz disciplinar’. É visível, na palestra, a tentativa de desmistificar a ‘crença’ dos ouvintes, reunindo uma série de argumentos, contra o ‘modelo’ que descreve o efeito das radiações em doses baixas. Os pontos questionados nessa palestra, na essência, são os mesmos questionados pelo trabalho francês, com os argumentos deste último mais fundamentado em recentes avanços da radiobiologia. A principal diferença é que a palestra se esforça mais em reunir evidências em favor da hormese, ao invés de tentar

demonstrar, diretamente, que “é altamente improvável que riscos carcinogênicos possam ser estabelecidos ou até mesmo estimados” para doses baixas.

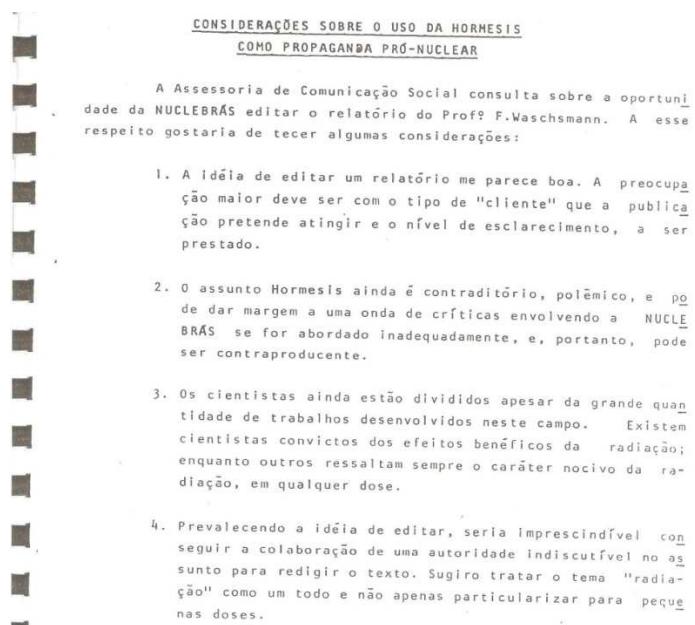
No tópico intitulado “Efeitos horméticos em farmacologia – inversão farmacológica como protótipo de hormesis”, o professor afirma:

Em 1567, Paracelso notou que a natureza do efeito das substâncias depende muito da dose, daí sua famosa frase “dosis facit venenum”: a dose é que faz o veneno. Embora fosse bem conhecido que o efeito de certas substâncias em baixas doses fosse totalmente diverso do efeito a altas doses, não foi criada uma palavra genérica apropriada para o fenômeno. Em comum usava-se a expressão “inversão farmacológica”, que descreve a reversão do efeito inicial, quando se estudava o efeito em função do tempo[...] Gradualmente o assunto mereceu estudos teóricos e ficou conhecido como Lei Arndt-Schultz. Investigadores como Caspari, Sacher e Trucco estudaram o assunto, que terminou por ser denominado de Hormesis. A conotação da palavra Hormesis implica não só um efeito de reversão da resposta à dose, mas que há um efeito benéfico a baixas doses, em contraste com o efeito danoso de altas doses. (Idem, p.4)

Depois de ilustrar o fenômeno dando exemplos de melhora na fertilidade, longevidade, crescimento, ganho de peso, inibição de tumores, etc, em diversas espécies nas quais foram aplicadas pequenas quantidades de substâncias como clorofórmio, pesticidas, metais pesados, hidrocarbonetos e outros agentes químicos, ele discute o efeito da radiação natural e de baixas doses de radiação gama na proliferação de células. A principal fonte de dados da palestra é o relatório do Prof. F. Waschmann, intitulado “Pequenas doses de radiações são realmente tão perigosas?”, que também faz parte do conjunto de documentos catalogados como ‘conteúdo da palestra’ do Prof. Hervásio de Carvalho. A capa do relatório é reproduzida, parcialmente, abaixo:



O relatório foi elaborado em junho de 1987, contém 12 páginas e, embora cite na introdução que a “hormesis⁴³” “ainda carece de investigações mais minuciosas”, no desenvolvimento do mesmo o autor afirma que o risco das radiações não é tão grande quanto se supunha e que é crescente o número de trabalhos que relatam efeitos horméticos; cita, como principal referência, os trabalhos apresentados pelo bioquímico americano Thomas Luckey. A possibilidade de ocorrer efeito hormético com a radiação foi levada tanto a sério que foi encontrado, junto com os documentos da palestra, uma comunicação interna da NUCLEBRÁS, reproduzida parcialmente abaixo, consultando sobre a viabilidade de se usar o relatório do Prof. Waschsmann como propaganda pró-nuclear:



O documento contém quatro páginas, foi elaborado em 07/08/87 (cerca de dois meses após o relatório Waschsmann) e seu título sugere que a “hormesis” era vista como um tema realmente estratégico para a propaganda pró-nuclear. Mas “a preocupação maior deve ser com o tipo de cliente” a ser atingido pelo relatório pois “o assunto Hormesis ainda é contraditório, polêmico, e pode dar margem a uma onda de críticas envolvendo a NUCLEBRÁS”. Na sequência o documento diz que o conhecimento do público, acerca da radiação, é “impreciso e inadequado” e que “a maioria das informações que chega ao público é confusa e contraditória”; o documento atribui essa desinformação às consequências do acidente de Chernobyl e conclui:

⁴³ Encontrou-se duas formas de grafias equivalentes desse fenômeno: “hormese”, mais encontrada em textos em português, e “hormesis”, encontrada em textos em inglês e, numa escala menor, também em textos em português. Será dada preferência à grafia “hormese”, com exceção dos casos de citação em português, nos quais, a própria fonte, use a grafia “hormesis”.

...A existência dos efeitos estimulantes das pequenas doses de radiações ionizantes é indiscutível. Os esforços dos cientistas em comprovar esses efeitos úteis vem de longa data. Entretanto, os resultados ainda são inconclusivos e necessitam de investigação mais minuciosa para reduzir as contradições. Diante desses fatos talvez seja prematuro distribuir folhetos sobre Hormesis, para a população em geral. Esse tipo de impresso é mais eficaz quando dirigido à comunidade acadêmica e científica. (Idem, p. 31)

Não obstante a crença na “existência dos efeitos estimulantes das pequenas doses”, o documento fornece uma explicação bastante plausível para o silêncio da NUCLEBRÁS, em torno da “hormesis”: não obstante a sua importância para a propaganda pró-nuclear “o assunto ainda era polêmico e poderia provocar críticas...”. Essa preocupação faz lembrar um depoimento, feito no Grupo de Trabalho sobre Segurança Nuclear (GTFSN), na Comissão de Meio – Ambiente da Câmara de Deputados:

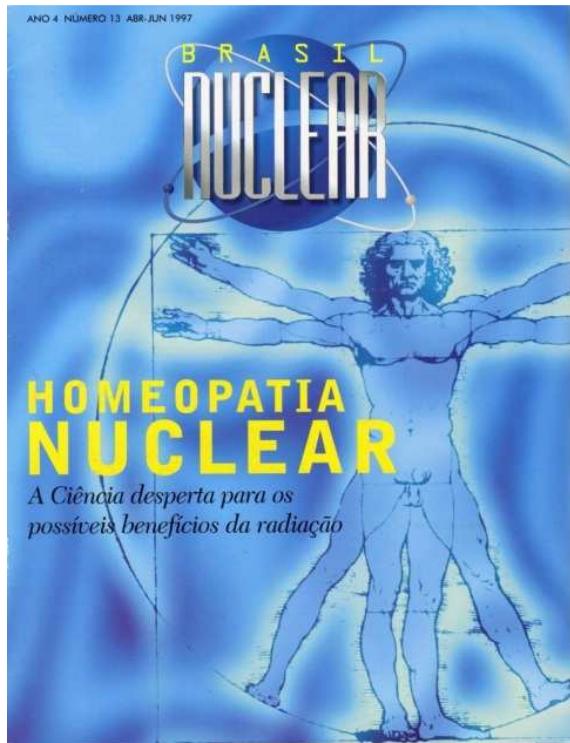
... VALVERDE apresentou um outro slide onde mostra que o álcool é mais perigoso que a energia nuclear. Esta informação causou protesto entre muitos daqueles que ouvimos [...] O mesmo profissional ainda levantou a tese de que existe a possibilidade de que uma baixa dose de radiação (condicionante) possa “defender” a célula contra uma outra dose maior (desafiadora). Isto é, radiação em baixas doses pode servir como antídoto a doses maiores! Esta afirmação, segundo o mesmo, se refere a trabalhos desenvolvidos com células isoladas em laboratórios e expostas a baixas doses, não conseguimos encontrar, porém, quem sustentasse esta tese. A preocupação do GT é que informações como estas, possam ser usadas para justificar a pouca importância dada aos aspectos de segurança e saúde da população, em especial do trabalhador exposto à radiação ionizante, como vem ocorrendo. (GTFSN, 2007, p.57)

O texto se refere ao Médico Nelson Valverde, professor da UERJ, que teria dito, na Comissão de Direitos Humanos da Câmara de Deputados, numa audiência pública realizada em 2005, sobre a contaminação dos trabalhadores expostos à radiação ionizante, que existe a possibilidade de que a radiação, em baixas doses de radiação, venha a proteger o indivíduo exposto contra os efeitos de doses maiores. Se, em 2007, um depoimento que mencionou trabalhos que relataram a verificação de efeitos horméticos da radiação, causou tanta estranheza, dá para imaginar que o documento tinha absoluta razão ao se preocupar com as críticas que a NUCLEBRÁS poderia receber se tentasse usar, em 1987, a hormese como propaganda a favor da energia nuclear para a produção de eletricidade.

5.2 O artigo “Quando a radiação faz bem”

Já a Associação Brasileira de Energia Nuclear, ao publicar o número 13 da revista Brasil Nuclear, que trouxe o artigo “Quando a radiação faz bem”, teve menos

preocupação e quebrou o silêncio de forma efusiva, trazendo em sua capa o título: “Homeopatia Nuclear – A Ciência desperta para os possíveis benefícios da radiação”:



O artigo assinala que o assunto não é novo, mas foi retomado como tema principal do congresso da *American Nuclear Society* (ANS), de 1996. Segundo a revista, a ‘estrela’ do evento foi Thomas Luckey que, em 1980, publicou uma monografia com as conclusões sobre os estudos de mais de 1260 trabalhos sobre os efeitos benéficos das pequenas doses e, como já foi dito antes, foi a principal referência também do relatório Waschsmann. Segundo o bioquímico:

Esse tipo de efeito benéfico, provocado especialmente pelas baixas doses de radiação, foi observado pela primeira vez há cerca de 100 anos, pelo professor W. Schrader, da Universidade de Missouri que, ao inocular o bacilo da difteria em cobaias, notou que os animais não expostos ao raio X, antes da inoculação, morreram após 24 horas, enquanto que os que receberam a radiação, sobreviveram. (GIURLANI, 1997, p. 8)

Ainda segundo o pesquisador, os trabalhos que se seguiram esbarraram no ‘ceticismo’ em relação ao assunto, alimentado pela “falácia dos meios de comunicação e por cientistas que ignoram a literatura radiobiológica”. Essa literatura mostraria que “cerca de 55 análises, feitas entre 1896 e 1977, apresentaram evidência da estimulação por meio da irradiação com doses pequenas”. Giurlani (1997) cita outros trabalhos sobre a hormese; um deles, que foi destaque também no congresso da ANS, foi feito por pesquisadores japoneses com pacientes de linfoma não Hodgkin. Um grupo de pacientes foi tratado apenas com

radioterapia local, enquanto que, o outro grupo, foi tratado com radioterapia local seguida de radioterapia de corpo inteiro com dose individual de 1,5 Gy. Após seis anos de observação, 90% dos pacientes do segundo grupo continuavam vivos enquanto, do primeiro grupo, apenas 36% encontravam-se vivo após o período de estudo. Na interpretação dos autores, a explicação para o fenômeno é que a pequena dose dada no corpo inteiro teve um efeito hormético sobre os pacientes.

Essa interpretação, entretanto, não é a única possível; pacientes de radioterapia, em geral, não recebem apenas a dose desejada na região de tratamento. Uma pequena dose de radiação, espalhada pelo meio, sempre chega ao corpo como um todo do paciente. Ou seja, mesmo os pacientes de linfoma que não tomaram a dose complementar de 1,5 Gy, receberam uma dose adicional, ainda que menor do que essa. Por que eles também não foram ‘beneficiados’ pelo efeito hormético? Qual é garantia de que 1,5 Gy, que não pode ser considerado exatamente como uma dose baixa (o trabalho francês só considera baixa doses menores do que 0,1 Gy), não causou um efeito terapêutico convencional, ao invés de um efeito hormético? Associar o resultado obtido a um inequívoco efeito hormético é questionável visto que seria difícil explicar, entre outras coisas, o motivo do mesmo efeito não se manifestar no tratamento de outros tipos de câncer.

Outro estudo citado é o de John Cameron,⁴⁴ consultor do Departamento de Energia dos Estados Unidos, cujo trabalho teria custado dez milhões de dólares ao órgão. Ele relata que, em um grupo de 700 mil trabalhadores norte americanos, monitorados de 1960 a 1981, a taxa de mortalidade geral no grupo exposto à radiação foi 24% menor do que no grupo não exposto. Segundo o consultor, a despeito do custo, o trabalho nunca mereceu a devida divulgação; a explicação para ele parece ser óbvia: “Se a taxa de mortalidade geral dos trabalhadores nucleares tivesse sido 24% maior, ao invés de 24% menor do que da população em geral, todas as redes de televisão nacionais teriam noticiado o estudo em 1987, quando ele foi concluído” (GIURLANI, 1997, p. 14).

A pesquisadora Yannick Nouailhetas, da CNEN, também citada no artigo, reforça o ponto de vista de que existe má vontade com o tema, afirmando que “Há muitos

⁴⁴ John R. Cameron (21/04/2022-16/03/2005) foi professor emérito de Física Médica da Universidade de Wisconsin. Obteve o Ph.D em Física Nuclear em 1952, e durante os dois anos seguintes veio ao Brasil com a missão de auxiliar o Prof. Oscar Sala na construção do acelerador Van de Graaff e foi contratado como professor assistente da USP. Foi membro fundador da *American Association of Physicists in Medicine* e o idealizador e um dos fundadores da Associação Brasileira de Física Médica (OKUNO, 2010).

entraves para o avanço das pesquisas referentes à hormese. Mas o maior deles é o preconceito". O artigo cita, também, um depoimento do Prof. Eduardo Penna Franca, talvez o profissional que tenha maior domínio sobre o tema no Brasil, e que mantinha uma certa resistência em relação à hormese, mas que reavaliou sua posição após o contato com cientistas de vários países nas reuniões do comitê das Nações Unidas para discutir o tema:

Fui 24 vezes o consultor do Brasil nas reuniões da UNSCEAR, em Viena, e nessas ocasiões tive oportunidade de conversar com cientistas de mais de 20 países sobre trabalhos nesse sentido. Por isso, acabei reavaliando minha posição sobre o assunto" (GIURLANI, 1997, p.14)

Hervásio de Carvalho, além de fornecer livros e artigos para a elaboração do artigo de Giurlani (1997), afirmou, no mesmo, que "A terra, há 4 bilhões de anos, era cerca de dez vezes mais radioativa do que é agora e foi nesse ambiente que a vida proliferou", certamente não percebe fundamento algum nesse preconceito. Durante a entrevista ele contribuiu, ainda, com os seguintes argumentos:

O professor Hervásio de Carvalho, um dos responsáveis pelo Programa Nuclear Brasileiro, destaca que aproximadamente 20% das mortes no mundo são causadas por câncer, havendo cerca de 10 mil agentes diferentes. Mas, curiosamente, hoje começa-se a questionar se a radiação seria de fato, um deles. Ele lembra que na época do acidente de Chernobyl, a Agência Internacional de Energia Atômica mandou peritos do mundo inteiro para avaliar os efeitos nas regiões próximas e não houve problemas graves. "Houve apenas dois casos de câncer de tireóide em crianças. Na verdade, o maior dano foi psicossomático. E o que vai acontecer de curioso é que essa população amedrontada vai ter maior longevidade[...]Se a hormese se tornar conhecida e popular, o medo da radioatividade irá diminuir e muito. E acabando-se com a radiofobia como é que o Greenpeace irá conseguir verbas? (GIURLANI, 1997, p. 9-12)

Como essas afirmações são mais complexas do que a simples referência ao fato de que a vida proliferou na terra, a despeito dos níveis de radiação, algumas considerações precisam ser feitas para que melhor se compreenda o problema:

Em primeiro lugar, quando o texto de Giurlani (1997) se refere aos 10 mil agentes carcinogênicos, o faz dizendo que "hoje começa-se a questionar se a radiação seria, de fato, um deles"; ao não especificar "radiação em doses baixas" a autora parece estar seguindo a orientação da Assessoria de Comunicação Social da NUCLEBRÁS, quando o órgão diz "sugiro tratar o tema 'radiação' como um todo e não apenas particularizar para pequenas doses" , como pode ser visto no documento "Considerações sobre o uso da hormesis como propaganda pró-nuclear", reproduzido parcialmente no sub item anterior. dessa tese. Como ninguém questiona o fato da radiação ser um agente carcinogênico para doses acima de 1 Sv, por exemplo, estratégias como essa podem ajudar a confundir o

público, o qual, segundo a própria Assessoria, já recebe sobre a radiação um conjunto de informações “impreciso e inadequado”.

Em segundo lugar, dizer (em 1997), que logo após o acidente de Chernobyl (que ocorreu em 1986), os peritos da AIEA ‘não encontraram problemas graves nas regiões próximas’, é uma afirmação questionável pois, em 1997, já se sabia que muitos casos só se manifestaram anos depois. Se considerarmos que a autora usou em seu artigo uma citação de Hervásio feita logo após o acidente, os ‘apenas dois casos’ de câncer de tireóide poderiam estar corretos, em termos numéricos, mas continuaria a ser uma afirmação problemática pois dois casos de câncer radio-induzido, no curto prazo, é sim um problema grave em si mesmo, e por apontar para a possibilidade de aumento da incidência da lesão a médio e longo prazo, haja visto que existe um período de latência para um câncer radio-induzido se manifestar clinicamente. O artigo de Likhtarev (1995), publicado na revista *Nature*, é esclarecedor ao mostrar que a incidência de câncer de tireóide aumentou a partir de 1989 naquela região, três anos após o acidente.

Em terceiro lugar, dizer que ‘o maior dano foi psicossomático’ e que a ‘população amedrontada vai ter maior longevidade’, significa apostar que a população irá se cercar de hábitos saudáveis (melhorar alimentação, fazer exames médicos regulares, melhorar a atividade física e evitar outros fatores de risco como o cigarro e o álcool, por exemplo) e vir a ter, como resultado de tudo isso, uma maior longevidade. Se for assim, o mérito será da radiação ou dos hábitos saudáveis colocados em prática? Não se pode usar esse mesmo argumento para explicar a maior longevidade dos trabalhadores expostos à radiação, citado em Giurlani (1997), sem precisar atribuir aquele resultado à hormese?

Essas considerações não devem ofuscar o fato de que o artigo, no seu conjunto, traz bons argumentos mas, algumas vezes, tende a ignorar a complexidade do tema em análise e confundir o público, o que pode subverter a preocupação com a necessidade de documentar e difundir melhor os dados científicos sobre os efeitos das radiações em doses baixas, compartilhada pela autora do artigo. Ela, inclusive, se referiu à criação de uma entidade internacional, formada por diversos cientistas de vários países, com esse objetivo. De posse desses dados, a *Radiation Science and Health* (RSA), a entidade criada, deveria, como uma das metas principais, tentar exercer influencia sobre os órgãos de proteção radiológica, de forma a fazer com que eles reavaliem os limites de segurança propostos, uma vez que eles, ainda segundo o artigo, levam a um desperdício de mais de dois trilhões de

dólares com radioproteção, em todo o mundo, gerando pouco benefício e um grande temor do público em relação à tecnologia nuclear.

5.3 O editorial da revista Brasil Nuclear: “A fabricação do consenso”

A revista que traz o artigo Giurlani (1997), em seu editorial⁴⁵, cujo título é “A fabricação do consenso⁴⁶”, declara:

...houve um período, até o início dos anos 70, durante o qual ‘falar bem’ da energia nuclear era a regra, daí se obtendo um comportamento favorável da opinião pública às decisões que se tomavam nesse campo, desde então, a regra básica tem sido ‘falar mal’ [...]. Começou-se a ‘falar mal’ exatamente quando os países do chamado ‘clube atômico’ firmaram entre si - e levaram outros países a assinar – acordos internacionais que reduziram, até praticamente encerrar, os testes nucleares. Não é suspeito? Nos anos 50 e 60, em plena era das explosões atômicas descontroladas, prevalecia um consenso otimista em relação à energia nuclear. Pois justo quando [...] a humanidade estava começando a colher os primeiros benefícios no campo das aplicações pacíficas, em geração de energia, na medicina, na agricultura, na indústria, etc., justo então, a radioatividade passa a ser ‘demonizada’. Por quê? (DANTAS, 1997, p.3)

A resposta que o editorial procura articular diz que as grandes potências precisavam do apoio da opinião pública apenas no período em que os testes eram necessários. Passado esse período, a experiência acumulada permitiria que os aperfeiçoamentos pudessem ser obtidos virtualmente, através das simulações de computador. Proibir os testes significava, na verdade, impedir que outras nações alcançassem o mesmo estágio de conhecimento. Sem a necessidade dos testes reais “a opinião pública, em todo mundo, já pode ser mobilizada para bloquear o desenvolvimento nuclear, no geral”.

Embora plausível, a resposta deixa de considerar que as grandes potências também tinham interesses comerciais na área das aplicações pacíficas da energia nuclear, o que torna o problema mais complexo. Desconsidera, também, o fato do movimento ambientalista, que já vinha se posicionando desde o período dos testes nucleares, ter ganhado força, inclusive na área político-partidária, a partir dos anos 70; isso, também, desempenhou um papel importante na formação da opinião pública. Desconsidera, por último, a repercussão que os acidentes de Three Milles Island, Chernobyl e Goiânia, tiveram sobre a população em geral. Mas o editorial continua:

⁴⁵ O Conselho editorial da revista era composto por doze membros, entre eles Alfredo Tranjan Filho, diretor da CNEN, e Guilherme Camargo.

⁴⁶ O título do editorial é uma alusão ao trabalho de Noam Chomski, linguista norte-americano, conhecido por suas críticas ao poder que os meios de comunicação adquiriram de, independente dos fatos, produzirem o consenso adequado aos seus interesses.

Da fabricação do consenso não faz parte apenas a orientação dominante nos noticiários jornalísticos. Também é muito importante aquilo que, nos meios acadêmicos, denomina-se “paradigmas científicos”, expressão cunhada pelo físico e sociólogo norte-americano, Thomas Kuhn. Um paradigma estabelece, quase sempre pelo consenso tácito da comunidade científica, o que um cientista deve estudar e resolver. Pois há 50 anos, concordou-se, sem maiores exames, que os efeitos sobre a saúde, de pequeníssimas doses de radiação, poderiam ser linearmente extrapolados dos efeitos, já conhecidos, da radiação por doses maiores. Como estas, sabe-se bem, causam sérios problemas, aquelas não teriam por que produzir resultados diferentes. (Idem, p.3)

De acordo com esse ponto de vista, os defensores do uso da energia nuclear, para fins pacíficos, viam-se diante de pelo menos dois obstáculos: a pressão da opinião pública e a pressão dos meios acadêmicos e científicos, que abraçaram, ‘sem maiores exames’, um paradigma que afirma que as radiações, mesmo em pequeníssimas doses, são danosas aos seres vivos. Essa crença, pelo medo que desencadeia, termina por inibir o crescimento das aplicações da energia nuclear; continua o editorial:

Tal crença tem sido acriticamente aceita pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), entidade que estabelece padrões internacionais de segurança para as instalações nucleares ou radioativas [...]. Por todo esse tempo, principalmente depois de 1970, centenas de milhões de dólares vieram sendo gastos na tentativa de reduzir ao máximo, se possível anular, a radiação eventualmente emanada de instalações nucleares. Não é que estudos recentes têm demonstrado que baixíssimas doses de radiação podem fazer muito bem à saúde? [...]. Disso aliás, lá pelos nuclearmente otimistas anos 50, nós brasileiros já sabíamos, quando frequentávamos estações de águas radioativas, em Minas Gerais, ou nos lambuzávamos nas curativas areias de Guarapari. O debate sobre a hormese, apresentado em uma magnífica reportagem de Silvia Giurlani, é o principal tema dessa edição de Brasil Nuclear que, talvez, o esteja introduzindo de modo pioneiro, na imprensa brasileira... (Idem, p.3)

O paradigma adotado pela comunidade científica força os órgãos de controle, como a ICRP, por exemplo, a adotar limites de doses que implicam no gasto de ‘centenas de milhões de dólares’ com a proteção radiológica em instalações nucleares. Mais do que isso, esses limites baixos fazem com que a população fique ainda mais assustada, o que termina por inibir, significativamente, o uso da energia nuclear. Esse é o principal ‘combustível’ que vem alimentando a controvérsia ao longo desses anos. Os defensores do uso da energia nuclear entendem que vencer essa controvérsia é ocupar uma importante trincheira, primeiro porque reduz o medo e, segundo, porque reduz o custo das aplicações nucleares, não necessariamente nessa ordem. Quanto aos efeitos das areias de Guarapari, retratada pelo editorial na foto seguinte, existem boas notícias e, pelo menos uma, não tão boa assim, para



aqueles que defendem a energia nuclear. Sobre Guarapari, o BEIR V diz que a dose média é 6,4 mSv (seis vezes maior do que o nível médio de radiação natural) e que estudos da saúde da população local revelaram um crescimento no número total de aberrações cromossomiais, mas não foi encontrado nenhum aumento na frequência de câncer radio-induzido. Para se ter uma ideia do problema, a CNEN, seguindo padrões internacionais, adota o limite de 1 mSv/ano para o público em geral. A notícia boa, evidentemente, é que não obstante o fato do nível da radiação natural ser seis vezes maior, a incidência de câncer que, segundo o relatório BEIR V, tem sua frequência aumentada qualquer que seja a dose, não se confirmou. Ou seja, não existem razões concretas para se interditar a praia de Guarapari, nem de nenhum outro lugar habitado da terra que possua níveis acima da média de radiação natural. Como fica, então, a tese de que a radiação, mesmo em doses baixas, aumenta a incidência de câncer? Isso, definitivamente, fortalece os argumentos dos defensores da energia nuclear. A notícia ruim seria, então, as tais das aberrações cromossomiais? Também não, a julgar pelo posicionamento do próprio BEIR V sobre o assunto, que afirmou que as células afetadas tendem a ser gradualmente eliminadas com o tempo, sem prejuízo para o indivíduo.

Ou seja, a notícia continua a ser boa, visto que não foram identificadas implicações médicas para as aberrações. Mais sutil do que isso, se a afirmação de que “as células afetadas, tendem a ser gradualmente eliminadas com o tempo” pode ser usada contra as aberrações cromossomiais, ela também não poderia ser usada contra a carcinogênese radio-induzida em baixas doses? O trabalho francês fez um uso bastante apropriado desse

argumento. A má notícia, na verdade, é que não se consegue encontrar nenhum estudo epidemiológico que prove que se ‘lambuzar’ nas areias de Guarapari traga, de fato, algum efeito benéfico que não possa ser atribuído a outro tipo de causas, independentes da radiação. Sem estudos assim, vai ser tão difícil confirmar os efeitos horméticos da radiação em baixas doses quanto provar, inequivocamente, que elas são maléficas qualquer que seja a dose.

5.4 A crítica aos órgãos de controle: o que fazer com a população de Guarapari?

Os outros números da revista Brasil Nuclear continuam a colocar em evidência o uso da energia nuclear, mas não voltam a abordar, diretamente, a controvérsia com a intensidade verificada no trabalho de Giurlani (1997). Esse fato, entretanto, não significa que os efeitos dessa controvérsia não tenham aparecido em outros meios. Calegaro (2005)⁴⁷, por exemplo, no trabalho denominado “Controvérsias sobre radiação ionizante”, resume assim o debate:

Pela teoria de proteção radiológica vigente, qualquer dose de radiação ionizante pode causar efeito danoso, dos quais o mais expressivo é o câncer. Ela se baseou no princípio ALARA (*as low as reasonable achievable*) que promoveu extrapolação linear de efeitos biológicos de elevados e médios níveis de radiação para baixos níveis. Os fatos científicos disponíveis, entretanto, apontam para reação adaptativa da célula aos baixos níveis de radiação. Há, ainda, observações epidemiológicas mostrando que essa teoria não tem fundamento real. É necessário mudar essa postura conceitual, que tem causado desinformação no meio médico e na comunidade (CALEGARO, 2005).

O autor enfatiza que o uso do princípio que diz que a radiação, em qualquer nível de dose, pode causar efeito danoso, “tem causado desinformação no meio médico e na comunidade”, trazendo o debate para a área de procedimentos médicos. Ele, em outro trabalho denominado “Baixos níveis de radiação ionizante causam câncer?”, cita um artigo⁴⁸ que, extrapolando para doses baixas o risco de morte por câncer obtido de doses altas, conclui que a chance de um procedimento de radiodiagnóstico causar câncer é de um em 1000, para cada 10 mSv de dose liberada no paciente. Em resposta, o autor resumiu quatro reações biológicas, que são eficientes em doses baixas e que desautorizam a extrapolação de

⁴⁷ José Uliisses Manzzini Calegaro é Médico Chefe do Núcleo de Medicina Nuclear do Hospital de Base do Distrito Federal, Brasília, DF, Brasil.

⁴⁸ O trabalho criticado é: Semelka RC. *Imaging x-rays cause cancer: a call to action for caregivers and patients.* www.medscape.com/viewarticle/523000_1

dados obtidos em doses altas: 1)neutralização dos radicais oxidantes; 2) ativação do reparo nas alterações estruturais que possam ter ocorrido no DNA; 3) indução da apoptose caso haja sinais de inviabilidade celular e 4) ativação das respostas imunes, reconhecendo a célula danificada como estranha, por alterações da membrana. Na essência, são os mesmos argumentos apresentados pelo trabalho francês, a diferença está na ênfase e na crítica contundente que o autor faz:

A **Medscape**, revista eletrônica, tem registrado manifestações de mães preocupadas com a possibilidade de ocorrência de leucemia em filhos submetidos a exames por tomografia computadorizada e, até, o relato de uma assinalando o tumor no filho anos após quatro procedimentos do gênero [...]. Recentemente, a Comissão Nacional de Energia Nuclear, por recomendações internacionais, diminuiu a dose anual efetiva de 50 mSv para 20 mSv nos indivíduos expostos ocupacionalmente e de 5 mSv para 1 mSv para a população geral. Seria mais razoável derivar esses limites das áreas com sedimentos monazíticos de elevada radiação natural existente, como a costa do estado do Espírito Santo. Caso contrário, será interessante saber qual o discriminante (atitude) que o órgão aplicará na região.[...] Agora, em 2006, o grupo de trabalho sobre Fiscalização e Segurança Nuclear da Câmara dos Deputados ignorou as informações científicas prestadas em plenário e adotou o princípio: "não há dose de radiação tão pequena que não produza um efeito colateral no organismo humano". Se nossas estruturas [...] vigentes adotarem e divulgarem conceitos teóricos sem fundamento científico, estaremos alimentando a paranóia histriônica que se estabeleceu erroneamente com o efeito biológico de baixos níveis de radiação ionizante... (CALEGARO, 2007).

O autor procura realçar a aparente incoerência da CNEN, ao adotar um limite de dose de 1 mSv para a população geral, e, ao mesmo tempo, se calar em relação a Guarapari, onde a dose, devido à radiação natural, é seis vezes maior do que esse limite. Critica, também, o fato do Grupo de Trabalho da Câmara dos Deputados, da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Câmara Federal, ter adotado o princípio de que radiação, em qualquer nível de dose, é maléfica, ignorando informações contrárias, como as prestadas pelo médico Nelson Valverde, professor da UERJ, também na Câmara Federal. De fato deve ser difícil para a população de Guarapari, e para os pacientes que se submetem a exames radiológicos, receberem essas informações sem achar que poderão morrer de algum tipo de câncer radio-induzido, o que mostra o quanto a compreensão dos aspectos históricos dessa controvérsia pode ajudar a lançar alguma luz e levar a sociedade a acomodar melhor essas informações.

Alguns aspectos da controvérsia também foram discutidos por outros autores, como pode ser visto em Navarro (2007, 2009), mais preocupado com as questões ligadas à ação dos órgãos vinculados à Vigilância Sanitária, Ferreira (2008), em uma dissertação sobre a radioterapia na Bahia, e Andrade (2010), voltado para a introdução de conceitos

centrais da radiobiologia. A discussão foi mais aprofundada em Okuno (2010), onde, no capítulo X, denominado “Efeitos biológicos das radiações nos seres vivos”, dos oito tópicos, três discutiram diretamente o efeito das radiações em doses baixas:

- 10.6 – Resultados recentes dos efeitos biológicos;
- 10.7 – Resumo da diferença entre os efeitos de dose alta e dose baixa;
- 10.8 – Hormese;

Neste último tópico, como o nome indica, discutiu-se os efeitos benéficos das radiações ionizantes em doses baixas, constituindo-se em uma novidade visto que, nos dois livros anteriores da autora, nos quais a controvérsia foi abordada, o tema específico da hormese não foi discutido. Nesse tópico, ela relata que o físico norte americano John Cameron, no período que passou no Brasil, esforçou-se para incentivá-la a convencer as pessoas de que era importante, para a saúde das mesmas, carregar um pouco das areias monazíticas de Guarapari no bolso. A julgar pela reportagem reproduzida abaixo, o físico nuclear Marcos Tadeu Orlando, chefe do Departamento de Física da UFES, discordaria frontalmente, mostrando que a controvérsia sobre o efeito das radiações está aberta também em Guarapari, para alguns “cidade saúde”, para outros, “cidade proibida”, com índice de radiação superior a Fukushima, com casos de câncer que não podem ser assumidos publicamente devido aos “interesses que fazem de Guarapari uma cidade turística”, mas onde “é muito difícil ver cachorros de rua no Centro de Guarapari porque a radiação é fatal para eles”:

SEXTA-FEIRA, 25 DE MARÇO DE 2011

Radiação em Guarapari é maior que em Fukushima



O físico nuclear, Marcos Tadeu Orlando, chefe do Departamento de Física, da Universidade Federal do Espírito Santo fez hoje (25/03/2011) o primeiro alerta de malignidade das areias monazíticas de Guarapari. Em entrevista à Fernanda Queiroz, na rádio CBN-Vitória ele disse, sem papas na língua, que a areia preta emite uma radiação superior àquela que vem sendo medida no entorno da usina de Fukushima.

Segundo disse, a radioatividade acima dos níveis de normalidade afetam principalmente crianças que fiquem em contato direto com a areia da Praia da Areia Preta por mais de duas horas. Os raios gama emitidos pela radiação podem promover importantes alterações no DNA das crianças e nenhum efeito maléfico em idosos, pelo contrário, trazendo benefícios já conhecidos para problemas de artrites, artroses como já conhecido.

O físico afirmou categoricamente que não leva seus filhos àquela praia de jeito nenhum e não aconselha que os pais não deixem as crianças por muito tempo expostas à radiação das famosas areias monazíticas que contêm tório e urânio. Ele alertou que a seis metros, andando no calçadão da praia não há perigo. Apenas o contato direto com a areia é capaz trazer problemas em organismos em formação. Mas desaconselhou levar a areia para casa.

Ao ouvir a entrevista, lembrei que há alguns anos entrevistei um dos médicos que desenvolvem um programa de combate ao câncer de pele e ele me fazia o mesmo alerta. Mas não queria assumir publicamente, pois sofreria grande pressão dos interesses que fazem de Guarapari uma cidade turística, cognominada de “cidade saúde”. Mas ele lembrou que é muito difícil ver cachorros de rua no Centro de Guarapari porque a radiação é fatal para eles.

Publicada por Carlos Henrique Gobbi em 17:44⁴⁹

Quando se compara a foto de Guarapari nos anos 50 (tópico 5.3), com a foto da reportagem acima, percebe-se, na primeira, uma praia cheia de jovens e idosos em atitudes espontâneas, descontraídas, inteiramente à vontade com as areias da praia. A pouca presença de pessoas na foto da reportagem de Gobbi (2011), significaria que está ficando cada vez mais difícil convencer, até mesmo os idosos, a confiarem nos “efeitos benéficos” das areias monazíticas das praias de Guarapari? Não é um dos objetivos desse trabalho responder essa pergunta, mas não surpreenderia se a resposta fosse positiva visto que, nos anos 1950, havia mais boa vontade e expectativa positiva em relação aos benefícios e ao uso pacífico da energia nuclear⁵⁰.

⁴⁹ Segundo o blog, Gobbi é “Jornalista, 34 anos de profissão, escreveu para jornais como O Globo, Gazeta Mercantil, Folha de São Paulo, na Gazeta, roteirizou e dirigiu documentários, atuou na publicidade e em assessorias de imprensa”. <http://www.blogger.com/profile/18286817264478546976>; acesso em abril de 2011.

⁵⁰ Essa expectativa positiva pode ser percebida quando se consulta as Atas do Simpósio sobre a utilização da energia atômica para fins pacíficos no Brasil, realizado nos dias 25, 26 e 27 de abril de 1956. Participaram do evento nomes importantes da ciência brasileira como Mario Schemberg, Marcelo Damy, Herválio de Carvalho, José Goldemberg, entre outros, em um debate intenso, mas sem nenhuma menção a possíveis efeitos deletérios das radiações. Jose Goldemberg, por exemplo, hoje um dos mais ferrenhos críticos do uso da energia nuclear, declarou na ocasião que “...reatores atômicos não são somente instrumentos de investigação em física, mas têm também um grande interesse social, não só porque produzem isótopos, mas porque no futuro poderão ser usados para a produção de eletricidade...” (SBPC, 1956, p. 11)

A foto abaixo, mostra o “Radium Hotel”, inaugurado, em 1953, como um hotel cassino de nível internacional:



Fechado em 1964 com a proibição dos jogos no Brasil, a escolha do nome sugere que, longe de temer as radiações, a sociedade local, da época, convivia facilmente com o tema e procurava tirar proveito comercial da popularidade que a radioatividade do local parecia possuir; o hotel hoje permanece fechado, sob a guarda do Conselho Estadual da Cultura.

CAPÍTULO VI – OS RISCOS EM TORNO DOS EXAMES RADIOLÓGICOS: O CASO DO RASTREAMENTO MAMOGRÁFICO

Para ilustrar um dos reflexos dessa controvérsia na área médica, tentemos encontrar resposta para a uma pergunta simples: O risco de câncer radio-induzido é o principal argumento contra o rastreamento mamográfico? Trata-se de uma pergunta cuja resposta é, até certo ponto, surpreendente. Antes de tentar respondê-la diretamente, começemos por discutir algumas questões ligadas ao conceito de risco.

6.1 Os problemas em torno do conceito de “risco”

Aristóteles considerava o termo como “o aproximar-se daquilo que é terrível”; para Platão, o risco era “belo e inerente à aceitação de certas hipóteses e crenças” e a aceitação do “risco implícito” dessas escolhas é um dos pontos fundamentais do existencialismo contemporâneo (ABBAGNANO, 1999). Castiel (1996) assinala que o vocábulo *risco* é polissêmico, possui conotações no chamado senso comum, deixa margem para muitas ambiguidades e existem controvérsias quanto à origem do termo; citando o Dicionário de Epidemiologia, diz que o verbete faz menção à probabilidade de ocorrência de um evento mórbido ou fatal. Freitas (1997) cita que o termo deriva da palavra italiana *riscare*, que tem, segundo o autor, o significado original de “navegar entre rochedos perigosos”.

O uso de novas tecnologias trouxe inúmeros acidentes que mostraram o quanto a sociedade encontrava-se vulnerável. Herculano (2000),⁵¹ assinala que, embora os riscos de acidentes industriais tenham, obviamente, se originado a partir da chamada Revolução Industrial, somente a partir dos anos 1970 os mesmos ganharam maior visibilidade face às suas magnitudes: As vítimas deixaram de ser apenas os trabalhadores das indústrias onde eles ocorriam, mas também, as populações que viviam na vizinhança da indústria. O acidente de Bhopal (ocorrido em 1984, na Índia, com 2500 óbitos imediatos), por exemplo, envolvendo a multinacional americana Union Carbide, fortaleceu de tal forma os movimentos ambientalistas, nos EUA, que contribuiu, segundo Castiel (1996), para que o

⁵¹ A afirmação é feita no capítulo denominado “Acidentes químicos ampliados, vulnerabilidade social e planejamento de emergências” (HERCULANO, 2000), escrito por Carlos Machado de Freitas, Professor e pesquisador do Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, da Escola de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, no Rio de Janeiro.

surgimento de uma das legislações mais abrangentes sobre os riscos das indústrias químicas surgisse naquele país, e não na Índia, onde o acidente aconteceu.

Fatos como esse, que tiveram forte repercussão na mídia, ajudaram a popularizar a noção de risco. Castiel (1996) cita que “parece existir coletivamente uma percepção de pairar uma aura de ameaça sobre todos nós”. Ele reforça essa afirmação repercutindo a visão de que vivemos “em uma sociedade globalizada de risco – uma sociedade catastrófica”⁵² e ressalta a existência de “uma verdadeira indústria de determinação/avaliação de riscos”. Ele diz que uma das consequências dessa situação foi o aumento significativo de publicações onde a palavra *Risk* aparece como referência, tendo saltado de 5500 citações, na base de dados *Excepta Medica* de 1980, para 15000 citações no ano de 1993. Essa proliferação de estudos passou a interessar à mídia em virtude do forte apelo popular que o tema possui:

Em função da divulgação de informações consideradas vitais para a sobrevida das populações, há o imediato interesse do público por tais questões (especialmente, diante da possível imputação de irresponsabilidade, caso se assumam posturas desacauteladas a este respeito), propiciando uma demanda para a qual os meios de comunicação de massa procuram apresentar as “últimas descobertas da ciência” sobre os riscos [...]. Um dos encaminhamentos possíveis [...] é buscar o setor econômico responsável pela oferta/comercialização de produtos de proteção/prevenção aos riscos. Temos, então, serviços, práticas, bens de consumo de diversos tipos para enfrentar/prevenir as potenciais ameaças à nossa saúde. Sem, no entanto, é importante assinalar, haver garantias incondicionais que, procedendo-se assim, estaremos, incondicionalmente, protegidos. Pois, o risco é uma entidade probabilística. Em geral, as situações de exposição não se apresentam de modo a permitir que as previsões dos agravos sejam certas, imediatas, indiscutíveis. Sempre há a possibilidade de ocorrerem imponderabilidades incontroláveis. Isso não é negligenciável. Assim, é possível perceber a emergência de discursos populares de resistência à ideologia do risco... (CASTIEL, 1996, p. 239)

Hacking (1990), cujo trabalho tem o propósito de compreender as condições que possibilitaram a organização do conceito de risco, nos domínios do indeterminismo e da informação estatística desenvolvida com o objetivo do controle social, assinala que:

“Probabilidade não pode ditar valores, mas ela agora encontra-se na base de toda escolha razoável feita pelas autoridades. Nenhuma decisão pública, nenhuma análise de risco, nenhum impacto ambiental, nenhuma estratégia militar pode ser conduzida sem uma decisão tomada em termos de probabilidade. Para cobrir a opinião com um verniz de objetividade, nós substituímos julgamento por computação. Probabilidade é, então, a história de sucesso filosófico da primeira metade do século XX [...] Nossos medos são infinitamente debatidos em termos de probabilidades: Risco de cânceres, assaltos, terremotos, inverno nuclear, AIDS,

⁵² Essa visão, segundo Castiel (1996), é discutida no trabalho Beck (1992): *Risk society: towards a new modernity*. Londres, Sage.

aquecimento global, qual é o próximo? Não existe nada a temer (em minha visão) mas as próprias probabilidades. Esta obsessão com os riscos de danos e com tratamentos para mudar as disputas descende diretamente dos esquecidos anais de informação e controle do século dezanove. (HACKING, 1990, p. 4-5)

Freitas (1997) destaca que a questão que está colocada é que as análises de risco não resultam apenas de processos científicos e tecnológicos “mas também sociais, que em última instância acabarão por determinar um projeto de sociedade”. Para o autor, essa característica obriga a história, a antropologia, a sociologia, etc, a se debruçarem sobre o tema, pois compreender os problemas relacionados aos riscos tecnológicos é compreender um pouco mais nossa sociedade. Navarro (2009), em uma direção semelhante, lembra que o termo está associado à possibilidade de ocorrência de um evento indesejado e que o desenvolvimento da probabilidade, em meados do século XVII, fez com que essas possibilidades pudessem ser estimadas; para se formular o conceito de risco de um dado evento é necessário que se conheça não só a probabilidade de que o evento ocorra (obtida através de uma análise estatística), mas também o quanto danoso será o evento (o que requer um juízo de valor). Citando vários autores, ele afirma:

O risco deve ser entendido como uma elaboração teórica, que é construída historicamente, com o objetivo de mediar a relação do homem com os perigos, visando harmonizar os prejuízos e maximizar os benefícios. Assim, não é uma grandeza que está na natureza para ser medida, não é independente do observador e de seus interesses. É formulado e avaliado dentro de um contexto político-econômico-social, tendo um caráter multifatorial e multidimensional. (NAVARRO, 2009, p.38)

6.2 Incertezas dos riscos de morte por câncer-radio-induzido, no BEIR V

Feitas essas ponderações sobre o conceito de risco, e do papel que ele passou a ter em nossa sociedade, voltemos ao nosso objeto de estudo, destacando uma afirmação sobre a estimativa de riscos da radiação ionizante, a partir de dados epidemiológicos, presente no BEIR V:

Estimativa de riscos de radiação formulada com base em dados epidemiológicos está longe de ser precisa. Os dados mostram, como esperado, uma variação considerável devido ao número relativamente pequeno de casos em uma determinada categoria. Tais incertezas estatísticas são adicionáveis à outras não facilmente avaliáveis. Isso inclui incertezas inerentes às doses estimadas, à seleção do modelo de risco, à aplicabilidade dos riscos medidos em uma população em outro grupo exposto [...] na verdade pode ser que nem o risco relativo nem o risco absoluto possam ser extrapolados com segurança. (BEIR V, 1990, p. 218)

A citação destaca as incertezas devido às flutuações estatísticas, às estimativas de dose e ao modelo de risco (LNT). O uso desse modelo fez com que efeitos observados em doses maiores do que 1000 mGy fossem extrapolados, de forma linear, sem limiar, para doses menores do que 100 mGy, o que, segundo o trabalho francês, não encontra respaldo em estudos revelados pela radiobiologia. Embora essas restrições, no tocante ao câncer radio-induzido, não apareçam de forma tão explícita na conclusão do relatório BEIR V, é muito importante que elas sejam levadas em consideração quando se tenta ‘calcular’ o risco de morte por câncer radio-induzido, a partir da extração dos dados encontrados nos sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki, usando o modelo LNT. No caso do câncer de mama, é possível adicionar a essas restrições, outras mais específicas, feitas na continuidade do levantamento das incertezas do BEIR V:

1 – Como os neutrons causam mais danos no tecido mamário do que em outros tecidos, foi necessário se estimar a dose absorvida na mama das sobreviventes, decorrente do feixe de nêutrons gerados durante a explosão. Isso implica em saber em qual distância a pessoa estava do epicentro, se estava dentro ou fora de um alojamento, se tinha algum objeto ou estrutura que pudesse protegê-la, se estava de frente para o epicentro da explosão, etc. Ou seja, a validade da estimativa da dose recebida pela sobrevivente depende do quanto ela, naquela situação de caos, foi capaz de reter na memória todas essas informações.

2 – Segundo o BEIR V, o risco de uma mulher desenvolver câncer de mama depende de diversos fatores, tais como atividade hormonal, idade no momento da exposição, idade na qual a paciente entrou na menarca⁵³, idade da primeira gravidez plena⁵⁴, número de filhos⁵⁵, tempo de lactação⁵⁶, estilo de vida⁵⁷. Ou seja, a validade da comparação, do número

⁵³ Segundo dados do BEIR V, o risco relativo é 2.2 para mulheres (Shanghai) que entraram na menarca antes dos 12 anos comparado com mulheres que alcançaram a menarca após 18 anos;

⁵⁴ Mulheres com 15-16 anos, com gravidez plena, têm 35-40% do risco das mulheres sem filhos, e aproximadamente 30% do risco das mulheres que tiveram o primeiro filho após os 30 anos;

⁵⁵ Quando relacionado a outros fatores (amamentação, menarca...), o risco de mulheres com 5 filhos foi 0.39, comparado c/ as que tiveram apenas um;

⁵⁶ Mulheres com média de 50.5 anos, que tiveram lactação por mais de 9 anos, apresentaram um risco de 0.37, comparado com aquelas que lactaram por mais de 3 anos;

⁵⁷ A incidência é 5 a 6 vezes maior na América do Norte e norte da Europa do que na Ásia e África. Este efeito está mais provavelmente relacionado ao estilo de vida e especialmente ao efeito da dieta. Evidências experimentais sugerem que a ingestão calórica total é um fator de risco mais importante do que a concentração

de mortes por câncer de mama entre os sobreviventes e entre a população controle, depende do quanto esses fatores são iguais nas duas populações. A população americana, usada como controle, teria as mesmas características de uma população oriental que sofreu aquela tragédia?

Pelo menos três outros questionamentos podem ser feitos com relação ao estudo dos sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki. O primeiro diz respeito ao fato de que, nessas cidades, as doses, e as taxas de dose, eram altas e, como questionado pelo relatório francês, os riscos ali obtidos não podem ser extrapolados facilmente para uma situação onde essas grandezas tenham baixos valores. O segundo diz respeito à poeira tóxica gerada: Considerando que as explosões das duas bombas, com potências, segundo Barroso (2009), de 12.500 e 20.000 toneladas de TNT, respectivamente, liberou uma quantidade de energia fabulosa, incinerando diversas substâncias tóxicas e dispersando-as na atmosfera, como ter segurança de que elas não desempenharam papel algum no aumento do número de casos de câncer entre os sobreviventes?

Apenas para ilustrar o fato de que essa pergunta não parece ter uma resposta fácil, Bonis (2012) se reporta a dois estudos sobre os bombeiros sobreviventes do ataque terrorista de 11 de setembro, no World Trade Center (WTC). Um dos estudos foi publicado no final de 2011, pelo periódico britânico *The Lancet*, e traz em sua conclusão a informação de que os bombeiros, que trabalharam durante os resgates nos escombros das torres atingidas e ficaram mais expostos à poeira tóxica, tiveram uma probabilidade 19% maior de desenvolver vários tipos de doenças, quando comparado com os profissionais não expostos. O segundo estudo, ainda sobre os bombeiros que atuaram na destruição do WTC, levou o Instituto Internacional de Mieloma a alertar para o fato de que muitos bombeiros, na faixa de 45 anos, apresentaram mieloma múltiplo, um tipo de câncer sanguíneo cujos dados epidemiológicos revelam ser uma doença mais comum na faixa dos 60 anos; Bonis (2012), citando Paul Richardson, professor da Universidade de Harvard, arremata a informação, afirmando que “os cientistas agora acreditam que a doença também esteja relacionada a causas externas, como a exposição à poeira tóxica e substâncias químicas”.

de gordura da dieta. Em mulheres que pesavam mais de 60 kg, o risco foi 2,4 vezes maior do que em mulheres com peso ≤ 45 kg (BEIR V, p. 258-266).

O estudo que motivou a reportagem foi apresentado por Moline (2009), no *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, e assinala que a destruição do WTC produziu uma mistura extremamente complexa de substâncias cancerígenas na atmosfera (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, amianto, benzeno, bifenilos policlorados, dioxinas, etc), “especialmente nas primeiras 24 a 48 horas após os ataques”. Considerando que a destruição de apenas dois prédios foi capaz de gerar uma quantidade significativa de substâncias cancerígenas, o que pensar da destruição de duas cidades? Como descartar, com segurança, a possibilidade de que essas substâncias não contribuíram, direta ou indiretamente, para o aumento do número de casos de câncer entre os sobreviventes?

O outro questionamento que se pode fazer, sobre o estudo dos sobreviventes em Hiroshima e Nagasaki, está relacionado ao trauma vivido pelos sobreviventes, que viram sua cidade e muitos familiares e amigos serem fulminados, além de terem de conviver, o resto de suas vidas, com a expectativa de morrerem devido à radiação: Essa forte situação de *stress* não desempenhou papel algum no aumento dos casos de câncer entre os sobreviventes? Essa também não parece ser uma pergunta de resposta fácil, principalmente se considerarmos o trabalho de Keinan-Boker (2009), publicado no *Journal National Cancer Institute*, que estudou os judeus sobreviventes do holocausto; ela comparou os casos de câncer no grupo de judeus que fugiram da Europa, antes ou durante a Segunda Guerra mundial (portanto foram menos exposto ao *stress* da guerra), com o grupo de judeus que ficou na Europa durante todo o período em que a guerra se desenrolou (e, consequentemente, ficou mais exposto ao *stress* do conflito). O estudo concluiu que a incidência de todos os tipos de câncer, particularmente os de mama e de reto, foi maior no grupo de judeus mais expostos aos traumas da guerra.

Os estudos dos bombeiros que atuaram no resgate de vítimas da destruição do WTC, e dos judeus que passaram pelo stress da II Guerra Mundial, além de não poderem ser encarados como definitivos são posteriores à publicação dos relatórios da academia americana e, sendo assim, não podiam, de fato, serem analisados pelos comitês. Assim, para não incorrer no risco de anacronismo, é necessário destacar que não se pode imputar nenhuma crítica ao relatório americano por não considerar esses fatores. Esse fato, entretanto, não implica que se deva ignorar que o câncer é uma doença que possui várias causas e que os estudos apresentados ofereceram bons argumentos para se considerar que os questionamentos (quanto às substâncias cancerígenas, dispersadas na atmosfera pela

explosão, e quanto ao forte *stress* vivido pelos sobreviventes) são pertinentes e que, assim, se faz necessário que os próximos relatórios procurem analisá-los, para descartar, com segurança, a possibilidade de que a associação da radiação, com outros agentes, não tenha tido qualquer contribuição para o aumento dos casos de câncer.

Sobre a importância das associações de substâncias para a carcinogênese, Tubiana (1997) cita que o papel cancerígeno do amianto, por exemplo, foi descoberto em 1970, quando se observou que a frequência dos casos de câncer, na pleura e no pulmão, aumentaram nos indivíduos expostos profissionalmente. Entretanto, o autor chama a atenção para o fato de que o aumento da frequência não dependia apenas do **amianto**, mas também, da associação com o **tabagismo**: “Com efeito, não foi observado qualquer aumento nem nos trabalhadores não fumantes expostos a fracas concentrações, nem no público”. Como o autor foi presidente do relatório da academia francesa, discutido no capítulo anterior, não foi sem sentido que, no final do relatório, foi sugerida a necessidade de mais “investigação de mecanismos biológicos desencadeados pela combinação de agentes genotóxicos”.

6.3 A “estimativa” do risco de morte por câncer induzido pela mamografia

Tendo esse conjunto de incertezas como pano de fundo, avancemos no propósito de “estimar” o risco de morte por câncer radio-induzido em exames de mamografia, a partir dos dados apresentados pelo BEIR V, e acessemos novamente os dados da tabela 4-3, onde são mostrados os excessos de mortalidade por câncer, na população sobrevivente das bombas atômicas:

TABLE 4-3 Cancer Excess Mortality by Age at Exposure and Site for 100,000 Persons of Each Age Exposed to 0.1 Sv (10 rem)

MALES						
Age at Exposure	Total	Leukemia	Nonleukemia	Respiratory	Digestive	Other
5	1,276	111	1,165	17	361	787
15	1,144	109	1,035	54	369	612
25	921	36	885	124	389	372
35	566	62	504	243	28	233
45	600	108	492	353	22	117
55	616	166	450	393	15	42
65	481	191	290	272	11	7
75	258	165	93	90	5	—
85	110	96	14	17	—	—
Average ^a	770	110	660	190	170	300
FEMALES						
Age at Exposure	Total	Leukemia	Nonleukemia	Breast	Respiratory	Digestive
5	1,532	75	1,437	129	46	655
15	1,566	72	1,494	295	70	653
25	1,129	29	1,149	52	125	679
35	557	46	511	43	208	73
45	541	73	468	20	277	71
55	505	117	388	6	273	64
65	386	146	240	—	172	52
75	227	127	100	—	72	26
85	90	73	17	—	15	3
Average	810	80	730	70	150	290

^aAverages are weighted for the age distribution in a stationary population having U.S. mortality rates and have been rounded to the nearest 10. See also footnotes to Table 4-2. 90% confidence interval for these risk estimates are listed in Annex 4D, Table 4D-4.

Na parte da tabela referente às mulheres, a quinta coluna refere-se à mama (Breast) e a primeira coluna refere-se à idade na qual a mulher foi exposta. Pela tabela percebe-se que, de cada 100.000 mulheres, expostas a 0,1 Sv quando tinham 35 anos, verificou-se um excesso de 43 mortes por câncer de mama; quando a exposição ocorreu aos 45 anos, o excedente foi de 20 mortes; para as mulheres que tinham 55 anos no momento da explosão, o excesso foi de 6 mortes. Aceitando o modelo LNT, se a exposição fosse de 1 Sv, teríamos um risco dez vezes maior: 430 mortes/Sv, 200 mortes/Sv e 60 mortes/Sv, para as mulheres expostas aos 35 anos, 45 anos e 55 anos, respectivamente. Na ausência de dados diretos, será estimado, para mulheres expostas aos 40 anos, por interpolação, um risco de 315 mortes/Sv.

Como a dose glandular média para uma incidência de mamografia depende de vários aspectos, será usado como nível de referência de dose o valor de 2,5 mGy, o que equivale a 0,0025 Sv (IAEA, 2009). Será considerada uma média de quatro incidências por paciente⁵⁸, o que representará uma dose efetiva média de 0,01 Sv. Assumindo o modelo linear, sem limiar de dose, defendido pelo BEIR V, multiplicaremos essa dose pelo fator de risco ($0,01 \times 315$) e ‘concluiremos’ que ocorrerá cerca 3,15 mortes por câncer de mama radio-induzido, para cada grupo de 100.000 mulheres, de 40 anos, que se submeta a um exame de mamografia. O mesmo cálculo, para mulheres de 35 anos, levaria a um risco de ($0,01 \times 430$) 4,3 mortes e, para as mulheres de 55 anos, levaria a um risco de câncer radio-induzido de ($0,01 \times 60$) 0,6 mortes, o qual é um risco cerca de cinco vezes menor do que o estimado para mulheres de 40 anos.

Ou seja, considerando que a taxa bruta de mortalidade por câncer de mama é da ordem de 12,9 mortes para cada 100.000 mulheres (INCA, 2011), é correto concluir que um programa de rastreamento, baseado em mamografias, pode elevar esse número para a taxa de ($12,9 + 3,15$) 16,05 óbitos por câncer de mama, para cada 100.000 mulheres de 40 anos, e de ($12,9 + 0,6$) 13,5 óbitos para mulheres de 55 anos. Será essa a razão que faz com que haja controvérsia em torno da aceitação do programa de rastreamento mamográfico, em mulheres da faixa etária de 40 anos que não pertençam ao grupo de risco?

⁵⁸ Normalmente são feitas duas incidências por paciente (crâneo-caudal e medial-obliqua), porém existem casos nos quais incidências complementares são necessárias; não se pode descartar, também, incidências repetidas por erros ou inadequação da imagem; assim, para essa estimativa do risco de morte por câncer radio-induzido pela mamografia, serão consideradas quatro incidências por paciente, gerando uma dose efetiva média na mama de 0,01 Sv por exame.

6.4 O debate em torno do rastreamento mamográfico

Sem se referir aos riscos de câncer de mama radio-induzidos, o documento “Controle do Câncer de Mama – Documento de Consenso”, de 2004, reuniu recomendações conjuntas do Instituto Nacional do Câncer-INCA, e do Colégio Brasileiro de Mastologia-CBM. Sobre o uso da mamografia para rastreamento de câncer de mama, o documento recomenda fazê-lo a partir dos 35 anos, para mulheres do grupo de risco⁵⁹ e entre 50 e 69 anos, para mulheres fora do grupo de risco (INCA, 2004, p. 7). Por sua vez, a Sociedade Brasileira de Mastologia, em 2008, divergiu, fazendo as seguintes recomendações:

- 1) A mamografia deve ser realizada anualmente em mulheres assintomáticas a partir dos 40 anos.
- 2) A mamografia pode ser realizada anualmente em mulheres de alto risco após 35 anos.
- 3) A mamografia pode ser realizada anualmente em mulheres com predisposição genética após os 25 anos.
- 4) Os benefícios do rastreamento mamográfico são superiores ao teórico risco da radiação.
- 5) Deveremos oferecer o rastreamento às mulheres idosas enquanto tiverem condição de se locomover aos centros de atenção à saúde e de receber tratamento. (SBM, 2008, p.7)

A quarta recomendação afirma que “Os benefícios do rastreamento mamográfico são superiores ao teórico risco da radiação”. O termo ‘teórico’, nesse contexto, pode ser interpretado como um resultado possível, previsto a partir da modelagem feita com os dados dos sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki, mas que não está sendo observado entre as pacientes que se submetem às mamografias. Por essa e outras razões, o fato é que SBM (2008) discorda das recomendações do Instituto Nacional do Câncer e propõe uma faixa de idade mais ampla para o rastreamento.

O debate se intensificou ainda mais com a entrada em cena do USPSTF (*U.S. Preventive Services Task Force*) que recomendou, em 2009, contra o rastreamento com mamografias em mulheres com idade entre 40 e 49 anos, admitindo o rastreamento, bianualmente, para mulheres entre 50 e 74 anos:

Os resultados prejudiciais do rastreamento para câncer de mama incluem danos psicológicos, testes de imagens e biopsias em mulheres sem câncer, e o

⁵⁹ São consideradas mulheres de risco elevado aquelas com história de câncer de mama na família ou com lesão mamária proliferativa com atipia comprovada em biópsia.

transtorno de resultados falso-positivos. Ademais, é necessário também se considerar os danos associados com tratamento de câncer que não se tornariam clinicamente aparentes durante a vida da mulher (*overdiagnosis*), bem como os danos desnecessários de tratamentos precoces de câncer de mama, que se tornariam clinicamente aparentes, mas não encurtariam o tempo de vida da mulher. Exposição à radiação (dos testes radiológicos) embora de menor importância, é também uma consideração. (USPSTF, 2009, p. 716-726)

Como pode ser visto na citação, os argumentos principais da força tarefa americana contra o rastreamento mamográfico, na faixa entre 40 e 49 anos, dizem respeito aos transtornos psicológicos originados a partir de resultados falso-positivos, ou de resultados positivos que não trariam consequências efetivas para vida da mulher. São citados, ainda, os transtornos físicos das intervenções médicas desnecessárias que seriam feitas (biopsias, terapias, etc). É importante salientar, na tentativa de encaminhar a resposta à pergunta formulada no início do capítulo, que o risco da exposição à radiação foi, explicitamente, considerado como sendo de “menor importância”, pela força tarefa americana.

Em 31 de janeiro de 2011, a Sociedade Brasileira de Mastologia (SBM), a Sociedade Brasileira de Cancerologia (SBC), o Colégio Brasileiro de Cirurgiões (CBC), e o Colégio Brasileiro de Radiologia (CBR), produziram, em conjunto, o documento *Diretrizes Clínicas na Saúde Suplementar – Câncer de Mama: Prevenção Secundária*⁶⁰, onde o tema é discutido, em profundidade, com o objetivo de orientar os profissionais e de avaliar a eficácia da prevenção do câncer de mama por meio do rastreamento populacional. Em sua introdução, afirma-se que o risco estimado é de 49 casos para cada 100.000 mulheres e que, muito embora o prognóstico seja bom, observa-se que o número de mortes vem aumentando no Brasil, provavelmente devido ao diagnóstico tardio. Após a introdução, o trabalho é iniciado com a pergunta: “o emprego da mamografia na prevenção secundária do câncer de mama demonstra impacto positivo sobre a mortalidade? a partir de qual idade deveria ser indicada?”.

⁶⁰ De acordo com a página inicial do documento, as “Diretrizes Clínicas na Saúde Suplementar, iniciativa conjunta da Associação Médica Brasileira e Agência Nacional de Saúde Suplementar, tem por objetivo conciliar informações da área médica a fim de padronizar condutas que auxiliem o raciocínio e a tomada de decisão do médico. As informações contidas neste projeto devem ser submetidas à avaliação e à crítica do médico, responsável pela conduta a ser seguida, frente à realidade e ao estado clínico de cada paciente.

O documento recomenda um rastreamento “organizado”⁶¹ a partir dos 40 anos, embora reconheça que o assunto continua como “tópico de consideráveis debates, apesar de ser utilizado e recomendado por várias décadas”. O documento afirma que, em geral, os programas de rastreamentos mamográficos permitem a detecção precoce, o que auxilia no prognóstico; a implantação do programa em mulheres entre 40 e 49 anos, com exames regulares realizados em intervalos de 1 a 2 anos, reduz a mortalidade por câncer de mama. Entretanto, diz o documento, “controvérsias existem com relação ao verdadeiro impacto produzido pelo rastreamento uma vez que é possível observar reduções variáveis na taxa de mortalidade”. Essa redução pode variar de 15% até mais de 30%, dependendo do período de rastreamento e de características da população estudada, embora os resultados só apareçam, em média, seis anos após o programa (SBM, 2011). Na faixa de 40 a 49 anos, o risco de um achado falso-positivo a cada cinco exames é de 30%, o que requer que se leve em conta os fatores de risco de cada mulher, para que os benefícios do programa de rastreamento sejam mais efetivos:

Portanto, anteriormente à decisão clínica de se iniciar o rastreamento mamográfico, o médico assistente deve acessar cuidadosamente o risco para o desenvolvimento do câncer de mama em determinado paciente, uma vez que este pode, no período de cinco anos, apresentar uma variação de aproximadamente 0,4% para mulheres com 40 anos de idade e sem fatores de risco a 6% para aquelas com idade superior aos 48 anos portadoras de fatores de risco [...]. Outro ponto que se deve estar atento ao indicar o exame mamográfico, refere-se à avaliação dos riscos e danos, tais como indicação de biopsias desnecessárias e tratamento de lesões que não se tornariam clinicamente significativas, maior probabilidade de se encontrar resultados falso-positivos, podendo estes variar de 0,9% a 6,5%, levando a quadros de ansiedade ou depressão e exposição à radiação, bem como dos benefícios, expressos como detecção precoce do câncer de mama, de acordo com as características individuais de cada paciente [...]. Sendo assim, uma estratégia personalizada para prevenção secundária do câncer de mama deve ser instituída, discutindo-se os possíveis riscos e benefícios, possibilitando identificar aquelas mulheres que se beneficiarão realmente da mamografia (SBM, 2011, p.4)

Embora recomende o uso de um rastreamento a partir dos 40 anos, o documento afirma que, antes da decisão de iniciá-lo, o médico “deve acessar cuidadosamente o risco

⁶¹ Rastreamento organizado é aquele que estrutura suas ações nos seguintes componentes essenciais : “**Populacional**: definição e convocação da população-alvo. **Exames de rastreamento**: garantia da oferta adequada de exames e organização de programas de qualidade. **Serviços de diagnóstico e tratamento**: garantia da oferta de serviços diagnósticos e tratamento. **Coordenação**: organização das referências e fluxos e monitoramento da cobertura, qualidade, acesso, oferta de serviços e resultados”. O exemplo de um rastreamento desse tipo foi iniciado em 2009, em Curitiba, numa parceria entre a prefeitura dessa cidade e o INCA, tendo como público alvo mulheres na faixa etária de 50 a 59 anos (INCA, 2011).

para o desenvolvimento do câncer de mama em determinada paciente”.⁶² Outro aspecto que o documento ressalta é a necessidade de se avaliar os danos que o rastreamento mamográfico pode trazer, citando, da mesma forma que a força tarefa americana, os problemas decorrentes de resultados falso-positivos (como as biopsias desnecessárias, ansiedade, depressão), além de tratamentos desnecessários de lesões que não teriam manifestações clínicas significativas. O risco devido à radiação ionizante também é lembrado, porém sem detalhes adicionais ou qualquer tentativa de dimensioná-lo, conferindo-lhe um menor ou maior grau de importância.

As informações trazidas nesse capítulo mostram que existe, de fato, uma controvérsia em torno da escolha da melhor idade para se iniciar um programa de rastreamento mamográfico. O Instituto Nacional do Câncer recomenda o rastreamento a partir dos 50 anos, enquanto a Sociedade Brasileira de Mastologia recomenda a partir dos 40 anos. Porém, o foco principal do debate é o impacto positivo que o rastreamento pode trazer (principalmente redução da mortalidade), quando comparado com os danos (principalmente resultados falso-positivos). No Canadá, por exemplo, o risco de uma mulher de cinquenta anos contrair câncer de mama nos próximos dez anos é de 2,3%, enquanto que o risco de uma mulher, de quarenta anos, é de 1,3 %, quase metade (INCA, 2011); o impacto dessa diferença de riscos é imediata: a redução da mortalidade observada em programas de rastreamentos com público alvo na faixa entre 50 e 59 anos chega a 35%, o que mostra, de forma clara, que as mulheres nessa faixa etária são mais beneficiadas com o programa de rastreamento do que as mulheres de 40 anos. Entretanto, parece ser claro, também, que os benefícios dessas últimas (redução da mortalidade entre 15% e 30%) está longe de ser desprezível e de justificar a exclusão delas do programa de rastreamento.

Deve-se observar, portanto, que o núcleo da controvérsia não é o risco de câncer induzido pelas radiações ionizantes, oriundas da mamografia. A Sociedade Brasileira de Mastologia refere-se a esse risco como “teórico” e diz que ele é inferior aos benefícios do rastreamento; a força tarefa americana, nessa mesma direção, considera esse risco como sendo de “menor importância” para a tomada de decisão quanto aos rastreamentos

⁶² Os fatores de risco citados são: “a idade da mulher a ser submetida ao rastreamento (risco relativo de 6,5 para mulheres com idade > 50 anos), história obstétrica (risco relativo variando de 1,3 a 2,2 para primiparidade com mais de 30 anos), idade da menarca (menarca antes dos 12 anos demonstra risco relativo de 1,2), história familiar para o câncer de mama (câncer de mama em parente de 1º grau demonstra risco relativo variando de 1,4 a 13,6) bem como história pregressa de biopsia de mama” (SBM, 2011).

mamográficos (USPSTF, 2009). Essa consideração não deixa de ser surpreendente, uma vez que se criou uma cultura de medo tão grande das radiações ionizantes que soa bastante incomum o reconhecimento explícito de que seus efeitos são de “menor importância”. Por outro lado, considerando-se que a força tarefa americana também recomendou contra se ensinar a mulher a fazer autoexame de mama e, evidentemente, este procedimento não é carcinogênico, constataremos que ela foi coerente ao não aproveitar a “fama ruim” da radiação e confundir a opinião pública. A consequência desse comportamento foi fortalecer a interpretação de que os argumentos importantes, embora não estejam explícitos, parecem estar mais relacionados com a falta de estrutura médico/hospitalar e com o impacto financeiro que programas de rastreamentos (que utilizem ou não radiações ionizantes) podem trazer para os gestores de sistemas de saúde, público ou privado, principalmente aqueles impactos gerados pelos exames e tratamentos desnecessários que se seguem a achados falso-positivos ou positivos sem significado clínico.

Problemas dessa natureza também existem, por exemplo, nos exames preventivos contra o câncer de próstata, através da avaliação do antígeno prostático específico (PSA), que pode ser feito em qualquer laboratório clínico. Uma das diferenças é que a manutenção de um programa de rastreamento mamográfico é mais dispendiosa e complexa, uma vez que exige clínicas especializadas, mastologistas, técnicos, mamógrafos, controle de qualidade⁶³, etc, além do suporte médico/hospitalar necessário para viabilizar a complementação do diagnóstico e a efetivação do tratamento das pacientes com resultados positivos. Sob esse aspecto, é honesto reconhecer que a rede pública de saúde não dispõe da estrutura médica/hospitalar necessária para que as mulheres tirem um proveito pleno dos benefícios de um programa de rastreamento de câncer de mama. Porém, enquanto o foco do problema for o impacto dos resultados falso-positivos, a estruturação do sistema público de saúde, imprescindível para oferecer o suporte ao programa de rastreamento, ficará sempre em segundo plano.

Como convencer a mulher, dentro desse quadro, de que é mais importante para a sua saúde que ela abra mão das vantagens de um diagnóstico precoce (em uma doença que é

⁶³ Navarro (2007, 2009) foi exaustivo em demonstrar a complexidade que envolve a área de radiodiagnóstico como um todo e, em particular, a área de mamografia. Uma consulta à planilha de avaliação de unidades de mamografias, proposta pelo autor, mostra os vários itens que precisam estar em conformidade para uma garantia mínima de que o serviço funcione a contento.

a sétima que causa mais mortes entre as mulheres brasileiras e a segunda em mortes por câncer), do que enfrentar os transtornos de resultados **falso-positivos**? Por que não dedicar igual atenção às possíveis ocorrências de resultados **falso-negativos**, aqueles, nos quais, um pequeno tumor deixa de ser detectado por falta de controle de qualidade adequado (equipamentos fora de conformidade ou equipe despreparada), e a paciente sai do consultório tranquilamente, achando que está tudo bem com sua saúde? Essa situação é de alto risco para a mulher, pois, mesmo com um tumor se desenvolvendo em sua mama, o laudo “negativo” a deixa desocupada, retardando o tratamento, e prejudicando o prognóstico. Não se pode perder de vista que a incidência de câncer de mama é grande (49 para cada 100.000 mulheres)⁶⁴ e que o número de mortes pela doença vem crescendo no Brasil, segundo dados da Sociedade Brasileira de Mastologia.

Trata-se de problemas complexos, com muitos interesses envolvidos, e se espera que o Estado desenvolva a capacidade de resolvê-los. Entretanto, para o propósito desse capítulo, se faz necessário apenas que se assinale que o risco de câncer de mama radio-induzido não é o principal argumento contra o rastreamento mamográfico a partir dos 40 anos e até foi considerado, pela força tarefa americana, como sendo de “menor importância” para a tomada de decisão em relação ao rastreamento. É fácil entender esse posicionamento quando se recupera a informação de que a redução de mortalidade por câncer de mama, em pacientes na faixa de 40 a 49 anos de idade (que se submetem ao rastreamento com mamografia), pode chegar até mais de 30%. Como essa redução é possível se, pela estimativa feita, deveriam morrer mais mulheres em virtude do acréscimo de mortes provocado pelo câncer de mama radio-induzido?

Uma resposta possível, e aparentemente óbvia, é que o diagnóstico precoce, ocasionado pelo rastreamento, é tão eficiente que seu saldo é positivo mesmo com as mortes “provocadas” por câncer radio-induzido. O problema é que essa resposta não explica o seguinte fato: as mulheres de 55 anos apresentam um risco (de morte por câncer radio-induzido) cinco vezes menor do que as mulheres de 40 anos; entretanto, a redução de mortalidade, do programa de rastreamento das mulheres de 55 anos, é “apenas” 1,17 vezes maior do que o observado no rastreamento das mulheres de 40 anos. Ou seja, uma vez que “haverá” menos mortes por câncer de mama radio-induzido, o programa de rastreamento

⁶⁴ Segundo INCA (2011) a incidência é da ordem de 44 casos por 100.000 mulheres

deveria reduzir bem mais a mortalidade na faixa dos 55 anos. Essa observação fortalece outra resposta, também possível: o risco de câncer de mama radio-induzido, deduzido a partir dos dados apresentados no BEIR V, está superestimado e, por isso, as 3,15 mortes (por 100.000) devem ser encaradas como uma previsão teórica que não se confirmou, o que parece ser um bom indicador de que os riscos de câncer radio-induzido, que o BEIR V encontrou na população de Hiroshima e Nagasaki, não são facilmente extrapoláveis para outras situações, principalmente utilizando o modelo LNT.

Assim, não obstante a crença comum de que a restrição do rastreamento mamográfico tem como objetivo principal proteger a mulher contra o câncer de mama radio-induzido, os resultados dos rastreamentos não estimulam essa preocupação, de forma que esse está longe de ser o argumento principal contra o procedimento. Uma vez que a mamografia é um dos exames de radiodiagnóstico que mais expõe os pacientes (ficando abaixo da tomografia computadorizada, da fluoroscopia e de algumas poucas incidências laterais de exames da coluna e da pélvis), é possível dizer, com muito mais razão, que estimativas de morte, por câncer radio-induzido, feitas para pacientes que se submetem à maior parte dos exames de radiodiagnósticos⁶⁵ convencionais, são frágeis o suficiente para serem vistas com muita cautela. Não é por outra razão que a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), como será discutido no próximo capítulo, não recomenda o uso dos fatores de risco, nem o uso do modelo LNT, para fazer previsões de número de mortes por câncer radio-induzido nem em exames radiológicos nem em acidentes radioativos.

⁶⁵ As doses dependem do tipo de exame e do tipo de incidência. A portaria MS453/98 estabelece como nível de referência de dose, na pele, os seguintes valores, em mGy: Coluna lombar: Antero-posterior(AP) {10 mGy}, Lateral (LAT) {30 mGy}, JLS {40 mGy}; Abdome, Urografia e Colecistografia (AP) {10 mGy}; Pelve (AP) {10 mGy}; Bacia (AP) {10 mGy}; Tórax (AP) {0,4 mGy}, (LAT) {1,5 mGy}; Coluna Torácica (AP) {7 mGy}, (LAT) {20 mGy}; Odontológico Periapical {3,5 mGy}, (AP) {5 mGy}; Crânio (AP) {5 mGy}, (LAT) {3 mGy}, Mama CC com grade {10 mGy}; Tomografia computadorizada de Cabeça {50 mGy}; Tomografia computadorizada de Coluna Lombar {35 mGy}. Como os raios X usados em exames de radiodiagnóstico possuem fator de qualidade igual a 1, 1 mGy representa 1 mSv de dose equivalente. Os valores apresentados são níveis de referência de dose na entrada do campo, a dose média absorvida pelo órgão como um todo é bem menor do que esses valores.

CAPÍTULO VII - Desdobramentos da controvérsia

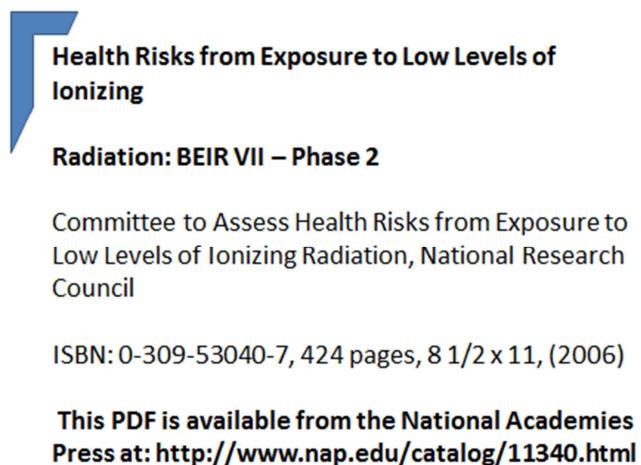
Embora tenha raízes na década de 1950, a controvérsia começa a ser mais visível no final da década de 1960. Desde então o interesse pelo estudo dos efeitos das radiações ionizantes, em doses baixas, vem aumentando significativamente nas últimas décadas. Na pesquisa feita no portal de periódicos da CAPES, usando a ferramenta BUSCA para a frase *Biological effects of ionizing radiation in low doses*, foram encontrados 9920 citações sendo que, apenas na plataforma Web of Science, foram encontradas 517. Situando essas citações, por década, encontramos o seguinte quadro:

Período	Nº de citações
1950-1959	79
1960 -1969	152
1970-1979	419
1980-1989	1245
1990-1999	2112
2000-2009	4330

Esses dados revelam que o interesse científico pelo tema vem quase que duplicando, década a década, e grande parte desse interesse se deve ao acirramento do debate. Nesse capítulo, serão analisados os desdobramentos da controvérsia, nos últimos anos, na academia americana, na academia francesa, no *Bulletin of the Atomic Scientists* e entre os ambientalistas. Os resultados dos estudos da população exposta em Chernobyl, aspecto sistematicamente lembrado ao longo desse estudo, também serão analisados.

7.1 O relatório BEIR VII, da academia americana

Dezesseis anos após a publicação do BEIR V, a academia americana, através do *National Research Council*, publicou, em 2006, um novo relatório sobre o tema, o BEIR VII:



O relatório, de 424 páginas, apresentado com organização, profundidade e clareza elogiáveis, traz, em sua essência, poucas diferenças em relação ao relatório anterior. Uma delas, é a análise de estudos que indicam a possibilidade de efeitos horméticos, um tema que ainda encontra muita resistência no meio acadêmico. O comitê relaciona Edward Calabrese, PhD da *University of Massachusetts*, que publicou um artigo sobre o assunto na *Nature* (CALABRESE, 2003), como um dos cientistas externos que foi convidado para discutir o tema. Diferentemente do BEIR V, que não menciona sequer a palavra ‘hormesis’ em seu relatório, o BEIR VII dedica um apêndice inteiro à discussão do assunto. Após analisar vários trabalhos, o relatório assinala que alguns estudos, isoladamente, mostram associações positivas, enquanto outros mostram associações negativas entre a radiação e agravos à saúde. Não obstante esse fato, ele afirma que o peso das evidências não leva à interpretação de que baixas doses de radiação sejam benéficas e conclui dizendo que a suposição de que os efeitos horméticos possam ser superiores aos efeitos prejudiciais, em humanos expostos à radiação, não se justifica até aquele momento. A possibilidade desses efeitos é sequer citada na conclusão do relatório, transcrita abaixo:

Apesar dos desafios associados com a compreensão dos efeitos sobre a saúde de baixas doses de radiação de baixo LET, o conhecimento corrente permite várias conclusões. O comitê BEIR VII conclui que a evidência científica atual é

consistente com a hipótese de que existe uma relação linear de dose-resposta entre a exposição à radiação ionizante e o desenvolvimento de câncer sólido induzido pela radiação em seres humanos. O comitê julga mais improvável que exista um limite para a indução do câncer, mas observa que a ocorrência de câncer radio-induzido em doses baixas será pequena. A comissão sustenta que os outros efeitos na saúde (como doença cardíaca e acidente vascular cerebral) ocorrem em altas doses de radiação, mas dados adicionais devem ser recolhidos antes que uma avaliação de qualquer ligação possível entre doses baixas de radiação e os efeitos não oncológicos na saúde possa ser feita. Além disso, a comissão conclui que embora os efeitos adversos à saúde em crianças de pais expostas (atribuível a mutações radio-induzidas) não tenham sido encontrados, existem dados abrangentes sobre mutações radio-induzidas transmissíveis em camundongos e outros organismos. Assim, não há razão para acreditar que os seres humanos ficaria imune a esse tipo de dano. (BEIR VII, 2006, p. 10)

Os termos iniciais da conclusão mostram certa cautela, ao destacar que a compreensão dos efeitos sobre a saúde, de baixas doses de radiações de baixo LET,⁶⁶ é um desafio e, principalmente, ao reconhecer que o conhecimento atual sobre esses efeitos “permite várias conclusões”. Isso representa uma mudança de “tom” em relação à conclusão do BEIR V, que parecia mais definitiva e, portanto, oferecia menos abertura para discussões. Não obstante esse fato, o BEIR VII mantém a posição em favor do modelo linear, ao concluir que “*a evidência científica atual é consistente com a hipótese de que existe uma relação linear de dose-resposta entre a exposição à radiação ionizante e o desenvolvimento de câncer sólido induzido*”.

Em relação à existência ou não de um limiar de dose o relatório “*julga mais improvável que exista um limite para a indução do câncer*”. Assim, mesmo considerando que “*a ocorrência de câncer radio-induzido em doses baixas será pequena*”, o relatório mantém a posição em favor da não existência de um limiar de dose para a indução de câncer. Quando se confronta esses termos com os usados no relatório BEIR V, que afirmara categoricamente que “*os novos dados não contradizem a hipótese, pelo menos no que diz respeito à indução do câncer e os efeitos genéticos hereditários, que a freqüência de tais efeitos aumenta com baixo nível de radiação de forma linear, sem limiar de dose*”, evidencia-se a diferença de parcimônia entre as conclusões dos dois relatórios, com o BEIR VII sendo menos contundente do que o BEIR V, em relação ao modelo LNT.

⁶⁶ São consideradas radiações ionizantes de baixo LET (*Linear Energy Transfer*) os fótons (raios X e raios gama), a radiação beta e os feixes de elétrons; essas radiações, ao interagirem com um meio material, transferem **baixa** quantidade de energia por unidade de comprimento de suas trajetórias. A radiação Alfa, por exemplo, transfere vinte vezes mais energia, por unidade de comprimento, do que as radiações X, gama e beta; como os danos biológicos são proporcionais à transferência linear de energia do feixe, pode-se dizer que a radiação alfa é cerca de vinte vezes mais capaz de provocar efeitos biológicos do que as radiações de baixo LET.

Continuando com o propósito de confrontar as duas conclusões, observa-se que, no BEIR V, não apareceu nenhuma referência às doenças cardíacas e vasculares induzidas pela radiação. O fato do BEIR VII sustentar “*que os outros efeitos na saúde (como doença cardíaca e acidente vascular cerebral) ocorrem em altas doses de radiação*” soa estranho, primeiro porque o foco do trabalho são as doses baixas; segundo, porque, na sequência, o relatório afirma que “*dados adicionais devem ser recolhidos antes que uma avaliação de qualquer ligação possível entre doses baixas de radiação e os efeitos não oncológicos na saúde possa ser feita*”. Ora, se dados adicionais devem ser recolhidos, por que não aguardar esses dados antes de fazer constar essa especulação na conclusão do relatório? Se, pelo que foi discutido no capítulo anterior, já parece ser extremamente difícil se afirmar, com segurança, que o excesso de casos de câncer entre os sobreviventes das bombas foi causado **exclusivamente** pelas radiações, o que dizer de doenças cardiovasculares, que possuem tantas causas e que estão fortemente relacionadas com genética, alimentação, estilo de vida, nível de *stress*, etc? Com a inclusão desse tema, sem dados concretos para justificá-los em doses baixas, o comitê termina abrindo espaço para as críticas que dizem identificar, em muitos estudos, um viés de forma a manter, permanentemente, uma expectativa de temor em torno da radiação.

Essa impressão parece ser reforçada quando o BEIR VII conclui que, embora os efeitos adversos, atribuíveis a mutações radio-induzidas, não tenham sido encontrados em humanos, “*existem dados abrangentes sobre mutações radio-induzidas transmissíveis em camundongos e outros organismos. Assim, não há razão para acreditar que os seres humanos ficaria imune a esse tipo de dano*”. Sobre esse assunto, o BEIR V declarou, na conclusão, simplesmente que “*...alterações de genes e cromossomos permanecem para ser melhor documentadas...*”. Aqui parece ter havido uma inversão, visto que esta afirmação parece mais cautelosa do que a apresentada no BEIR VII. Soa estranho, mesmo não tendo sido encontrado nenhum efeito adverso no curso de 16 anos a mais de pesquisas em seres humanos, afirmar que “*não há razão para acreditar que os seres humanos ficariam imunes a esse tipo de dano*”. Essa ‘crença’ é bem questionável pois não são poucos os efeitos que ocorrem em animais e não são observados nos seres humanos. O fato da mutação radio-induzida ter sido observada em outros organismos não era desconhecido pela comissão que elaborou o BEIR V, logo, essa ‘crença’ pareceria mais razoável se fosse manifestada no BEIR V, diante da possibilidade de que, casos de mutações radio-induzidas em humanos,

que não tinham surgido até 1990, pudessem surgir ao longo dos anos seguintes de estudos dos sobreviventes das bombas atômicas e do acidente de Chernobyl.

7.2 Os ensinamentos de Chernobyl

A previsão teórica de que a radiação pode provocar mutação em seres humanos, bem como em outros animais, tem mobilizado muitos cientistas na direção de provar essa possibilidade. Ronald K. Chesser e Robert J. Baker, pesquisadores do Centro de Estudos da Radiação Ambiental da *Texas Tech University*, estudaram ratos silvestres que viviam em torno do local do acidente de Chernobyl. Eles encontraram uma série de variações genéticas que foram atribuídas à mutações induzidas pela radiação liberada pelo acidente. A edição de 25 de abril de 1996, da *Nature*, publicou essa pesquisa, apresentando-a como matéria de capa. Tempos depois da publicação, os pesquisadores refizeram as análises, usando, em lugar do método manual, um sequenciador automático de DNA. Mesmo repetindo o sequenciamento várias vezes os resultados encontrados não revelavam as taxas de mutações elevadas, publicadas no artigo. Os pesquisadores, a partir dessas novas análises, constataram que não se tratava, de fato, de mutações radio-induzidas mas, tão somente, de espécies diferentes do roedor. A edição de 6 de novembro de 1997 da revista publicou, de forma bastante discreta, a retratação dos pesquisadores. Recentemente eles fizeram uma avaliação do acontecimento e relataram:

...No 20º aniversário do acidente de Chernobyl novas fontes informaram, de forma desencontrada, que o desastre provocou 93.500, 70 mil, 4 mil ou apenas 31 mortes. Não conseguimos encontrar um único relato que tentasse explicar a enorme dificuldade que é determinar com precisão o número de mortes provocadas por câncer devido à precipitação de radiação de Chernobyl. A imprensa não questionou as opiniões divergentes entre os cientistas, nem os resultados contraditórios de pesquisas com animais expostos à radiação. Pelo contrário, deu voz a legisladores que questionavam por que os cientistas estavam tentando ocultar o impacto ‘real’ da radiação sobre as pessoas e o ambiente. Os pesquisadores às vezes se vêm em situação difícil, apresentando dados ou conclusões impopulares...(CHESSER, 2012, p .46)

Esse relato mostra que a pressão acadêmica por comprovar previsões teóricas, a ansiedade para obter a prioridade das comprovações e o interesse adicional que essas comprovações despertam quando são bastante ‘populares’, podem contaminar seriamente os resultados da pesquisa, levando a erros grosseiros, como os que apareceram no artigo publicado na revista *Nature*. É muito curioso que esse fato tenha acontecido em 1996, mesmo ano em que a revista *Social Text* publicou o artigo ‘*Transgredindo as fronteiras: Em direção a uma hermenêutica transformativa da gravitação quântica*’, do físico Alan Sokal. O autor, após conseguir a publicação, disse se tratar de uma sátira, um artigo feito com

conceitos físicos da ‘moda’, mas sem pé e sem cabeça, forjado, deliberadamente, para ridicularizar e mostrar quantas “bobagens” são publicadas, sem nenhum critério, pelos críticos da ciência ligados ao Programa Forte, à Filosofia da Ciência e aos filósofos ‘pós-modernos’. Chesser (2012) não precisou de nenhuma “impostura”⁶⁷, ou qualquer artifício eticamente questionável, para mostrar que cientistas sérios também publicam bobagens, mesmo em revistas conceituadas e rigorosas.

O relatório IAEA (2005), revisado por outras seis agências internacionais independentes, e por representantes dos principais países envolvidos, afirma que no mesmo ano do acidente morreram 28 pessoas com Síndrome Aguda da Radiação (SAR) e três pessoas com outras causas. Entre 1987 e 2004 morreram mais 19 pessoas que, embora tivessem sido diagnosticadas em 1986 com SAR, saíram do quadro após tratamento médico, mas vieram a óbito posteriormente, de causas variadas, mas nenhum caso de câncer; assim, algumas dessas mortes podem ou não terem tido relação com os danos causados pela radiação. Entre os mais de 4000 casos de câncer de tireoide diagnosticados entre 1991 e 1998, quinze óbitos de pessoas, que eram crianças na época do acidente, estão relacionadas com a progressão da doença. Se todos esses quinze casos forem considerados como radio-induzidos, chega-se a um total de 65 mortes relacionadas ao acidente, 43 admitidas como radio-induzidas, 19 casos podendo ou não estar relacionados com a radiação e três óbitos não relacionados com a radiação. O relatório afirma ainda que nenhum efeito adverso foi reportado em plantas ou animais que receberam uma dose acumulada menor do que 0,3 Gy.

Com relação ao câncer radio-induzido pela exposição em Chernobyl, IAEA (2005) afirma que é impossível se chegar, com alguma precisão, a uma estimativa das mortes ocorridas exclusivamente devido à radiação, e que qualquer projeção baseada nos fatores de risco, obtidos em Hiroshima e Nagasaki, é incerta devido ao fato de que a taxa de dose nessas cidades foi bem mais alta, além das diferenças genéticas, e de estilo de vida das duas populações. Não obstante essas restrições, o relatório cita que um “expert group” prevê que entre as 600.000 pessoas mais expostas (trabalhadores e residentes de áreas mais contaminadas) ocorram cerca de 4000 óbitos de câncer a mais do que os 100.000 casos

⁶⁷ O objetivo de Sokal era “atacar o cada vez mais comum abuso da terminologia científica e a irresponsável extração de ideias das ciências naturais para as ciências sociais” (SOKAL, 2010). Houve um grande debate em torno do assunto, inclusive com a presença do autor no Brasil e em vários países. Um dos desdobramentos foi a edição do livro ‘Imposturas intelectuais – O abuso da Ciência pelos filósofos pós modernos’, escrito por Sokal e Bricmont, onde Kuhn, Feyerabend, o Programa Forte e trabalhos de Latour, Lacan, Kristeva, Irigaray, entre outros, são criticados com veemência.

fatais que se espera devido a todas as outras causas. Entre as cinco milhões de pessoas que residem em áreas menos contaminadas, o relatório afirma que, devido à baixa dose acumulada, a projeção é mais “especulativa” e pode indicar um aumento inferior a 1%, o que está bem abaixo do valor que pode ser detectado pelos estudos epidemiológicos. A tabela abaixo, obtida da IAEA (2005), resume as doses recebidas:

Summary of average accumulated doses to affected populations from Chernobyl fallout		
Population category	Number	Average dose (mSv)
Liquidators (1986–1989)	600 000	~100
Evacuees from highly-contaminated zone (1986)	116 000	33
Residents of “strict-control” zones (1986–2005)	270 000	>50
Residents of other ‘contaminated’ areas (1986–2005)	5 000 000	10–20

Para propiciar um entendimento melhor do significado dessas doses, o relatório complementa:

Deve notar-se que as doses médias recebidas pelos residentes dos territórios "Contaminados" por Chernobyl são geralmente mais baixas do que as recebidos por pessoas que vivem em algumas áreas de alta radiação natural de fundo na Índia, Irã, Brasil e China (100-200 mSv em 20 anos). Pessoas que residem em áreas contaminadas de Belorússia, Rússia e Ucrânia atualmente recebem doses anuais efetivas da precipitação de Chernobyl de menos de 1 mSv, além da doses naturais de fundo. No entanto, cerca de 100 000 moradores das áreas mais contaminadas ainda recebem mais de 1 mSv [além da radiação natural] por ano devido a precipitação de Chernobyl. Embora a redução futura dos níveis de exposição seja bastante lenta, de cerca de 3 a 5% por ano, a maior parte da dose do acidente já foi acumulada. (IAEA, 2005, p.13)

Ou seja, o estudo conjunto de sete agências internacionais, com participação de representantes da Belorússia, Rússia e Ucrânia, os principais países envolvidos, conclui que as doses acumuladas, na maior parte da população envolvida, são “geralmente mais baixas” do que as recebidas por populações de áreas de alta radiação natural. Diante desses dados, e do reconhecimento explícito de que “qualquer projeção baseada nos fatores de risco, obtidos em Hiroshima e Nagasaki, é incerta devido ao fato de que a taxa de dose nessas cidades foi bem mais alta, além das diferenças genéticas, e de estilo de vida...”, não ficou muito claro por que as agências sentiram necessidade de abrirem espaço para um “expert group”, usarem um modelo questionado por elas mesmas, e fazerem uma estimativa de mais de 4000 mortes por câncer radio-induzido. Se as doses recebidas foram, de fato, da mesma

ordem de grandeza das recebidas por populações que vivem em regiões de altos níveis de radiações naturais, não seria mais razoável recorrer aos estudos epidemiológicos desses locais?

7.3 As “controvérsias” nucleares e os ambientalistas

Como não poderia deixar de ser, a controvérsia sobre o efeito das radiações em doses baixas repercutiu entre os ambientalistas, um grupo que, no auge da Guerra Fria, atuava de forma compacta e firme contra a utilização da energia nuclear, até mesmo para fins pacíficos. Com o fim da Guerra Fria, foram surgindo grupos de ambientalistas, os quais, já na sua denominação, deixava clara a posição que os mesmos tinham em relação ao uso da energia nuclear. Um dos pontos de discórdia está relacionado com os impactos do acidente de Chernobyl. O grupo denominado *Anti-nuclear & Clean Energy (ACE) Campaign*, é um exemplo. Ele publicou, em 2009, um artigo denominado *The Chernobyl Death Toll*, no qual afirma:

Advogados nucleares às vezes reivindicam que o número de mortes do desastre nuclear de Chernobyl em abril de 1986 foi 30-60 mortes.[...] Dadas as limitações dos estudos epidemiológicos, o único modo de chegar a uma estimativa do número total de canceres causados pela radioatividade liberada de Chernobyl é estimar a dose coletiva e aplicar as estimativas de risco padrão. Assim a estimativa da IAEA (1996) de uma dose coletiva de 600.000 homem-Sievert ao longo de 50 anos de *Chernobyl fallout* pode ser multiplicada pela estimativa de risco padrão de 0,04 canceres fatais por pessoa-Sievert para resultar em uma estimativa de 24.000 canceres fatais (O estudo da US National Research Council (2005) empresta peso ao modelo *Linear No Threshold* em cima do qual a estimativa de risco é baseada. O relatório das Nações Unidas 2005-06 estimou 4000 mortes eventuais entre a população altamente exposta (trabalhadores que atenderam a emergência em 1986-1987, evacuados e residentes de áreas mais contaminadas) e um adicional de 5000 mortes entre populações expostas a baixas doses na Belorússia [...]. Um relatório de 2006 do Greenpeace estimou um número de mortes de aproximadamente 93.000. (ACE, 2009)

O grupo sugere, logo no início, que aqueles que acreditarem que o acidente causou entre 30 e 60 mortes devem ser vistos com suspeição, visto que eles são “Advogados nucleares”. Ou por suspeição ou por limitação dos estudos epidemiológicos, o “único modo” de se chegar a um número “confiável” é estimar a dose coletiva e multiplicá-la pelo fator de risco de 0,04 canceres fatais por homem-Sievert, sugerido pela ICRP. Aqui há dois dados relevantes, primeiro o uso de uma grandeza questionável, uma vez que, como destacado na análise do trabalho francês, a dose coletiva permite que doses individuais baixas sejam multiplicadas por grandes populações, transformando-se em doses “coletivas” altas; segundo, o fator de risco indicado é metade do sugerido pelo BEIR V; a razão é que a ICRP

divide por dois, o fator de risco derivado dos estudos dos sobreviventes das bombas nucleares, por reconhecer que o fator de risco obtido naquele estudo foi em situação de alta taxa de dose.

A estimativa resulta em 24.000 canceres fatais, e ela é baseada na dose coletiva de 600.000 homem-Sievert e no modelo LNT, modelo esse, como assinala o grupo, respaldado pela academia americana. Se o grupo utilizasse o fator de risco sugerido pelo BEIR V, que não leva em conta o fator de redução de efetividade da taxa de dose, encontraria o dobro de mortes e chegaria mais perto da estimativa do Greenpeace. O problema é que a dose coletiva usada não bate com os dados apresentados no relatório conjunto, apresentado em IAEA (2005); nele, as doses acumuladas dos 600.000 *liquidators*, foi menor do que 0,1 Sv, ou seja, a dose coletiva seria, com esses novos dados, $600.000 \times 0,1 = 60.000$ homem-Sv, o que reduziria a estimativa de mortes por câncer radio-induzido para $60.000 \times 0,04 = 2400$ pessoas. Caso a ICRP quisesse, poderia ter dividido o fator de risco obtido em Hiroshima e Nagasaki por dez e, ainda assim, estaria dentro das orientações do NCRP e do UNSCEAR. Nessa situação, o fator de risco seria de $0,08/10 = 0,008$. Multiplicando-se esse fator pela dose coletiva de 60.000 homem-Sv, se obteria uma estimativa de 480 mortes.

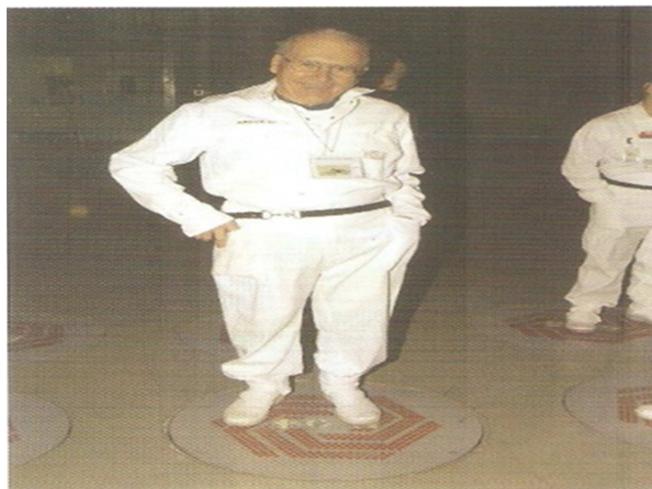
Em meio a tantos interesses, há espaço para muitas previsões, e também muita gente para discordar. A EFN (*Association of Environmentalists For Nuclear Energy*) reúne ambientalistas históricos, mas que pensam diferentes dos verdes anti-nucleares. Patrick Moore, um dos fundadores do Greenpeace, e James Lovelock, são dois dos principais exemplos. Considerado como o “Ghandi da ciência”, pela revista *New Scientist*, Lovelock, passou a defender a ideia de que, diante do acelerado processo de aquecimento global, a energia nuclear deveria ser vista como uma aliada forte do movimento verde, pelo menos no período de transição necessário para substituir, em larga escala, a energia obtida a partir dos combustíveis fosseis, os verdadeiros vilões do aquecimento global. Em entrevista veiculada em Szklarz (2004), cujo título é “Ghandi nuclear”, numa alusão às novas ideias defendidas pelo cientista inglês, ele diz que as energias renováveis convencionais (eólica, solar, hidroelétrica) seriam suficientes se a população da terra fosse de apenas um bilhão de pessoas. Perguntado se acidentes, como o de Chernobyl, “não seriam suficientes para banir as usinas nucleares”, ele responde:

Há muita mentira em torno desse assunto. De acordo com informes da ONU, houve 45 mortos em consequência da explosão do reator em Chernobyl. Quase todos eram trabalhadores da usina, bombeiros e integrantes das equipes que sobrevoaram o fogo para apagá-lo. Os 45 morreram principalmente devido à radiação recebida pelo reator aberto e pelos escombros altamente radioativos que se espalharam ao redor dele. Aqueles que moravam perto da usina foram expostos à radiação, mas continuam vivos. É verdade que alguns podem morrer antes do esperado com cânceres provocados por radiação, mas lembre-se: em 1952, 5 mil pessoas morreram em Londres, num único dia, envenenadas por fumaça de carvão. Estima-se que centenas de milhares morreram desde então em decorrência de câncer do pulmão causado pela inalação de substâncias cancerígenas na fumaça. Mas a mídia não fala da queima de carvão como causa massiva de tumores. (SZKLARZ, 2004)

Em seu livro **Gaia: alerta final**, Lovelock aprofunda a questão, atualiza o número de mortes em Chernobyl para 75, sem informar a fonte, e faz uma análise das principais opções, mostrando-se particularmente esperançoso em relação à energia solar térmica⁶⁸, segundo ele a única energia alternativa que não é “visionária” e que pode resolver, adequadamente, o problema do aquecimento global e dos impactos ambientais. Enquanto essa fonte vai sendo desenvolvida “...a energia do combustível fóssil em declínio e a energia emergente da fissão nuclear poderão preencher a lacuna”. Ele diz que a energia nuclear não é considerada uma fonte confiável de energia porque “fomos cruelmente induzidos ao erro por um encadeamento de mentiras” (LOVELOCK, 2009).

Uma das questões que ele se esforça para desmistificar é o problema do lixo radioativo, tido como particularmente mortal e que persistiria por milhões de anos. Ele lembra que toda poluição por elementos químicos persiste no meio ambiente e cita o chumbo, o arsênio, o cádmio e o tálio; após dizer que não há, efetivamente, lixo nuclear com que se preocupar, visto que “a produção anual de rejeitos de uma usina nuclear de 1000 megawatts é o bastante para encher um taxi londrino”, ele brinca dizendo que receberia de bom grado esse lixo para ser enterrado na casa dele, por ser uma “fonte útil de calor”. Ao se permitir uma fotografia, de pé, sobre um depósito de lixo nuclear francês, de “alto risco”, ele procura convencer o leitor de que existe, de fato, muitas “mentiras” em torno do problema do lixo nuclear:

⁶⁸ Em vez de converter energia solar em corrente elétrica, através de células fotovoltaicas, as centrais de energia solar térmica aproveitam a energia solar para, através de espelhos ou de outros métodos, aquecerem diretamente a água e gerar o vapor necessário para movimentar as turbinas do gerador de eletricidade.



Outro assunto, que ele também se esforça para tentar desmistificar, é a intensidade das radiações emitidas pelas centrais nucleares; no Reino Unido, ele diz que a intensidade dessas radiações é quinhentas vezes menor do que a intensidade das radiações “do gás radônio que respiramos todos os dias de nossas vidas”. Com relação aos acidentes, ele diz que “Nos cinquenta anos em toda a indústria nuclear mundial, não mais de cem morreram” e complementa:

Comparemos isso com dezenas de milhares que morreram nas indústrias do carvão e de petróleo e as centenas de milhares que morreram na produção de energia renovável ou pelas consequências de seu uso. Sim, hidroeletricidade é “renovável”, mas quem percebe o quanto ela é perigosa até que haja o rompimento de uma represa? (LOVELOCK, 2009)

Para não ficar apenas nas opiniões “bem contestáveis” de Lovelock, Sevá Filho⁶⁹ (2010), cita várias fontes para alertar o quanto o assunto segurança de barragens é negligenciado:

São sempre chocantes as recapitulações dos casos de acidentes: a primeira tragédia norte-americana [...] foi a de Johnstown, no Estado da Pensilvânia em 1889 [...] a barragem tinha 23 metros de altura, e a onda de choque da enxurrada liberada matou mais de 2.000 pessoas. Dentre os transbordamentos com graves consequências são mencionados [...] os casos de Macchu II, na Índia e de Tarbela no Paquistão, com 143 m de altura. (SEVÁ FILHO, 2010, p.15)

⁶⁹ O prof. Arsênio Oswaldo Sevá Filho, é Engenheiro Mecânico, Doutor em Geografia Humana pela Universidade de Paris-I, Professor Associado da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil, lotado no Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica, e docente participante dos cursos de Doutorado em Antropologia Social e em Ciências Sociais do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da UNICAMP.

Desses casos citados, a barragem de Macchu, na Índia, foi construída para produção de energia hidroelétrica; com seu transbordamento, em 1979, morreram cerca de 2500 pessoas. Sayão⁷⁰(2010) cita outra barragem, a de Vajont, Itália, construída também para a produção de energia hidroelétrica, cujo transbordamento, em 1963, acabou com um vilarejo inteiro e causou cerca de 2600 mortes. É curioso que a maioria das pessoas envolvidas no debate sobre a opção nuclear cite todos acidentes nucleares, inclusive aqueles sem relato oficial de vítimas fatais, como os de Three Miles Islands e Fukushima, e não citem acidentes como esses, envolvendo a opção hidroelétrica. Para Lovelock (2009) existe uma clara diferença de tratamento entre as diversas opções energéticas, e o “caixa” da indústria nuclear, “minúsculo comparado ao das companhias de petróleo, gás ou carvão”, não parece ser suficiente para, através de propaganda maciça, reverter a imagem negativa. Talvez isso explique a total entrega do autor à causa nuclear que, mais uma vez, brinca dizendo que se uma ferramenta cair no pé de um engenheiro nuclear de uma usina no Japão, os jornais noticiarão como um “Acidente grave em usina nuclear japonesa”, enquanto centenas de mineiros chineses, que morram na explosão de uma mina de carvão, merecerão apenas “um pequeno parágrafo perdido no meio do mesmo jornal”. Preocupado em convencer que não está cometendo nenhum “exagero”, ele diz que:

Em julho de 2007, um terremoto no Japão abalou uma usina nuclear o suficiente para causar o seu fechamento automático; o tremor foi de gravidade suficiente – acima de 6 na escala Richter – para causar dano estrutural significativo em uma cidade média. A única consequência “nuclear” foi a queda de um barril de uma pilha de lixo de baixo nível que acarretou o vazamento de cerca de 90 mil bequeréis de radioatividade. A notícia ganhou manchete de primeira página na Austrália, onde disseram que o vazamento representou uma ameaça de radiação ao mar do Japão. A verdade é que 90 mil bequeréis são apenas o dobro da quantidade de radioatividade natural, basicamente na forma de potássio, que você e eu carregamos em nossos corpos. Em outras palavras, se aceitarmos essa conclusão histérica, a simples presença de dois nadadores no mar do Japão seria uma ameaça de radiação. (LOVELOCK, 2009)

É desnecessário dizer que grupos como o Greenpeace, e como o Anti-nuclear, repudiam profundamente essas posições do cientista que, antes delas, já encantou milhares de ambientalistas com suas ideias, mas agora, a julgar pelo título da entrevista dada a Szklarz (2004), deverá ter seu *status* diminuído para “Ghandi nuclear” ao invés de “Ghandi da ciência”. No livro “**Energia nuclear – do anátema ao diálogo**”, organizado pelo Professor José Eli da Veiga, da Faculdade de Economia da USP, o professor cita apenas que as posições do cientista “são bem contestáveis”, mas não avança informando quais posições

⁷⁰ O prof. Alberto Sayão é Ph.D. em Engenharia Geotécnica, professor de Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e ex-presidente da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS).

seriam. O autor, que se refere ao assunto como “a controvérsia sobre o nuclear”, cita outros ambientalistas históricos⁷¹ que se converteram em simpatizantes do uso da energia nuclear, entre eles Stewart Brand, que publicou, em 2009, um “manifesto ecopragmático” no qual ele destaca que o climatologista da NASA, James Hansen, bastante citado pelos ambientalistas, escreveu uma carta para o presidente Obama na qual ele “incluiu duras críticas ao movimento ambientalista antinuclear”. Brand, que acompanhou a construção da política canadense de rejeitos radioativos, “...baseada no princípio de que, em período de 175 anos, a radioatividade desse lixo cai a um bilionésimo do nível em que sai do reator...”, passou a acreditar que o lixo radioativo vai perdendo seu aspecto tóxico principal com o tempo, ao contrário de outros lixos químicos, como o mercúrio, por exemplo, que permanecem tóxicos; essas e outras informações foram ajudando-o a se converter:

Nesse processo, Brand foi se convencendo de que o problema do lixo atômico não era de ordem “cósmica”, como havia pensado antes. E de que a energia nuclear poderia ser, então, de grande ajuda na mitigação do aquecimento global. Passou a perguntar-se, então, por que havia demorado tanto para deixar de ser “anti” e passar a ser “pró”. (VEIGA, 2011, p. 21)

O autor sugere que a resposta a essa pergunta teria sido dada por Gwyneth Cravens⁷², em seu livro *Power to Save the World: the Truth about Nuclear Energy*, que teve a coautoria do historiador Richard Rhodes, credenciado pelos vários trabalhos publicados sobre energia Nuclear. Para a autora, as energias solar e eólica possuem grande dependência climática (fato que as credenciam apenas como boas fontes de energias complementares), além de exigir áreas bem maiores, do que a energia nuclear, para produzir eletricidade. Outro aspecto citado é o lixo gerado; um indivíduo que passe a vida toda usando energia nuclear precisaria apenas de uma lata de refrigerante para guardar o “lixo”; se sua fonte fosse o carvão seria gerado 69 toneladas de lixo sólido mais 77 toneladas de CO₂. Além da quantidade de lixo, que inclui metais pesados como chumbo, arsênico e mercúrio, a toxicidade é tal que “estima-se que, a cada ano, a poluição do carvão cause 30 mil mortes nos Estados Unidos e 350 mil na China”. Esse conjunto de questões leva VEIGA (2011) a dizer:

É por isso que muitos dos que se dedicam à questão climática acabam por se render ao argumento do menor dos males (*the lesser of two evils*) e preferindo

⁷¹ Além de Patrick Moore, o autor cita o bispo anglicano inglês Hugh Montefiore, Stephen Tindale, diretor do Greenpeace inglês, Tim Flannery, biólogo australiano, entre outros.

⁷² Cravens atribui sua conversão a duas características importantes de uma matriz energética: *baseload* (carga de base independente de aspectos climáticos) e *footprint* (“pegada”, área de terra necessária para a produção da energia). Para a autora, uma usina nuclear produz 1000 megawatts em menos de um quilometro quadrado. Para produzir a mesma quantidade de energia solar a área necessária seria 150 vezes maior e, se a energia for eólica, a área deverá ser 600 vezes maior.

considerar todas as possibilidades (*take nothing off the table*). Segundo o levantamento feito pelos autores (Cravens & Rhodes, 2007), apoiariam a opção nuclear 89% dos cientistas, 95% dos que estão em pesquisas energéticas, e 100% dos que investigam questões nucleares e de radiação. (VEIGA, (2011, p. 23)

Não obstante abra espaço para as posições do ecopragmatismo, Veiga (2011) adverte que “seria ilusório imaginar” que seus argumentos sejam “sólidos e convincentes” ou que a opção nuclear “tenha se tornado menos controversa do que era antes desses casos de conversão”. Para apoiar essa posição ele lembra as várias incertezas que persistem, e cita as dúvidas sobre o número de mortes em Chernobyl, as reais emissões de carbono da energia nuclear considerando-se toda a cadeia produtiva, os reais custos de sua produção, a segurança operacional, a destinação do lixo atômico, além das “velhas incertezas sobre a proliferação de perigosos arsenais, bem como sobre eventuais acessos de grupos terroristas a essas tecnologias”. Após essa exposição, o autor conclui:

Não pode ser simples, portanto, firmar posição sobre a questão nuclear, que esteja razoavelmente alicerçada em razoáveis evidências científicas, pois está muito longe do final da controvérsia [...]. O propósito desse livro é permitir que se conheça melhor o estado em que se encontra, no Brasil, a controvérsia que acaba de ser ilustrada por um leigo em busca dos alicerces. E que, por isso mesmo, tomou a iniciativa de convidar quatro pesquisadores de primeira linha a expor [...] seus argumentos a favor e contra (Idem, p.26).

A essa altura da narrativa já deve ser possível identificar que a “controvérsia” que o professor se refere diz respeito exclusivamente à opção nuclear e pode ser resumida na seguinte pergunta: O uso da energia nuclear para a produção de energia elétrica a partir da fissão do átomo é uma opção aceitável ou não? A conexão dessa controvérsia com a controvérsia do efeito das radiações em doses baixas, o objeto de estudo desta tese, é que, para responder esse tipo de pergunta, é imprescindível que se dimensione o verdadeiro impacto das usinas nucleares em situação normal e em situações de acidentes. Em ambas as situações, a real dimensão desse impacto depende dos reais efeitos das radiações em doses baixas que serão considerados.

O físico nuclear José Goldemberg⁷³, por exemplo, um dos convidados a debater o assunto no livro organizado pelo professor Veiga, responde não às usinas nucleares, e usa,

⁷³ Em um subitem no qual tanto se falou em ‘conversão’ de ambientalistas de anti-nucleares em pró-nucleares, seria impróprio não chamar atenção para a conversão do importante físico José Goldemberg, só que no caminho inverso. Já foi referido, no capítulo V, que na metade da década de 1950 o físico tinha uma posição claramente favorável à opção nuclear. Essa posição continuou a mesma até 1976, como pode ser visto na entrevista, realizada no contexto do projeto "História da ciência no Brasil", onde o físico declara "...Hervásio de Carvalho era o agente americano aqui dentro [...] O Damy estava muito interessado em subir em política [...] Eu disse pro Damy, olha aqui, esse negócio de energia nuclear é uma boa coisa [...] Quero ser físico, não quero ser engenheiro nuclear [...] Acho que colocar reatores aqui no Brasil e desenvolver uma tecnologia nuclear é uma excelente oportunidade para a ciência se desenvolver. E eu quero fazer ciência [...] Quero fazer

para isso, os mesmos argumentos relatados por Veiga na apresentação do livro, com mais espaço e conhecimento para elaborá-los melhor; em resposta à posição de Lovelock sobre as consequências de Chernobyl, afirma que o acidente estava sendo minimizado, pois “a dose coletiva estimada desse acidente, aplicada a estimativas padronizadas de risco”, levaria a algo entre 4 mil e 60 mil mortes por câncer, e arremata dizendo que “o número pode ser muito maior se considerados períodos mais longos de latência”.

Esse argumento, que pouco difere do usado pelo grupo *Anti-nuclear & Clean Energy (ACE) Campaign*, não considera que o período de latência maior só interfere, a rigor, nos casos observados em estudos epidemiológicos e não nas “estimativas” teóricas, visto que estas já incluem, no conceito de dose coletiva, uma dose individual acumulada ao longo do período de exposição. Ou seja, o tempo de latência não é um problema para quem prefere ignorar os estudos epidemiológicos, por conta das incertezas dos mesmos, e se apoia, exclusivamente, em estimativas teóricas. O problema é ignorar que essas estimativas, que eles julgam mais confiáveis, são fortemente apoiadas em estudos epidemiológicos, com incertezas tão ou mais importantes quanto as alegadas. No caso dos fatores de risco, por exemplo, as incertezas são tão significativas que, só para corrigir o fato deles terem sido obtidos em situação de alta taxa de dose, a NCRP e a UNSCEAR recomendam um fator de redução que varia entre dois e dez. Ao optar pelas estimativas, em lugar dos estudos epidemiológicos, eles não estão levando em conta, também, as incertezas geradas pelo conceito de dose coletiva e pelo uso do modelo LNT para extrapolar, para doses baixas, os riscos obtidos em doses altas, incertezas essas que estão no centro do debate da controvérsia sobre o efeito das radiações em doses baixas.

Assim, podemos resumir dizendo que ambientalistas, que tenham posição contrária à opção nuclear, tendem a maximizar os efeitos das radiações em doses baixas, e encontrarão bastante conforto no relatório da academia americana de ciências; já aqueles que apoiam a opção nuclear, tendem a minimizar os efeitos das radiações em doses baixas, e

Física de reatores...” (GOLDEMBERG, 2010, p33-38). Os termos indicam uma insatisfação com o rumo que o Programa Nuclear Brasileiro estava tomando, mas não porque a energia nuclear apresentava problemas (riscos da radiação, de proliferação de armas, e do lixo radioativo, por exemplo), e sim porque o Brasil (supostamente influenciado por cientistas como Hervásio de Carvalho e Marecelo Damy) fez a opção de comprar reatores e não de desenvolvê-los aqui no país, como desejava o físico. A sua crítica continua a mesma no depoimento do dia 9/05/1979, na CPI sobre o Acordo Nuclear (GOLDEMBERG, 1979). Esses depoimentos são importantes porque indicam que a conversão do físico, em um crítico contundente da energia nuclear, foi fortemente influenciada pelo fato do Brasil ter gasto bilhões de dólares com a compra de reatores, perdendo a oportunidade de, ao construí-los aqui, desenvolver um amplo segmento da física, da ciência e da indústria em todo o país.

podem apoiar-se tanto nos estudos epidemiológicos, quanto no relatório da academia francesa. O desdobramento de tudo isso é que, como ativistas “maduros”, eles são muito bem treinados na arte de “chamar a atenção” do público e da mídia e, dessa forma, a tendência é que, enquanto a controvérsia sobre a construção de usinas nucleares prosseguir, eles continuem repercutindo e alimentando abundantemente a controvérsia sobre o efeito das radiações em doses baixas.

7.4 O desdobramento na academia francesa

Após o rastreamento de publicações no *site* oficial da academia francesa, encontrou-se, em 2011, uma referência ao estudo “Epidemiologia do câncer de tireóide em todo o mundo”, apresentado como “Relatório de fundo da Academia de Ciências e Academia de Medicina sobre os efeitos de baixas doses...”. Encontrou-se, nesse mesmo ano, uma referência a um estudo realizado sob a supervisão de especialistas da Academia de Ciências e Academia Nacional de Medicina, sobre as doses de radiação potencialmente recebidas pela população polinésia, após os ensaios nucleares na região. Ou seja, não foi encontrado nenhum novo relatório ou artigo tão amplo quanto aquele apresentado em 2005 sobre o efeito das radiações em doses baixas, de modo que será assumido que a posição da Academia Francesa continua a mesma.

Por ser membro da academia francesa, por ter sido o presidente da comissão que elaborou o relatório de 2005, por publicar regularmente desde 1951 nas áreas de radiologia, cancerologia, radioproteção e radiobiologia, com 565 publicações na Web of Science, parece ser importante mencionar o artigo de Maurice Tubiana, de 2009, denominado “*The Linear No-Treshold Relationship Is Inconsistent with Radiation Biologic and Experimental Data*”. Juntamente com mais três colaboradores,⁷⁴ Tubiana (2009) inicia o artigo dizendo que o risco de câncer radio-induzido em baixas doses é controverso, não pode ser acessado apenas por estudos epidemiológicos, e sintetiza as posições das duas academias:

O relatório da Academia Francesa concluiu que o modelo LNT e seu uso para estimar os riscos associados com baixas doses não são baseados em evidências científicas. Em contraste, o relatório Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VII e a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) recomendaram o uso do modelo LNT. Nós desejamos atualizar este debate usando recentes dados epidemiológicos e da radiobiologia. (TUBIANA, 2009, p.13)

⁷⁴ Os três colaboradores do artigo são: Ludwig E. Feinendegen, MD, *Department of Nuclear Medicine, Heinrich-Heine-University Dusseldorf*, Lindau Germany. Chichuan Yang, MD, *American Radiology Services, Bethesda, Maryland, USA*. Joseph M. Kaminski, MD, *National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA*.

Após discutir dados da radiobiologia sobre proteção imediata no nível celular, resposta adaptativa, efeito *Bystander*,⁷⁵ instabilidade genômica, defesas no nível do tecido, hormese, bem como dados epidemiológicos dos sobreviventes das bombas atômicas, do acidente de Chernobyl, de habitantes de locais de altos níveis de radiação natural, de pacientes radiológicos e de trabalhadores ocupacionalmente expostos, o trabalho conclui:

Existem potentes defesas contra os efeitos carcinogênicos da radiação ionizante. Sua eficácia é muito maior para baixas doses e taxas de doses; isto é incompatível com o modelo LNT mas é compatível com modelos correntes de carcinogênese. Os dados sugerem que a combinação de reparo do DNA [...] e a eliminação de células pré-neoplásicas fornecem um limiar prático. Para radiações de baixa transferência linear de energia, dados experimentais em animais mostram a ausência de efeitos carcinogênicos para a irradiação aguda com doses menores do que 100 mSv [...]. Entre humanos, não há evidências de efeitos carcinogênicos para irradiação aguda com doses menores do que 100 mSv... (Idem)

O autor, nesse artigo, reafirma a sua posição contrária ao modelo linear de dose resposta, sugere a existência de um limiar prático, e afirma que não existem evidências de efeitos carcinogênicos, nem em seres humanos, nem em animais de laboratório expostos a doses menores do que 100 mSv, o que, na prática, coloca esse valor de dose como um potencial candidato a um limiar, abaixo do qual seria pouco provável a ocorrência de efeitos carcinogênicos. Na sequência da conclusão, o autor chama a atenção para o fato de que a superestimativa dos riscos da radiação em radiodiagnóstico, consequência do uso do modelo LNT, pode inibir os pacientes a fazer exames importantes. Quanto ao acidente de Chernobyl, o artigo afirma que os riscos da radiação foram superestimados e, de certa forma, os dados apresentados pelo estudo conjunto das sete agências, em 2005, autorizam essa crítica. As estimativas feitas logo após o acidente, baseadas no modelo LNT, sugeriam números tão alarmantes que podem ter causado mais danos do que benefícios, pois levou à evacuação de aproximadamente 200 mil pessoas, a um número estimado de 1250 suicídios, e entre 100.000 e 200.000 abortos eletivos fora da União Soviética (TUBIANA, 2009). O artigo, assim, reforça a posição da Academia Francesa, assumida no relatório de 2005, e procura mostrar que o uso do modelo LNT, para estimar risco de morte por câncer radio-induzido, pode estar trazendo mais prejuízos do que benefícios.

⁷⁵ Pesquisas recentes mostram que células não atingidas diretamente pela radiação, mas que estejam na vizinhança de células irradiadas, sofrem alterações desencadeadas pelas células irradiadas. Esse efeito é chamado de **bystander** e foi observado com o uso de uma tecnologia que permite a produção de microfeixes de partículas carregadas, colimados com uma precisão na faixa de 2×10^{-6} m (OKUNO, 2010). Inicialmente se pensou que esse efeito reforçasse o modelo LNT, mas, Tubiana (2009) cita dois trabalhos que sugerem o contrário, ou seja, que os sinais produzidos pelas células irradiadas ajudam a proteger as células vizinhas, estimulando uma resposta adaptativa.

7.5 O Bulletin of the Atomic Scientists e a controvérsia em baixas doses

Como foi citado no capítulo II, o *Bulletin of the Atomic Scientists* publicou, em maio de 1973, um artigo elaborado por Arthur Tamplim no qual ele declarou que o BEIR I, ao concluir que os limites de doses praticados então poderia produzir um aumento da incidência de câncer, encerrou a controvérsia sobre o efeito das radiações em doses baixas, “iniciada” por ele e por John Gofman; são esses os termos:

O BEIR estimou que o limite existente poderia produzir entre 3000 e 15000 mortes de câncer anualmente e levar a um aumento de cinco por cento nas doenças da população. Embora haja diferenças entre nossas duas estimativas dos efeitos, eu considero isso como o fim da controvérsia. (TAMPLIN, 1973, p.20)

Quatro décadas após veicular essa consideração, o *Bulletin* publica uma edição especial sobre o efeito das radiações em doses baixas. A edição traz a opinião de especialistas em várias áreas (ciências sociais, bio-estatística, radiobiologia, radioproteção, etc) que discutem o assunto com profundidade. Logo em seu editorial, o *Bulletin* mostra que o debate se intensifica após cada evento envolvendo a radioatividade, e que a controvérsia continua:

Em cada momento que ocorre eventos envolvendo a radioatividade, questões surgem não apenas sobre as verdadeiras exposições, mas também sobre os riscos à saúde em doses baixas. Previsivelmente, debates se desdobram na mídia e galvanizam redes sociais. Às vezes essas conversas esclarecem o público, mas muitas vezes eles apenas exacerbam a confusão e medo sobre a realidade e o significado da exposição. Fukushima é o exemplo mais recente desta estratégia de comunicações deformadas. Esta edição especial do Boletim examina o que há de novo sobre o debate dos riscos da radiação, focando especificamente em áreas de concordância e discordância, incluindo estimativas quantitativas de risco de câncer como uma função da dose. [...]. Perspectivas quantitativas sobre o risco em baixas doses tem mudado dramaticamente nos últimos 40 anos [...]. Alguns pesquisadores acreditam que a dose resposta é maior do que a LNT em baixas doses (supralinear response), enquanto outros mantêm que a dose resposta cai rapidamente abaixo da faixa coberta por dados epidemiológicos (quase-threshold) [...]. Existem outros pesquisadores que acreditam que a dose resposta muda em torno de um ponto quando a dose diminui, reduzindo realmente o risco de câncer (hormesis theory)... (BEYEA, 2012)

O autor afirma que a comunidade científica, de muitos países, aceita a extração para doses baixas dos riscos obtidos em doses maiores (modelo LNT), onde os dados epidemiológicos são “conclusivos”. Mas ele faz uma importante ressalva quando diz “(com exceção da França, onde o público fortemente apoia a energia nuclear)”. Nossa pesquisa não entrou na questão de quantificar o quanto o público, dos Estados Unidos e França, apoia o uso da energia nuclear para fins pacíficos, mas, a julgar pela afirmação trazida por BEYEA (2012), esse apoio popular parece ter repercutido pelo menos no

relatório da academia de ciências da França. O autor, demonstrando conhecer os aspectos principais do debate, continua:

Organizações de proteção contra as radiações, tais como a Comissão Internacional de Proteção Radiológica, usam também o modelo LNT para justificar a minimização de exposições futuras; no entanto, elas têm uma tendência a focar as incertezas da hipótese e opor-se a sua utilização para estimar as consequências de contaminações como as de Fukushima e Chernobyl - sem dúvida com a preocupação de que tais estimativas possam ampliar a percepção de risco. Se evitar ou não previsões de consequências de baixa dose realmente atenua a percepção de risco ou, na verdade, amplifica-o através da crescente suspeita pública sobre um encobrimento é uma pergunta interessante... (BEYEA, 2012)

Ele chama a atenção para um ponto importante dessa controvérsia que precisa ser discutido – a posição da Comissão Internacional de Proteção Radiológica. O órgão diz que o sistema de proteção radiológica recomendado por ela continuará se baseando na “suposição” de que, em doses menores do que 100 mSv, o câncer radio-induzido e os efeitos hereditários são diretamente proporcionais às doses, sem limiar. Entretanto, a Comissão ressalta “...Por outro lado, um recente relatório da Academia Francesa (2005) discute em defesa de um limiar prático para risco de câncer de radiação” (ICRP, 2005). Isso significa que ela não ignora as críticas feitas pelo relatório francês e, ao tratar o modelo LNT como uma “suposição” o órgão mostra, também, que não desconhece o *status* do modelo, o que, de certa forma, ajuda a explicar o porquê de não recomendá-lo para “quantificar” o número de “mortes” em acidentes ou em caso de exposições médicas. Ao proceder assim, ela está implicitamente reconhecendo que as incertezas do modelo só são aceitáveis quando o objetivo for o de usá-lo, apenas, como um princípio orientador que leve à limitação das doses ocupacionais de rotina em instalações nucleares. Se, ao desaconselhar o uso do modelo em outras situações, a ICRP aumenta ou não a “suspeita pública sobre o encobrimento”, como questiona Beyea (2012), é de fato uma questão a se avaliar.

Entretanto, ao longo dessa tese, foram trazidos vários dados que sugerem que essa “suspeita” não diminui com o uso do modelo LNT, uma vez que este, ao prever um número de mortes muito acima do que é de fato verificado, cria um ambiente de medo e continua a levantar a suspeita de que ou as autoridades estão escondendo o “verdadeiro” número de mortes dos acidentes radioativos. Assim, o temor das radiações continua alimentando as suspeitas e funcionando como o principal combustível dessa controvérsia, já não tão nova assim, mas ainda em pleno vigor...

CAPÍTULO VIII - Considerações finais

A controvérsia continua aberta em torno de pelo menos dois pontos, relacionados com baixas doses de radiação: Em torno da possibilidade de efeitos benéficos (hormese) e em torno da aceitação do modelo *Linear No Threshold* (LNT). Os principais atores envolvidos são, de um lado, aqueles ligados aos órgãos de controle ou às organizações ambientais contrárias ao uso da energia nuclear para produção de eletricidade; eles, em sua maioria, defendem o modelo e ignoram ou negam possíveis efeitos horméticos. Do outro lado, encontram-se os defensores do uso pacífico da energia nuclear, principalmente para produção de eletricidade e para fins médicos, que questionam as bases científicas do modelo e, muitos deles, admitem a possibilidade de hormese. A controvérsia mais forte e mais bem estabelecida, é em torno da aceitação do modelo LNT, que afirma que o aumento da frequência de incidência de câncer radio-induzido ocorre, de forma linear, sem limiar de dose, mesmo para doses baixas. Precisamente em torno da tentativa de conferir ao mesmo o *status* de uma lei da natureza, em torno da qual se estabeleceu um razoável consenso, o que legitimaria o seu uso inclusive para ‘determinar’, ‘cientificamente’, quantas pessoas irão morrer de câncer radio-induzido ao se submeter a procedimentos radiológicos, ao se viver em locais de alto nível de radiação natural, ao se expor às radiações de acidentes nucleares.

O medo generalizado das radiações ionizantes, cuja origem pode ser atribuída aos objetivos do Projeto Manhattan de usar as bombas, e as radiações por elas produzidas, de forma suficientemente “espetacular” para fazer o mundo temer a única nação que se mostrara capaz de, até então, produzi-las em escala catastrófica, tem sido o principal combustível dessa controvérsia. O embrião dela, em si, surge no meio da década de 1950, com o princípio de radioproteção ALARA, mas ela só vai começar a ganhar corpo no final da década de 1960, com o debate sobre os limites de dose para indivíduos do público nos Estados Unidos. A adoção do modelo LNT, pelo BEIR I, BEIR V e BEIR VII, relatórios da academia americana, pode ser interpretada como uma tentativa de legitimação ‘científica’ do modelo, o que tem sido questionado por vários trabalhos. A academia de ciências da França, que analisou vários deles, produziu um relatório alertando que mesmo estudos epidemiológicos amplos, como os realizados com os sobreviventes das bombas nucleares, não apresentam dados estatisticamente significativos que apoiem o modelo. De fato, o acompanhamento de 27.980

sobreviventes, que teriam recebido uma dose de raios gama na faixa de 5 mSv a 100 mSv, detectou um excesso de 81 casos de câncer, quando comparado com uma população americana usada como referência. Esses casos, observados ao longo de 40 anos de acompanhamento, representam menos do que 0,3% da população alvo, número bem menor do que a margem de erro da pesquisa e que poderia ser explicado por qualquer um dos inúmeros fatores que afetam o nível de confiança desse estudo.

Outra crítica importante diz respeito ao fato de que os fatores de risco, observados nos estudos epidemiológicos em Hiroshima e Nagasaki, foram gerados em um ambiente de alta taxa de dose e o BEIRV não considerou, efetivamente, esse aspecto. Essa crítica está presente em vários trabalhos, e tem sido levada tão a sério que órgãos, como o NCRP e UNSCEAR, recomendam que os riscos obtidos diretamente dos sobreviventes das bombas sejam reduzidos por um fator que pode variar entre dois e dez, para que possam ser usados em situações de baixa taxa de dose. Como foi citado no capítulo anterior, a ICRP atualmente usa o fator de redução dois. Outros problemas podem ser apontados nos estudos dos sobreviventes, um deles é a hipótese assumida de que o excesso de mortes por câncer ocorreu, **exclusivamente**, devido à ação isolada da radiação ionizante produzida após a explosão. Assumir essa hipótese implica em considerar que as outras substâncias carcinogênicas, liberadas pela enorme energia das bombas, ou mesmo outros aspectos, como o forte *stress* de quem viu sua vida e sua cidade serem quase inteiramente destruídas, não desempenharam papel algum que tenha contribuído, direta ou indiretamente, para o aumento de casos fatais de câncer.

A análise das incertezas, feitas no BEIR V, por sua fidelidade, clareza e abrangência, pareceu um dos pontos mais elogiáveis do trabalho; isso é tanto verdade que muitas das críticas, feitas pelo trabalho francês, são reconhecidas como limitações pelo próprio relatório americano. O principal problema é que essas limitações, em relação ao risco de câncer radio-induzido, aparecem muito timidamente na conclusão do relatório, que é apresentada no início do mesmo; isso pode, numa leitura mais superficial, passar a impressão de que não pairam dúvidas sobre os resultados apresentados e que os mesmos podem ser aplicados de forma generalizada. A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), por exemplo, defende o uso do fator de risco, bem como do modelo LNT, mas apenas para orientar o sistema de radioproteção de instalações radioativas, de forma a limitar as doses, de **exposições ocupacionais de rotina**, a valores tão baixos quanto razoavelmente exequível; assim, ela não recomenda seu uso para “determinar” quantas

pessoas irão “morrer”, devido às **exposições de acidentes radioativos**, ou mesmo devido às **exposições médicas**.

Essa ambiguidade poderá ser atenuada à luz de uma releitura que entenda que, para a ICRP, tanto os fatores de risco obtidos dos estudos japoneses, quanto o modelo LNT, apresentam problemas mas, ainda assim, podem ser ferramentas úteis para desenvolver, em nome do princípio da precaução, programas de proteção radiológica mais rigorosos, embora eles possam superestimar as blindagens das instalações e aumentar os custos. Com esse comportamento o órgão parece entender ser esse um problema menor, comparado com o pânico que o modelo cria quando é usado para “determinar cientificamente” quantas pessoas irão morrer em decorrência das doses ocupacionais, dos acidentes radioativos, ou dos procedimentos radiológicos. O modelo LNT, vários trabalhos mostraram isso, superestima esses efeitos, o que pode inibir procedimentos médicos ou causar graves transtornos psicológicos à população exposta. Esse pensamento é compartilhado pela Academia de Ciências da França que, ao entrar na controvérsia, polarizou o debate e produziu uma crítica qualificada; por ter sido o primeiro trabalho com essa abrangência, é importante, para a sociedade como um todo, que ela periodicamente continue a abordar o assunto.

O acompanhamento da recepção da controvérsia no Brasil mostrou que ela foi discutida e analisada, principalmente, em Okuno (1998, 2010), Giurlani (1997), Carvalho (1990) e em Callegaro (2005, 2007). No primeiro, destaca-se a profundidade, a imparcialidade e o objetivo mais didático da abordagem do tema; em Giurlani (1997) e em Carvalho (1990) percebe-se o claro propósito de combater o ‘paradigma’ da radiação, como estratégia para reduzir os obstáculos ao crescimento do uso pacífico da energia nuclear. A defesa da hormese, para eles, é uma questão crucial na guerra contra a radiofobia. O problema é que provar, para seres humanos, a existência dos efeitos benéficos em doses baixas parece tão difícil quanto provar os efeitos nocivos. Em Callegaro (2005, 2006), destaca-se a preocupação com a repercussão da controvérsia nos procedimentos médicos e a contradição da CNEN, apontada pelo autor, que limita a dose de indivíduos do público em 1 mSv/ano, e não toma nenhuma providência com relação a locais de alto nível de radiação natural, como Guarapari, onde o nível de radiação pode chegar a 6 mSv/ano.

Essa ambiguidade se assemelha com aquela atribuída à ICRP, quando ela usa o modelo LNT para planejar a proteção radiológica, mas não o recomenda para determinar o

risco de exposições médicas e de exposições em acidentes. Também nesse caso, a ambiguidade pode ser atenuada à custa de uma releitura que entenda que a CNEN, ao recomendar o limite de 1 mSv/ano, está, simplesmente, dizendo que cada instalação radioativa deve blindar suas fontes de radiação o suficiente para que elas não gerem, nos indivíduos do público, uma dose que **exceda** o nível de radiação natural, do **local**, em mais do que 1 mSv/ano. Assim, esse valor não pode ser entendido como um limite **absoluto**, além do qual as doses sejam “fatais”. Ele é melhor compreendido quando é visto como uma forma pragmática de conciliar o crescimento do número de instalações radioativas, com a necessidade de impedir, que esse crescimento, imponha ao público uma dose muito superior àquela já recebida devido às fontes naturais de radiação.

Essa preocupação parece fazer sentido porque, além da radiação natural, o indivíduo do público está sujeito às exposições médicas, que também vêm crescendo sistematicamente. Assim, quando uma instalação radioativa blinda suas fontes, de forma a limitar a dose no indivíduo do público em 1 mSv/ano, esse indivíduo, ainda assim, estará sujeito à dose de 1 mSv/ano + dose de radiação natural + doses médicas. Como os órgãos de controle não podem limitar as duas últimas componentes, resta o controle mais rígido das doses liberadas pelas instalações radioativas e, evidentemente, isso implica em um aumento significativo dos custos para a instalação, o que foi objeto de crítica de vários trabalhos. Segundo IAEA (2005), a dose média devida à radiação natural é de 2,4 mSv/ano, e a dose média, devida aos procedimentos de radiodiagnóstico, é de 0,4 mSv/ano. Considerando esses valores como um exemplo, a dose média que um indivíduo do público está sujeito, quando ele circula em áreas livres de uma instalação radioativa, é de 3,8 mSv/ano [1,0 mSv/ano (limite da instalação) + 2,4 mSv/ano (média de radiação natural) + 0,4 mSv/ano (média de radiodiagnóstico)], e ela não inclui procedimentos de radioterapia, além de depender da radiação natural do local.

Assim, essa ‘releitura’ sugere que o limite imposto para as instalações é baixo, não porque doses acima dele sejam consideradas “letais”, mas sim por precaução, diante do crescimento do número de instalações radioativas e da impossibilidade de se limitar as exposições naturais e médicas. Se não for esse o entendimento, fica difícil aceitar por que, para os trabalhadores da mesma instalação radioativa, os órgãos limitam a dose média anual em 20 mSv/ano, acima do nível de radiação natural, uma vez que, pelo modelo LNT, isso implicaria em “aceitar” uma frequência vinte vezes maior de morte por câncer radio-induzido, para os trabalhadores expostos. Ficaria difícil, também, aceitar por que, de fato,

Guarapari, não é interditada. Lá os órgãos de controle, na prática, admitem que o indivíduo do público, que circule em uma instalação radioativa da cidade, possa receber uma dose anual de até 7,4 mSv/ano [1 mSv/ano (limite da instalação) + 6 mSv/ano (radiação natural) + 0,4 mSv/ano (média de exposições de radiodiagnóstico)]. Para os trabalhadores, dessa mesma instalação, o órgão, na prática, admite uma dose média anual de 26,4 mSv/ano [20 mSv (limite ocupacional) + 6 mSv (radiação natural) + 0,4 mSv/ano (média de radiodiagnóstico)].

Não obstante esses valores bem acima da média, os estudos epidemiológicos, nessa cidade, e em outros locais de alto nível de radiação natural, não revelam aumento da frequência de mortes por câncer, e esse, é importante que se assinale, é um dos pontos de convergência dos relatórios americano e francês. O problema é que os próprios órgãos de controle, com normas pouco claras ou excessivamente restritivas, comportam-se, algumas vezes, de forma ambígua, ora valorizando esses estudos, ora parecendo ignorá-los, como nos exemplos de Chernobyl e Fukushima onde, muitos locais com nível de radiação inferior ao encontrado em Guarapari e em outros locais, foram interditados. Toda essa discussão parece reforçar, mais uma vez, a necessidade, enfatizada no relatório francês, de se reavaliar o *status* concedido ao modelo LNT e limitar o seu uso às situações específicas nas quais ele foi realmente observado, ou seja, ambiente de altas doses e altas taxas de dose. Quando isso não ocorre, ele leva à contradições, à ambiguidades, e à previsões que, mesmo não se confirmando, não atenuam o quadro de medo generalizado, devido ao “fantasma” da “suspeição” dos dados. Nessa situação, não surpreende que haja até quem acredite que não existem cachorros de rua em Guarapari por causa das radiações...

Em qualquer quadro onde os dados não revelem, claramente, quem está com a razão, característico das controvérsias, é de se esperar um certo viés na interpretação dos mesmos, quer seja para favorecer interesses econômicos de determinados segmentos sociais, quer seja para ajudar na condução de bandeiras ideológicas, quer seja para se alinhar com teses mais ‘populares’, quer seja para conformar os resultados com nossas crenças individuais. É difícil deixar de reconhecer que esses aspectos, que estão presentes em algum grau, no processo de construção do conteúdo científico, ficam mais evidentes em tais cenários. Não foi visto, ao longo desse estudo, proposições puramente científicas, baseadas exclusivamente em experiências “bem controladas” de laboratórios...A afirmação de que a frequência dos efeitos carcinogênicos aumenta linearmente, sem limiar de dose, mesmo para doses baixas de radiações ionizantes, é um exemplo. É difícil dissocia-la, completamente, do

sentimento de pavor das radiações que se seguiu às explosões das bombas atômicas, que se ampliou com a corrida internacional em busca de armas nucleares, e que aterrorizou a todos durante o período da Guerra Fria. O cientista John Gofman, defensor contundente dessa tese, e que influenciou o primeiro relatório americano que legitimou o modelo LNT, revelou-se, posteriormente, um assumido ativista anti-nuclear.

Não se pode, apenas por essa característica, tentar “impugnar” o modelo, ou transformar em ilegítima a bandeira anti-nuclear, sobretudo naquela época, em que estava sendo empunhada em nome de um movimento social dos mais relevantes. Poucos se arriscariam a arguir que o mesmo não teria desempenhado um papel importante, conscientizando a sociedade contra os perigos dos testes nucleares e da corrida em busca dessas armas. O uso da energia nuclear para produção de energia elétrica, visto como possível porta de entrada para a construção de artefatos nucleares, passou também a ser um alvo estratégico do movimento anti-nuclear. Naquele contexto, parecia ser de pouca importância que se tentasse provar que os objetivos eram pacíficos, que a sociedade seria beneficiada com a produção de energia elétrica, que as usinas eram seguras, que os níveis de radiação em torno delas não causavam danos, etc. Não é difícil aceitar que, nesse quadro, também tenha passado a ser estratégico, para a ‘trincheira’ científica da ‘batalha’ anti-nuclear, tentar provar que não existe nível seguro de radiação.

Isso não significa, por outro lado, que as alegações contrárias a esse modelo estejam completamente imunes a outros interesses. Mesmo estando aparentemente mais respaldadas em dados observáveis, a urgência em reinterpretá-los e a enfática defesa de uma posição contrária ao que, ainda hoje, é o mais aceito na comunidade científica, não pode ser creditado apenas ao abnegado e nobre sentimento de busca da verdade dos cientistas, como se eles vivessem completamente isolados da sociedade. A tese defendida pela Academia Francesa, no trabalho de 2005, mostra uma preocupação muito grande com os reflexos do modelo LNT nas aplicações médicas das radiações ionizantes. Ele poderia influenciar na decisão do médico de solicitar o exame e na decisão do paciente em fazê-lo, o que poderia levar a graves consequências para a saúde do paciente e, possivelmente, para o mercado de trabalho médico. Seguindo outra linha paralela a essa, não é fácil dissociar completamente as alegações científicas, presentes no relatório francês, de um ambiente onde cerca de 70% da energia elétrica utilizada vêm da energia nuclear e, talvez por isso, essa opção pareça contar com o apoio de parte significativa da população francesa.

Em relação aos ambientalistas, vários deles, antes ferrenhos ativistas contrários à opção nuclear, abandonaram suas posições. O principal argumento desses “dissidentes” considera que, se no período da Guerra Fria o mundo corria perigo de extinção devido ao arsenal nuclear, nos dias de hoje, com esse risco cada vez menor e com a nova ameaça à humanidade devido ao aquecimento global, o uso da energia nuclear, pela emissão desprezível de gases do efeito estufa, representa uma opção energética que pode ajudar a ‘salvar’ o planeta nesse período de transição. Diante dessa nova perspectiva, os efeitos à saúde provocados pela radiação do acidente de Chernobyl, que antes seriam repercutidos e amplificados por esse grupo, hoje são relativizados e comparados com as milhares de mortes provocadas pelo gás carbônico emitido pelas usinas à base de combustíveis fosseis. Agora passa a ser estratégico, também, demonstrar que acidentes, como o de Chernobyl, são raríssimos e que, ainda assim, as milhares de mortes previstas pelos “especialistas” não se confirmaram; que essas previsões se basearam no modelo LNT e que este não é baseado em evidências científicas; que usinas como aquela não são permitidas pela Agência Internacional de Energia Atômica; que nenhuma usina inspecionada pela Agencia sofreu um acidente com vítimas, mesmo em situações extremas como no caso do terremoto de Fukushima, etc.

Por se tratar de uma controvérsia aberta, não se espera respostas fáceis para as diversas questões discutidas nessa tese. Não é sem razão que vários órgãos, como ICRP, UNSCEAR, AIEA, CEA, além das próprias academias americana e francesa aqui discutidas, vem produzindo importantes trabalhos sobre o assunto. Ao longo dessa tese foram acompanhadas, do ponto de vista da História das Ciências, as várias respostas que os cientistas e a sociedade vêm dando para essas questões. Tentou-se uma abordagem historiográfica inspirada em uma tradição influenciada pelo Programa Forte, mas que buscou uma constante aproximação com a disciplina História, principalmente com os argumentos e objetivos do método crítico e da abordagem do tempo presente. A expectativa do enfoque é de oferecer um material para reflexão e mostrar que, nem sempre, é fácil dissociar as proposições científicas de crenças individuais, de interesses econômicos, sociais, culturais, etc. Em paralelo com a discussão desses aspectos, procurou-se manter uma preocupação com a clareza da informação e com o conteúdo científico em si, tentando construir uma narrativa que possa, essa é outra expectativa, interessar a um público mais amplo, como aquele vinculado ao Ensino de Ciências. Essa nos pareceu uma forma adequada de sinalizar que as portas do “auditório”, ainda tão restrito da História das

Ciências, estão abertas, principalmente para um público que tem interesse direto nos temas abordados por uma controvérsia que envolve elementos da Ciência, da Tecnologia e da Sociedade.

ANEXO - INFLUÊNCIAS TEÓRICAS: A DIFÍCIL QUESTÃO DA ABORDAGEM EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS.

Ao longo desse trabalho, foi assinalado que o objetivo era acompanhar, ‘do ponto de vista da história das ciências’, a controvérsia sobre o efeito das radiações em doses baixas. Que ponto de vista é esse? Este anexo é uma revisão de literatura de aspectos da história das ciências que orientaram este estudo, ou seja, que influenciaram o ponto de vista em questão e, por isso, pareceu conveniente criar um espaço para externá-los. Visto que o trabalho é um estudo de controvérsia, convém destacar a importância que ela adquiriu para a História das Ciências; autores influenciados pelo Programa Forte⁷⁶, como Harry Collins, por exemplo, entendem que elas são importantes por que permitem que nos coloquemos no lugar dos cientistas, no momento em que o conhecimento está sendo construído, ou seja, enquanto a controvérsia estava se resolvendo; isso permite compreender melhor a natureza da ciência e oferecer subsídios para “nossos dias de ciência e tecnologia controvertidas”:

Tentamos colocar nossos leitores no lugar dos cientistas, compartilhando apenas o conhecimento que eles poderiam ter tido no passado. A razão disso é que queremos utilizar os esclarecimentos dessas controvérsias históricas para revelar o que se deve esperar em nossos dias da ciência e tecnologia controvertidas. A história de manuais, a oficial, e a dos revisores têm gerado uma impressão de simplicidade e sucesso, criando distorções quando enfrentamos os dilemas científicos e tecnológicos da vida contemporânea. A história de manuais, a oficial e a dos revisores são – diga-se mais uma vez – adequadas para os cientistas, porém prejudiciais para aqueles que necessitam compreender não o conteúdo científico, mas a maneira como os fatos científicos são estabelecidos. (COLLINS, 2000, p.227)

Springer (1998), por sua vez, argumenta que esse tipo de abordagem ‘não leva a muito longe’ porque as controvérsias não são relevantes por si mesmas e sim pelo que elas podem nos ensinar de importante:

A tese de que a história da ciência não pode ser compreendida a menos que se examine os bastidores das controvérsias científicas vem se tornando uma verdadeira máxima heurística para o historiador da ciência [...]. Eu argumento que este tipo de abordagem não leva a muito longe. Controvérsias não são relevantes

⁷⁶O Programa Forte, desenvolvido por David Bloor e outros professores da escola de Edimburgo, propõe que a sociologia do conhecimento científico aborde a ciência a partir de um marco metodológico que seja: a) *Causal*, isto é, preocupado com as condições que dão origem às crenças ou estados de conhecimento; b) *imparcial* em relação à verdade ou à falsidade, à racionalidade ou à irracionalidade, ao sucesso ou ao fracasso de um conhecimento ou teoria particular; c) *simétrico* em seu estilo de explicação ou seja, tanto as crenças consideradas “verdadeiras” e racionais quanto as crenças consideradas falsas ou iracionais irão requerer que as causas de suas credibilidades sejam investigadas com critérios semelhantes; d) *reflexivo*, ou seja, seu padrão explicativo teria de ser aplicável à própria sociologia.

por si mesmas, mas apenas na medida em que se aprende algo com elas. Portanto, as perguntas relevantes são: o que se aprendeu a partir de determinada controvérsia e qual foi a importância de tal aprendizado...(SPRINGER, 1998, p.1)

Gavroglu (2007b), em outra vertente do debate sobre abordagens historiográficas, levanta duas questões cruciais; na primeira ele se pergunta para que auditório os historiadores das ciências escrevem, e arrisca uma resposta constatando que o público alvo é fundamentalmente grupos específicos de historiadores de ciências e que, fora desse alvo, existem ‘poucas pessoas cultas que sejam receptivas às suas obras’ e diz que existe um problema ainda maior que é o fato dos historiadores de ciências, mais de cem anos após a fundação da disciplina, não terem sido capazes de atingir, de forma mais densa, cientistas e historiadores. Na segunda questão, o autor se pergunta quais são os conhecimentos necessários para alguém se tornar um historiador das ciências e afirma:

Para nos ocuparmos de História das Ciências é necessário – para além dos conhecimentos científicos – um profundo conhecimento de história, das técnicas de investigação em história, não só dos problemas teóricos, mas também das diversas abordagens historiográficas, bem como, igualmente, das controvérsias que se desenrolam entre os historiadores das ciências a respeito dos temas que nos propomos estudar. (GAVROGLU, 2007b, p.64)

As controvérsias ‘que se desenrolam entre os historiadores das ciências’, que já não eram poucas, ganha pelo menos mais um item, sintetizado em Springer (1998), o de reavaliar a importância dos estudos de controvérsias para a História das Ciências. Tão importante quanto essa reavaliação é a tentativa de oferecer uma resposta para a seguinte pergunta: Quais são essas ‘diversas abordagens historiográficas’ e qual é a importância delas para a história das ciências?

1.1 As diversas abordagens

Loren Graham⁷⁷, em um artigo no qual defende que a heterogeneidade é uma das forças da disciplina, diz que o historiador da ciência, que vê o campo como uma área das ciências humanas e se ressente da intromissão de cientistas naturais em seu trabalho, encontra boa acomodação em departamentos de história. Aqueles que acreditam que a história da ciência é melhor conduzida por cientistas, irão se sentir melhor em

⁷⁷ Professora emérita de historia das ciências do MIT, autora do artigo ‘The intellectual strengths of pluralism and diversity’, que compõe o livro ‘Posicionando a história das ciências’ (GAVROGLU, 2007a).

departamentos de ciências naturais, como acontece na Universidade de Minnesota. Historiadores das ciências, que acreditam que a disciplina deve ser fortemente ligada ao seu contexto social, encontram um bom espaço em locais como a Universidade da Pensilvânia, onde existe um departamento de História e Sociologia da Ciência. Os que acreditam que a história da ciência deva ser vista em conjunto com seus fundamentos filosóficos, encontrarão, em locais como a Universidade de Indiana, onde existe um "Departamento de História e Filosofia da Ciência", um bom local para acolhê-los. Historiadores que acreditam que a história da ciência é melhor estudada em um grupo onde haja especialistas em 'uma variedade de disciplinas, incluindo sociólogos, cientistas políticos, psicólogos, professores de engenharia e ciência, economistas e historiadores', encontram em locais com programas CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) uma boa acolhida. "Meu programa no MIT é um exemplo", declara Graham.

Com tantas abordagens diferentes dificilmente haverá consenso. Historiadores das ciências que tenham boa formação na área científica, por exemplo, poderão entender que os cientistas constituem um importante público alvo; eles poderão arguir, ainda, que seus conhecimentos científicos, juntamente com uma pitada de erudição, são suficientes para torná-los historiadores. Por outro lado, historiadores das ciências que tenham sido fortemente influenciados pelo Programa Forte da sociologia do conhecimento, por exemplo, não farão muito esforço para trazerem os cientistas para seus auditórios e tampouco aceitarão que o conhecimento científico é tão fundamental assim para a formação do historiador de ciência. É em meio à abordagens tão díspares que o aluno que busca formação na disciplina terá que fazer suas escolhas. Qual abordagem historiográfica pode ajudá-lo a conduzir um estudo em história das ciências? Quais são os referenciais teóricos mais adequados para dar-lhes suporte? Essas não são perguntas fáceis, principalmente para alunos de história das ciências que fizeram sua graduação em áreas científicas mais duras e tiveram pouca incursão em áreas multidisciplinares.

Pestre (1996), no trabalho denominado “Por uma nova História Social e Cultural das Ciências: Novas definições, novos objetos, novas abordagens”, declara:

Guardadas as devidas proporções para uma disciplina de menor amplitude, a História das Ciências se encontra atualmente numa situação análoga à que prevaleceu nos anos 1930 para a História em seu conjunto. Esse quadro deriva de uma profunda renovação cujas origens residem nas abordagens contestatórias desenvolvidas, a partir dos anos 1970, visando redefinir a natureza das práticas científicas... (PESTRE, 1996)

O autor estava se referindo ao Programa Forte e aos programas que o sucederam. Seu objetivo era apresentar suas teses e mostrar, “com certa simpatia”, a força renovadora que neles se encontram:

O que esses estudos permitem fazer, afinal, é tomar distância em relação a nossas próprias práticas (aqueelas dos historiadores das ciências), a considerá-las com olhos mais sistematicamente críticos, e a identificar os pressupostos e as atitudes implícitas que governam nossas definições e enfoques, que delimitam nossas apostas e guiam nossas escolhas, particularmente face às grandes posições filosóficas propostas em relação às ciências. Nesse sentido – e esse é o meu sentimento – esses trabalhos só podem ser uma fonte de enriquecimento intelectual. (Idem)

É a chamada ‘*social turn*’ na história das ciências. Por trás dessas teses estavam nomes como David Bloor, Barnes, Collins, Latour, entre outros, e o entusiasmo da apresentação parecia significar que, qualquer um deles, poderia servir como um bom suporte teórico para um trabalho em História das Ciências. Chamou a atenção o enfoque proposto por Bruno Latour, sobretudo por ter sido ele que, em um trabalho de 1984, chamou a atenção para a importância das controvérsias para a História das Ciências. Ele se referiu, especificamente, ao movimento da controvérsia sobre o efeito das radiações nucleares em doses baixas, dizendo que ela “sofreu numerosos avanços e recuos e, apesar dos diversos fins que lhe foram dados, não parou de reacender”.

O trabalho de Latour começa a ganhar visibilidade em História das Ciências quando, nos anos 1970, ele se incorpora a um laboratório de bioquímica da Califórnia, como antropólogo residente, e procura estudar a atividade dos cientistas no seu próprio ambiente de trabalho. Esse movimento inicial de Latour o aproxima da visão de trabalho antropológico de Clifford Geertz, como pode ser visto na citação abaixo:

Para Geertz o trabalho antropológico sempre foi tarefa de ‘corpo a corpo’ – uma grande e complexa experiência de campo – mas nem por isso menos severa. Revelar as singularidades de outros povos, examinar o alcance e a estrutura da experiência humana, aí estavam dispostos os maiores trunfos dessa antropologia interpretativa, hermenêutica para alguns, simbólica ou criativa para outros, fundada nos anos 60 nos Estados Unidos. Ficavam guardados nos pequenos detalhes da vida vivida, na ideia de que a cultura é microscópica, mas também na capacidade descritiva e de interpretação, os trunfos desse novo movimento, que surgia sem querer e evitava a rubrica de escola ou as regras e modelos preestabelecidos. (SCHWARCZ, 2001)

Aliás, o próprio Geertz se expressa, de forma direta, em favor desse movimento quando ele declara:

Se você quer compreender o que é a ciência, você deve olhar, em primeiro lugar, não para as suas teorias ou as suas descobertas, e certamente não para o que os

seus apologistas dizem sobre ela; você deve ver o que os praticantes da ciência fazem. (GEERTZ, 1989)

Latour, em seu livro *Vida de Laboratório*, descreve essa experiência antropológica. Entretanto, é no livro *Ciência em Ação* que as pesquisas procuram ganhar a dimensão de teoria geral acerca do funcionamento da ciência moderna. Para ele a atividade científica consistiria em criar enunciados e “transladar”⁷⁸ ou “traduzir” interesses; isto é, a comunidade acadêmica deve sempre aumentar as alianças entre seus membros e entre estes, seus equipamentos, e o mundo objetivo, constituindo assim uma ‘rede’ que vincula os vários atores presentes e dá consistência à atividade científica.

Como “primeira regra metodológica”, Latour propõe que se estude a ciência em *ação*, e não a ciência ou a tecnologia pronta; para isso deve-se começar a abordagem antes que fatos e máquinas se tenham transformado em “caixas-pretas” ou devemos acompanhar as controvérsias que as reabrem.

1.2 Os problemas em torno do Programa Forte

O que Latour percebeu naquele laboratório de bioquímica pode ser generalizado facilmente para todos os ambientes de produção científica? A partir do momento em que Latour procura, guiado pela experiência antropológica, construir uma teoria geral acerca da atividade científica, ele começa a se afastar do propósito de Geertz de ‘produzir *insights*, no lugar da grande teoria arrumada’. Toda generalização é problemática e o autor deixa isso claro:

Os modelos que os próprios antropólogos elaboram para justificar a mudança de verdades locais para visões gerais têm sido, de fato, tão responsáveis em minar o esforço como qualquer coisa que seus críticos [...] foram capazes de inventar contra eles. (GEERTZ, 1989)

A intensidade das traduções de interesses é a mesma, tanto para um laboratório de bioquímica quanto, por exemplo, para um gabinete de física teórica? Esse é de fato um dos aspectos mais polêmicos do trabalho de Latour, o que é percebido por muitos autores.

⁷⁸ As palavras que aparecem na versão em português do livro de 1997 são ‘transladar’, e ‘translação’ em vez de ‘traduzir’ e ‘tradução’, como aparece em outros textos. O autor diz que prefere usar a palavra ‘translação’ pois “Além de seu significado linguístico de tradução (transposição de uma língua para outra), também tem um significado geométrico (transposição de um lugar para outro). Transladar interesses significa, ao mesmo tempo, oferecer novas interpretações desses interesses e canalizar as pessoas para direções diferentes [...] Os resultados de tais translações são um movimento lento de um lugar para outro. A principal vantagem dessa mobilização lenta é que problemas de âmbito restrito [...] agora estão solidamente amarrados a problemas bem mais amplos [...] Sutilmente urdida e cuidadosamente atirada, essa finíssima rede pode ser muito útil para manter os grupos em suas malhas.” (LATOUR, (1997, p.194).

Sem citá-lo explicitamente, mas referindo-se ao Programa Forte e às formulações mais moderadas que o seguiram, Thomas Kuhn diz:

...a imagem corrente da ciência [...] foi bastante transformada durante o ultimo quarto do século. Eu próprio contribuí para essa transformação [...]. A mudança penso, começou a gerar um entendimento, muito mais realista do que antes era disponível, daquilo que é o empreendimento científico. Essa transformação, porém, teve um subproduto – sobretudo filosófico, mas também com implicações para o estudo histórico e sociológico da ciência – que me preocupa, em especial por ter sido inicialmente enfatizado e desenvolvido por pessoas que com frequência se autodenominam kuhnianas. Penso que seu ponto de vista é perniciosamente equivocado, desgosta-me ser associado a ele, e faz anos que tenho atribuído essa associação a um mal entendido... (KUHN, 2003, p.134)

Para Kuhn, esses estudos históricos e sociológicos enfatizam a tal ponto o papel da ‘negociação’, da tradução de interesses, no estabelecimento de um consenso em um grupo científico, que parece sugerir que isso é “tudo o que há” na vida científica:

Estou entre aqueles que consideram absurdas as afirmações do programa forte: um exemplo de desconstrução desvairada. E, em minha opinião, as formulações históricas e sociológicas mais moderadas que procuram depois substituí-lo dificilmente são mais satisfatórias [...]. O programa forte e seus descendentes foram repetidamente rejeitados como expressões descontroladas de hostilidade à autoridade em geral e à ciência em particular. (KUHN, 2003, p. 136)

Início o mestrado, em 2007, acreditando que o Programa Forte e seus descendentes, articulados em torno de seus quatro princípios de métodos, apresentam boas formulações para se abordar as ciências de forma imparcial, simétrica, contextualizada, livre de julgamentos anacrônicos e livre de leituras retrospectivas que procuram apenas glorificar os cientistas e suas atividades. Ao longo da formação vejo críticas qualificadas tratando essa abordagem como um “exemplo de desconstrução desvairada”. Para Kuhn, houve excesso na ênfase dada ao papel do poder, da negociação e dos interesses externos. Segundo ele, essa e outras características políticas são compartilhadas por todas as práticas humanas, e a atividade científica não é mais imune a elas do que qualquer outra atividade:

...As práticas humanas em geral, e as práticas científicas em particular, evoluíram no decurso de um longo período de tempo, e seu desenvolvimento forma algo que em linhas gerais, assemelha-se a uma árvore evolutiva. Algumas características das várias práticas entraram em cena bem cedo nesse desenvolvimento evolutivo, e são compartilhadas por todas as práticas humanas. Considero poder, autoridade, interesses e outras características “políticas” como incorporadas a esse conjunto original. Os cientistas não são mais imunes a elas do que qualquer outra pessoa, fato que não deveria ter causado surpresa. (KUHN, 2003, p. 147)

Mais incisivo ainda são as profundas rachaduras dentro do próprio grupo, expostas por Bloor (1999) em seu trabalho denominado “Anti-Latour”. Logo na introdução do trabalho fica claro que, se antes havia de fato uma certa afinidade entre os membros daquele grupo, essa afinidade parecia não ter mais força para chegar ao século XXI. Vejamos as palavras iniciais do autor:

Bruno Latour é um veemente crítico da sociologia do conhecimento em geral, e do Programa Forte em particular [...]. O trabalho de Latour e o Programa forte na sociologia do conhecimento são frequentemente classificados juntos sob a rótulo de ‘construtivismo social’, e isso cria a impressão que os dois empreendimentos devem ser fundamentalmente similares. Isso é reforçado pelo fato de que Latour pretende ir mais longe do que os sociólogos do conhecimento, cujo trabalho é dito representar algo como um meio-termo. Ele acha que os sociólogos não são suficientemente radicais em sua crítica da ciência (Latour, 1992, p. 273). No entanto, na realidade, as duas abordagens se opõem profundamente. (BLOOR, 1999)

Em sua réplica, Latour não esconde que se sente em débito com o Programa Forte, em particular com o princípio da simetria, que permitiu a ele “escapar da dominação dos epistemólogos franceses”. Entretanto, ele deixa claro a falta de consenso dentro do grupo:

Fico feliz em aproveitar a oportunidade dada a mim para ilustrar o quão pouco consenso existe neste campo rotulado como "anti-ciência". Um amigo meu cientista, cauteloso no início dos *Science Studies*, suspirou de alívio ao perceber que estavam todos em desacordo um com o outro: "Então, você é como o resto de nós, ele disse!" [...] A verdade é que, depois de tantas voltas e reviravoltas, *Science Studies* tem há dez anos escapado do estreito confinamento em que David quer mantê-lo. O Programa Forte foi útil e ainda o é contra os poucos epistemólogos remanescentes. Tornou-se um obstáculo para a continuação dos *Science Studies*. (LATOUR, 2012)

Tanto quanto seu amigo cientista, Latour, nessa citação, parece à vontade com a falta de consenso no grupo, fato que, aparentemente, o deixa mais próximo dos cientistas do que do Programa Forte e dos sociólogos do conhecimento. Essa proximidade, entretanto, é só aparente, uma vez que os cientistas estão longe de ‘festejarem’ algumas ideias de Latour. É o caso, por exemplo, dele entender como uma boa regra metodológica para se acompanhar a ciência aquela que permita que **não especialistas** acompanhem melhor, por mais tempo e de forma mais independente, seus estudos sobre a Ciência e a Tecnologia. Essa ‘regra’ parece ser problemática, pois pode estimular jovens historiadores a não atribuírem importância à compreensão dos princípios e conceitos envolvidos nos seus objetos de estudos. O próprio Latour foi severamente criticado por conta dessa característica:

O sociólogo da ciência Bruno Latour é muito conhecido por seu livro *Science in action* [...] muito menos conhecida é sua análise semiótica da teoria da relatividade [...] Neste capítulo iremos examinar a interpretação que Latour dá à relatividade e

mostrar que ela exemplifica perfeitamente os problemas com que depara um sociólogo que tem por meta analisar o conteúdo de uma teoria científica que não comprehende bem. (SOKAL, 2010, p.125)

Para quem desconfia dos reais objetivos de Sokal, por conta de suas ‘imposturas’, convém prestar atenção nas palavras de Kostas Gavroglu; sem citar nenhum autor ou obra especificamente ele diz:

A investigação sem um conhecimento em profundidade do objeto cuja história se pretende estudar e investigar é manifestamente uma figura não só contraditória mas também invalidante de qualquer empreendimento. A transformação das investigações de História das Ciências em investigações de Sociologia das Ciências ou em estudos das estratégias retóricas ou das características semiológicas dos textos científicos é *absolutamente legítima*, mas tudo isso, só por si, não constitui a História das Ciências. (GAVROGLU, 2007, p.63-64)

No prólogo de seu trabalho “O passado das ciências como História”, Gavroglu vai mais adiante e é ainda mais contundente:

Sou igualmente categórico ao afirmar que todos quantos começam a alinhar receitas sobre a maneira como devemos fazer História das Ciências – e não só – sem que eles próprios tenham aduzido a mais pequenina amostra de elaboração sistemática de um problema concreto, estão a importunar-nos com problematizações que tem, provavelmente, um interesse suficiente, mas que nos ajudam muitíssimo pouco a fazer História das Ciências. Pelo contrário, polarizam a comunidade, colocando num dilema os seus jovens membros, que são chamados a optar entre ‘escolas’, entre ideologias e, em última análise, entre personalidades que, através de polarizações muitas vezes artificiais, são consideradas como ‘representantes de escolas’. (GAVROGLU, 2007, p. IX)

1.3 O que a História das Ciências pode manter desse debate

As críticas contundentes de Kuhn parecem sugerir que é impossível uma aproximação, mas o próprio autor indica que ele e os filiados ao Programa Forte, em muitos momentos, defendem posições semelhantes, porém com argumentos diferentes. É assim, por exemplo, em relação ao que eles consideram o que seja a “verdade” buscada pelas teorias científicas. Kuhn (2003) argumenta que mesmo a simples afirmação de que “leis e teorias científicas sucessivas chegam cada vez mais perto da verdade”, é difícil de ser mensurada sem uma “plataforma arquimediana” imaginária que pudesse fornecer uma referência “para medir a distância entre a crença corrente e a verdadeira”:

...Em primeiro lugar, a plataforma arquimediana, fora da história, fora do tempo e do espaço, está definitivamente abandonada. Em segundo, na falta dela, uma avaliação comparativa é tudo que dispomos. O desenvolvimento científico é, como a evolução darwiniana, um processo empurrado por trás em vez de puxado em direção a algum objetivo fixo do qual ele se aproxima cada vez mais. E, em terceiro lugar, se a noção de verdade tem um papel a desempenhar no desenvolvimento científico, e argumentarei em outro lugar que tem, então a verdade não pode ser nada muito parecido a uma correspondência com a realidade[...]até aqui, minha posição é muito semelhante à do Programa Forte – os

fatatos não são anteriores às conclusões extraídas deles, e essas conclusões não podem ter pretensões à verdade. Mas cheguei a essa posição partindo de princípios que devem governar todos os processos evolutivos, ou seja, sem precisar recorrer a exemplos reais de comportamento científico. Nada ao longo desse trajeto sugeriu substituir evidência e razão por poder e interesses. Claro que poder e interesses desempenham um papel no desenvolvimento científico, mas há espaço para muitas outras coisas além disso. (KUHN, 2003, p.145)

Shapin (2012) alerta, de forma apropriada, que embora alguns sociólogos afirmem que as representações científicas são “construções sociais” eles não estão tacitamente dizendo que “a ciência é *somente* uma construção social”. Reconhece, ainda, que é vital que sociólogos e historiadores procurem compreender a matéria sobre a qual eles escrevem, mas lembra de que essa também é uma obrigação dos cientistas, quando escrevem sobre a sociologia e a história das ciências, e arremata:

Ao mesmo tempo seria de se esperar que se admitissem fragilidades humanas e profissionais normais e que [devêssemos esperar] por um nano segundo antes de imputarmos uns aos outros as razões mais básicas possíveis de incompetência e seus graus mais famigerados. Há de fato alguns trabalhos de qualidade inferior na sociologia e nos estudos culturais, e alguns cientistas naturais dizem em público de maneira persuasiva que há trabalho de qualidade inferior em suas partes da ciência. *Não há desculpas para a qualidade inferior onde quer que ela seja encontrada.* Mas deveríamos, ao mesmo tempo, dar certo desconto uns aos outros. Errar é humano, mas é igualmente provável que erremos ao avaliar as intenções uns dos outros, assim como erros grosseiros são cometidos, ou que esteja em exercício a hostilidade disciplinar. Antes de se apontar o dedo aos outros na imprensa ou em plataformas públicas, poderíamos fazer a tentativa de conversar em um café ou em um bar. O resultado provável seria pressão arterial mais baixa e uma cultura pública menos tóxica. (SHAPIN, 2012, p.13)

Ainda nessa mesma direção, é necessário destacar que algumas dificuldades do Programa Forte já aparecem em Pestre (1996), um de seus entusiastas. Embora ele tenha reconhecido que o grupo ‘atuou de forma bem coordenada até metade dos anos 1980’, não lhe escapou a observação de que alguns princípios não foram bem recebidos e:

...perdem rapidamente seu fascínio. É este notadamente o caso da condição de causalidade, herdada de Karl Manheim, e que remete a uma concepção estreita da explicação histórica [...] Na realidade, apenas as condições de simetria e imparcialidade permanecem unanimemente aceitas, tornando-se assim emblemas do grupo. (PESTRE, 1996)

Embora não se possa ignorar possíveis excessos ou dificuldades em alguns de seus princípios fundadores, parece necessário dizer que a história das ciências, antes do Programa Forte, tratava a ciência de forma menos crítica, acima dos interesses políticos, econômicos e culturais da sociedade. O programa ajudou a desmistificar aquela visão e, assim, não é de todo estranho que o ‘determinismo social’, presentes na agenda inicial das correntes historiográficas influenciadas pelo programa, procure, nas palavras de LATOUR (1997), lutar “corajosamente contra o determinismo técnico”, presente nas proposições

científicas. E por que o foco nas ‘controvérsias’? Justamente porque, ao longo delas, as alegações não estão fundamentadas em fenômenos da natureza facilmente reprodutíveis nos laboratórios dos cientistas. Nessas situações a natureza não pode ser usada como árbitro final, “pois ninguém sabe o que ela é ou diz”, restando ao historiador a alternativa de ser tão relativista quanto os cientistas.

Isso, em absoluto, significa dizer que não existam proposições que venceram a corrida probatória e se transformaram em fatos tão bem estabelecidos que será muito “caro” abrir essas “caixas pretas”. É fato, por exemplo, que a radiação em doses altas é danosa aos seres vivos. Nessas partes deve-se ser tão realistas quanto aqueles que as descrevem pois o conjunto de evidências é farto e consistente. Para essas zonas da ciência, que Latour chama de “frias”, ele diz que não há porque alimentar dúvidas pois a natureza fala de forma suficientemente clara para tornar o custo da controvérsia muito alto para “um cidadão comum, ainda que se trate de um historiador ou sociólogo da ciência”. No trecho seguinte ele expressa seu pensamento de forma mais contundente:

Essa divisão de interpretação relativista e realista da ciência levou os analistas da ciência ao desequilíbrio. Ou continuavam sendo relativistas mesmo em relação às partes resolvidas da ciência – o que os fazia parecer ridículos – ou continuavam sendo Realistas mesmo em relação às partes quentes e incertas – e faziam papel de bobos [...] Não tentamos solapar a solidez das partes aceitas da ciência. Mas assim que tem início uma controvérsia nos tornamos tão relativistas quanto nossos informantes. No entanto, não os seguimos passivamente porque nosso método nos permite documentar tanto a construção do fato quanto da ficção, do frio, do quente... (Idem, p.166)

Esse pensamento mostra que não é estranho, para o autor, a ideia de que jogo de interesses não é “tudo que há” na atividade científica. Existem, sim, partes tão bem resolvidas da ciência que não há porque abrir essas ‘caixas pretas’. O problema está em achar que todas as proposições feitas em nome da ciência possuem essa característica. “Producir ciência”, nesse contexto, se resumiria em proteger esse conteúdo científico, em textos com linhas de defesa bem estruturadas, e estaria determinada a sua validade universal:

A diferença entre um texto comum em prosa e um documento técnico é a estratificação deste último. O texto é organizado em camadas. Cada afirmação é interrompida por referências que estão fora do texto ou dentro dele, em outras partes, nas figuras, colunas, tabelas, legendas, gráficos. Cada um destes, por sua vez, pode remeter a outras partes do mesmo texto ou para mais referências externas. Num texto tão estratificado, o leitor realmente interessado na sua leitura está tão livre quanto rato em labirinto. A transformação da prosa linear numa, digamos, formação entrelaçada de linhas de defesa é o sinal mais seguro de que um texto se tornou científico.” (Idem, p.81-82)

Latour complementa dizendo que um texto sem referências externas está ‘nu e vulnerável’ mas que, mesmo com essas referências, ainda estará fraco enquanto não for estratificado. Em textos estratificados as observações são codificadas e separadas segundo o significado estatístico; nenhuma parte do artigo é autônoma e sim ligada a outras camadas do texto. Essa estratégia passa para o leitor uma impressão de “profundidade de visão; com tantas camadas a sustentarem-se mutuamente, cria-se uma brenha, algo em que não se pode abrir nenhuma brecha sem um esforço ingente...”. Combater textos assim é como guerrear contra tanques dispondo-se apenas de meras espadas. Nesses textos, uma ‘sentença fabricada’ pode muito bem passar desapercebida aos olhos de muitos, camouflada em meio a centenas de camadas e de precauções metodológicas. Quem se propõe a analisar os textos não estará indo diretamente do argumento do autor para o laboratório, e sim do autor para outros autores, ou seja, de um certo número de aliados para um número ainda maior deles, de forma que desacreditar de um texto assim:

...não só significará lutar corajosamente contra uma grande massa de referências, como também desmaranhar infindáveis laços que amarram, uns aos outros, instrumentos, figuras e textos. E o que é pior: o discordante será incapaz de opor o texto ao mundo real de fora, visto que o texto de fato afirma trazer o mundo real ‘para dentro dele’. O discordante de fato estará isolado e sozinho, uma vez que o próprio referente passou para o campo do autor [...] Discordante também é gente; chega uma hora em que não dá para enfrentar tanta desvantagem [...] Em minha anatomia da retórica científica estou sempre indo do leitor isolado, diante de um documento técnico, para o autor isolado, a lançar seu documento em meio a um enxame de leitores discordantes ou indiferentes. Isto porque a situação é simétrica: se isolado, o autor deve encontrar novos reforços para convencer os leitores... (Idem, p.84)

Esse conjunto de defesas impressiona e pode fazer com que um historiador, não familiarizado com os textos científicos, tente submetê-los, exclusivamente, à técnicas de análise do discurso, à contagem de citações, à realização de estudos semióticos ou seja, usar técnicas de crítica literária na literatura técnica. O cauteloso agora é o próprio Latour, ao considerar que esses estudos não são suficientes para acompanhar o trabalho de cientistas pois, por trás dos textos, existe algo mais do que meras palavras: os dados obtidos direta ou indiretamente do laboratório. Por tudo isso, os artigos científicos forçam o leitor a optar entre três possíveis saídas: desistir, aderir ou refazer os caminhos percorridos pelo autor.

Refazer significaria sair do texto para o labirinto do ‘laboratório’, entidade que representa para os cientistas o diferencial por trás do texto científico. Como, durante as controvérsias, os resultados dos laboratórios têm pouco à esclarecer, fica claro a importância delas para uma história da ciência crítica; fica claro, também, que os estudos de controvérsia, influenciados pelo Programa Forte, descreveram, de forma razoável, aspectos

importantes da ‘anatomia da retórica científica’. Isso ajuda na compreensão da natureza da atividade científica, e pode ajudar a subsidiar decisões em situações nas quais elementos da Ciência, Tecnologia e Sociedade não estejam bem harmonizados.

Não se pode perder de vista que uma parcela significativa da produção científica dos dias de hoje está vinculada à indústria, e isso pode levar facilmente à conflitos de interesses entre os acionistas (que querem que os produtos da tecnociência industrial remunerem bem seus investimentos) e a sociedade como um todo (que espera que os produtos possam trazer saúde, bem-estar e qualidade de vida não apenas no curto prazo). Trata-se de um aspecto muito importante com o qual Dominique Pestre ocupou-se no artigo “*Public participation and industrial technoscience today: the difficult question of accountability*”, disponível no livro organizado por Gavroglu e Renn, “Posicionando a história das ciências”, de 2007.

Nesse livro, composto por um conjunto de artigos escritos sobre o tema a pedido dos organizadores, fica claro que não é apenas o programa forte e seus descendentes, mas sim toda a história das ciências que está passando por um momento de profunda reflexão. Um desses artigos, escrito por Paul Forman,⁷⁹ repercute a ideia de que a História das Ciências estava ‘cada vez menos preocupada com o que a ciência realmente é e preocupada mais e mais com a imposição dos líderes culturais’. Sendo assim, prossegue Forman, ‘tornase cada vez mais seguro dizer que onde a história geralmente está hoje, a história das ciências estará uma ou duas décadas a partir de agora’.

Baseado em que ele afirma isso? Contando o uso de determinadas palavras nos periódicos *ISIS* e *The American Historical Review*. A frequência da palavra ‘social’ cresceu na História por volta da década de 1950. O mesmo fenômeno só aconteceu na História das Ciências por volta da década de 1970. No final da década de 1960, o uso da palavra ‘moral’ cresceu na História. A frequência dessa palavra começou a crescer no final da década de

⁷⁹ Paul Forman é um Historiador da ciência americano, autor do trabalho “A cultura de Weimar, a Causalidade e a Teoria Quântica, 1918-1927”, no qual ele procura mostrar que a substituição da antiga mecânica quântica de Max Planck pela mecânica quântica de Born, Heisenberg, Schrödinger e Bohr pautou-se não apenas por motivações intrínsecas à física mas, também (ou seria principalmente?), por fatores sociológicos que levaram os físicos e matemáticos da “República de Weimar” a se adaptarem a um ambiente intelectual hostil, característico do período imediatamente posterior à derrota da Alemanha na primeira guerra mundial.

1980 na História das Ciências. Forman sugere que essa fragmentação dos enfoques está fazendo ressurgir a velha história das ciências internalista⁸⁰, escrita por cientistas.

1.4 Uma aproximação ‘bem vinda’ com a história...

O estudo de Forman parece favorecer a opinião de Yves Gingras⁸¹, que acredita que a disciplina história das ciências ficaria melhor acomodada em um Departamento de História, o que já é realidade em alguns centros. Isso, de acordo com essa opinião, daria mais autonomia à disciplina e a ajudaria em problemas já enfrentados, no passado, pela disciplina história. A ‘guerra’ que se trava desde a década de 1970, em torno de novas abordagens historiográficas em história das ciências, por exemplo, não é muito diferente da ‘guerra’ travada por Marc Bloch e toda a primeira geração dos *Annales*: “Tratava-se de uma espécie de guerra de trincheiras contra a história exclusivamente política e militar; uma história até então segura e tranquila diante dos eventos e da realidade que buscava anunciar” (BLOCH, 2002).

Destaque-se ainda a tentativa de Bloch de esboçar uma história do método crítico, começando por alertar que não se deve aceitar ‘cegamente todos os testemunhos históricos’ visto que nem todos os relatos são verídicos e mesmo documentos concretos podem ser falsificados. Segundo o autor era um lugar comum entre 1680 e 1690 se denunciar o “pirronismo da história”, repercutindo a ideia de que “a retidão do espírito consiste em não acreditar levianamente e em saber duvidar de várias descobertas”. Na tentativa de identificar alguns precedentes do método crítico, ele cita algumas datas e autores:

...Paperbroeck – que, embora se enganasse sobre documentos, não deixa de ter seu lugar, na primeira fila, entre os fundadores da crítica aplicada à historiografia -, 1628; Mabillon, 1632; Richard Simon, cujos trabalhos predominam nos primórdios da exegese bíblica, 1638. Acrescentem, fora da coorte dos eruditos propriamente ditos, Espinosa – o Espinosa do *Tratado teológico-político*, essa

⁸⁰ Shapin (1992) considera que a distinção entre aproximações internalista/externalista tem sido uma “esquizofrenia passageira”. Para ele, tratar essa questão como teoria de mudança científica é o mais coerente: “...mudanças científicas ocorrem (inteiramente/principalmente/parcialmente) em resposta à fatores intrínsecos/extrínsecos [...]. Contudo, praticantes tem intermitentemente invocado o discurso Internalista/externalista não como uma teoria de mudança, mas como uma direção de foco histórico”.

⁸¹ Professor do Departamento de História, Universidade de Québec, Montreal, autor do artigo ‘The search for autonomy in history of science’, que compõe o livro ‘Posicionando a história das ciências’ (GAVROGLU, 2007a).

pura obra-prima de crítica filológica e histórica -, 1632 também. No sentido mais correto da palavra, é uma geração cujos contornos ainda se desenham diante de nós, com uma espantosa nitidez. Mas é preciso esclarecer mais. É muito exatamente a geração que veio à luz no momento em que era publicado o *Discurso do método*. (BLOCH, 2002, p. 91-92)

No parágrafo seguinte o autor esclarece que, não obstante a contemporaneidade, não se tratava, propriamente, de “uma geração de cartesianos”. Muitos não conheciam de perto a filosofia de Descartes, embora a crítica do testemunho histórico compartilhasse com a mesma a ideia de confrontar a “credulidade”, ainda que com perspectivas diferentes:

Os documentos manejados pelos primeiros eruditos eram, no mais das vezes, escritos que se apresentavam por si só ou que eram apresentados, tradicionalmente, como de um autor ou época dados; que contava deliberadamente estes ou aqueles acontecimentos. Diziam a verdade? Os livros qualificados de “mosaicos” são realmente de Moisés? [...] O que valem os relatos do *êxodo*? Aí reside o problema. Mas, à medida que a história foi levada a fazer dos testemunhos involuntários um uso cada vez mais frequente, ela deixou de se limitar a ponderar as informações explícitas dos documentos. Foi-lhe necessário também extorquir as informações que eles não mencionavam fornecer [...] (BLOCH, 2002, p. 95)

Ao longo da análise dessa controvérsia, sobre o efeito das radiações ionizantes em doses baixas, muitas informações que os atores “não mencionavam fornecer” tiveram que ser “extorquidas”, discutidas, comentadas, criticadas, à luz dos objetivos traçados no início do trabalho, principalmente o de tentar compreender a natureza dos argumentos usados na defesa de suas posições. E certamente traz conforto saber que tal procedimento, ainda que possa ser entendido como uma interferência indevida do autor nas fontes analisadas, encontra apoio em uma metodologia crítica da História que remonta ao século XVII. Essa é uma das razões pela qual uma maior aproximação, com a disciplina História, é importante: ela amplia o leque de possibilidades de abordagens que a História das Ciências pode dispor, embora possa, também, deixar historiadores das ciências de “primeira viagem” com alguma dificuldade de “calibrar” a narrativa e identificar até onde ele pode ir com a abordagem crítica.

Reconhecer a importância da disciplina História, entretanto, não implica, necessariamente, em aceitar que a ‘proteção’ de um Departamento de História seja a solução de todos os problemas. Acreditar nisso é acreditar, por exemplo, que existe unanimidade em torno das abordagens historiográficas em uso nos Departamentos de História. Schwarcz (2001), em seu artigo sobre o trabalho de Geertz, desaconselha esse pensamento quando diz que o autor ‘Provocou a todos quando editou *Works and lives*, indicando como, no ambiente intelectual, não há unanimidade possível.’ Ela acrescenta ainda:

Geertz não tem medo do debate e é esse modo tão próprio de ser e de fazer antropologia que aparece, bem caracterizado, nas páginas dessa última coletânea de ensaios. Nela, o antropólogo norte-americano, com sua verve conhecida, retoma grandes temas da disciplina, faz um balanço da situação atual, repensa autores e escolas, isso tudo sem deixar de desfazer de seu próprio trajeto pessoal. (SCHWARCZ, 2001)

Isso mostra que as polêmicas, em torno das abordagens e a necessidade de ‘repensar’ permanentemente a disciplina, é comum a ambas: História e História das Ciências. O que se pode dizer, sem sombra de dúvidas, é que uma aproximação maior entre as duas disciplinas é bem-vinda e necessária. Essa aproximação será boa não pela suposta ‘estabilidade’ existente em torno das abordagens praticadas nos Departamentos de História mas, sobretudo, porque esses departamentos, já calejados por inúmeros debates, não se assustam tanto com eles e talvez estejam menos preocupados, do que seus colegas historiadores das ciências, em estabelecer consensos, afinal,

A força de nossas interpretações não pode repousar, como acontece hoje em dia com tanta frequência, na rigidez com que elas se mantêm ou na segurança com que são argumentadas. Creio que nada contribui mais para desacreditar a análise cultural do que a construção de representações impecáveis de ordem formal, em cuja existência verdadeira praticamente ninguém pode acreditar. (GEERTZ, 1989)

Pensamentos como esse, mesmo sendo oriundos da História, referendam uma aproximação também com a História, mas não exclusivamente com ela. Eles reforçam, sobretudo, a importância do pluralismo e da diversidade de visões em história das ciências, já reconhecidas por Loren Graham como a força da disciplina. O que parece fundamental é não se fechar em torno desse ou daquele referencial, com a ilusão de que, apenas ele, possa dar respostas a todos os problemas teóricos de uma obra de História das Ciências. Procurar, inspirado na força da pluralidade, cada contribuição, ainda que infinitesimal, que as diversas abordagens possam oferecer, ajuda a desenvolver a disciplina. Esta tese de doutorado, por exemplo, estuda um período tão recente que são inevitáveis certas perguntas: Pode-se chamar tal trabalho de História? Como diferenciá-lo de um trabalho de jornalismo científico, por exemplo? A procura de respostas para perguntas dessa natureza tem mobilizado vários historiadores e está longe de haver unanimidade em torno do assunto, o que ilustra o fato de que a tal ‘estabilidade’, que os Departamentos de História poderiam oferecer à História das Ciências, não é tão fácil assim. Os autores A. Chauveau e Ph. Tétard, organizadores do livro “Questões para a história do presente”, abordam bem essas dificuldades:

...História do presente, história próxima, história imediata: estas três locuções não fazem referência às mesmas cronologias. Entretanto, esses três tempos históricos pertencem ao campo do ‘muito contemporâneo’, o do século XX amputado de seu primeiro terço. Sob muitos aspectos, as questões que se colocam a um são válidas para os outros dois, porque a contração cronológica, o tipo de arquivos e a

natureza dos objetos, dos campos fundam um só e mesmo tema [...] A história imediata é a que suscita mais desconfiança, pois é a que parece engendrar o maior paradoxo fazendo rimar dois termos contraditórios: imediato e história. Pode-se falar de uma história do imediato? Essa história é legítima? (CHAUVEAU, 1999, p. 20)

Citando um comentário de Lucien Febvre, que afirmara que ‘a análise do presente’ podia dar ‘a régua e o compasso’ à pesquisa histórica, e assinalando que foram a pressão jornalística e a demanda social, conjugadas, que impuseram os princípios da história imediata a partir da metade da década de 1950, o autor declara:

...De fato, o procedimento da história imediata é mais parecido com as técnicas jornalísticas do que com as da ciência histórica. Os fatores conjugados que lhe deram nascimento não resultam, em primeiro lugar, do princípio inicial da história: o recuo, o desprendimento com relação ao fato. Isto não implica, aliás, que a história imediata seja exclusivamente determinada por essas técnicas e que não seja tributária da pesquisa científica [...] Vista como objeto, a história do imediato é testemunho. Este é seu valor intrínseco. Este testemunho pode tomar a forma de uma análise que, hierarquizando uma primeira vez as questões, os fatos, fornece conjuntamente arquivos, depoimentos, pistas de pesquisa e esboços de interpretação. Ainda que mantenha um aspecto científico, a história do imediato permanece principalmente uma matéria para reflexão, como todas as histórias, é verdade, mas ao preço de uma releitura. (CHAUVEAU, 1999, p. 22-24)

O fato de abordar uma controvérsia aberta, que envolve um tema de grande interesse científico, social e econômico do tempo presente, já denuncia que o autor dessa tese pode ser visto como mais um ator, cuja intervenção na controvérsia “pode ser tomada como uma revisão crítica da literatura que deve contribuir para o seu desfecho”⁸². A crítica procede, e infelizmente, esse parece ser um efeito colateral de qualquer obra de História que aborde o tempo presente; é difícil para ela escapar de ser vista como uma revisão crítica da literatura pois, para desvendar os aspectos históricos e científicos relevantes, ela, de fato, deverá proceder uma revisão do que foi escrito sobre o assunto; parece, também, ser inerente a qualquer obra de história, escrita enquanto os fatos ainda se desenrolam, a “possibilidade” que a mesma possa contribuir para o desfecho dos mesmos. Entretanto, a possibilidade de uma obra de história das ciências ajudar a resolver uma controvérsia científica bem estabelecida parece ser remota o suficiente para desencorajar quem tenha essa pretensão. A expectativa deve ser bem menor, a de procurar, aproximando-se de metodologias não estranhas à pesquisa histórica, desenvolver um estudo que possa interessar como “uma matéria para reflexão, como todas as histórias, é verdade, mas ao preço de uma releitura”.

⁸² Essas e outras considerações foram feitas pelo Prof. Flávio Edler, em um parecer preciso e instigante que ele concedeu para a Banca de Qualificação, o que muito nos honrou e contribuiu para o aperfeiçoamento da versão final dessa tese.

Essa releitura, entretanto, não será feita sob a ótica exclusiva de especialistas ou jornalistas. Esse é seu valor intrínseco: o de ter o potencial de proporcionar uma análise crítica de temas de interesse de nossa época, ancorada em abordagens comuns tanto à História como um todo, quanto à História das Ciências em particular, que sirvam como “matéria para reflexão”, para os cidadãos que os vivenciam, e como fonte para futuras pesquisas. O desafio é não deixar que esse “potencial” possa iludir o historiador das ciências, principalmente o iniciante, e fazê-lo acreditar que ele ocupa uma posição privilegiada de “juiz” da “racionalidade científica universal”⁸³, que irá conferir “certificado de conformidade” a essa ou àquela proposição científica. A expectativa deve ser bem mais modesta e partir do princípio que o historiador da ciência, ao longo de sua formação, pode ter conseguido reunir recursos metodológicos capazes de subsidiar uma abordagem crítica do seu objeto de estudo; isso o qualifica, tão somente, para reivindicar o direito de também poder participar do debate, e assim, oferecer um contraponto às versões dos especialistas e dos jornalistas.

Feitas essas considerações, numa tentativa de identificar os problemas e as diversas influências teóricas que permearam essa narrativa, voltemos à constatação de Gavroglu (2007b), quanto ao restrito público alvo dos historiadores de ciências. Talvez seja opportuno acrescentar que professores e alunos da área das ciências, a despeito da expectativa que se criou em torno de uma aproximação entre a História das Ciências e o Ensino de Ciências, também estão ausentes desse seletº auditório. Aqui parece ser necessário notar um aspecto importante da citação de Collins (2000), apresentada no início desse anexo. Ele foi categórico quando disse que a História da Ciência oficial era adequada para os cientistas, porém prejudicial para aqueles que “necessitam compreender não o conteúdo científico, mas a maneira como os fatos científicos são estabelecidos”. Sendo assim, em qual auditório se deve colocar os professores e alunos da área das ciências uma vez que eles, embora não sejam cientistas, precisam conhecer tanto o conteúdo quanto a forma como o mesmo foi estabelecido? Como construir uma narrativa que possa interessá-los? Basta ser um ‘estudo de controvérsia’ para se assegurar o ‘sucesso’ da abordagem?

Nesse sentido, parece conveniente levar-se em consideração o argumento apresentado por Springer (1998), principalmente quando ele condiciona o ‘sucesso’ do estudo ao que ele possa, de fato, ensinar sobre o assunto e não à controvérsia em si mesma.

⁸³ Vide nota de rodapé anterior

É inegável que os estudos de controvérsias, talvez o principal legado do Programa Forte, ajudaram a entender melhor a natureza da ciência, como ela é produzida, as tensões, os interesses envolvidos. Mas esse fato, não obstante sua importância, não parece ter sido suficiente para fazer a História das Ciências sair do círculo restrito dos historiadores das ciências, onde ainda se encontra. Ou seja, se considerarmos que é importante ampliar esse auditório, será necessário encontrarmos abordagens historiográficas que possam oferecer algo mais.

Entender o público ligado ao Ensino de Ciências como um alvo a ser atingido pela História das Ciências, mesmo com todas as dificuldades da empreitada, talvez ajude a formatar abordagens que consigam alcançar, paulatinamente, outros auditórios. Isso, adicionalmente, ajudaria a balancear as narrativas pois, para esse público, é importante que se compreenda os interesses (econômicos, políticos, profissionais, etc) em torno das proposições ‘científicas’, mas se compreenda, também, os conceitos e o conteúdo científico em si mesmos. Ainda para esse público, uma história das ciências, do tempo presente, tenderia a ser um problema menor se compararmos com o interesse, que temas e problemas do nosso tempo, podem vir a despertar nos alunos e professores da área. Quais são os riscos, de fato, de baixas doses de radiações ionizantes? Como se comportar diante de um exame radiológico se os mesmos implicam em certos riscos? Deve-se ou não viver ou frequentar lugares de altos níveis de radiação natural, como as praias de Guarapari, por exemplo? A produção de energia elétrica a partir da fissão nuclear, diante dos riscos das radiações, deve ou não ser abandonada? A essência desse trabalho foi acompanhar as respostas que os cientistas e a sociedade vêm dando para essas questões, inspirado em uma tradição que começou com o Programa Forte, mas buscando uma aproximação com a História e com a área de Ensino de Ciências.

Referências bibliográficas

- ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia.** São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- AGUIAR, P. Chernobyl: uma lição aprendida. **Revista Brasil Nuclear-ABEN**, Rio de Janeiro, n.30, 2006.
- ANDRADE, A. **A opção nuclear – 50 anos rumo à autonomia.** Rio de Janeiro: MAST, 2006.
- ANDRADE, E.; BAUERMANN, L. **Introdução à Radiobiologia.** Santa Maria: Editora UFSM, 2010.
- ANTI-NUCLEAR & CLEAN ENERGY (ACE) CAMPAIGN. The Chernobyl Death Toll. **Friends of the Earth**, Australia, November 2009. www.foe.org.au/anti-nuclear.
- BAIARDI, A. Academias de Ciências, história e peculiaridades. In: Fábio Freitas et al (Orgs.). **Anais do II Encontro Nacional de Pesquisadores em História das ciências ENAPEHC 2011**, v. 1, p. 32-37, 2012.
- BARROS, F. O manifesto Russel-Einstein e as Conferências Pugwash. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.
- BARROSO, D. **A física dos explosivos nucleares.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2^a edição, 2009.
- BEIR V. **Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation.** Washington: National Academies Press. Relatório do Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, National Research Council, 1990.
- BEIR VII. **Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation.** Washington: National Academies Press. Relatório do Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council, 2006.
- BEYEA, J. Editorial: Special issue on the risks of exposure to low-level radiation. **Bulletin of the Atomic Scientists**, 2012.
- BLOCH, M. **Apologia da história ou o ofício de historiador.** Rio de Janeiro: Zahar, 2002.
- BONIS, G. Exposição à poeira fez os bombeiros do 11 de setembro desenvolverem câncer mais cedo. **Carta Capital**, 12 de novembro de 2012.
- BRASIL-MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria 453 de 02 de junho de 1998 - Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1998.
- BROWN, A. Transatlantic Travails. In: Cynthia Kelly (Org.) **The Manhattan Project**, New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 2007.

CALEGARO, J. Controvérsias sobre radiação ionizante. **Brasília Med**, Brasilia, 2005.

CALEGARO, J. CARTA AO EDITOR: Baixos níveis de radiação ionizante causam câncer? **Radiologia Brasileira**, vol.40 no.4 São Paulo July/Aug. 2007.

CALABRESE et al. Toxicology rethinks its central belief – Hormesis demands a reappraisal of the way risks are assessed. **Nature**, n. 421, p. 691-692, 2003

CARVALHO, H. “Conteúdo da palestra: Efeito das radiações sobre os organismos vivos”. Arquivo de Hervásio de Carvalho, **Arquivo de História da Ciência – Museu de Astronomia e Ciências Afins.**, HC.T.5.027, Rio de Janeiro, 1990.

CASTIEL, L. Vivendo entre exposições e agravos: A teoria da relatividade do risco. **Manguinhos** Vol. III, Rio de Janeiro: Jul.-Out. 1996.

CHAVEAU, A; TÉTARD, P. **Questões para história do presente**; Ed EDUSC, São Paulo, 1999.

CHESSER, R. et al. Ensinaimentos de Chernobyl. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 42. Edição especial, 2012.

COLLINS, H. et al. **O golem: o que você deveria saber sobre ciência**. São Paulo: UNESP, 2003.

DANTAS, M. et al. Editorial: A fabricação do consenso. **Revista Brasil Nuclear-ABEN**, Rio de Janeiro, n.13, 1997.

DASCAL, M. Epistemologia, Controvérsias, e Pragmática. **Revista da Sociedade Brasileira de História das Ciências**, n.2, p.73-98, 1994.

EURATOM (1997). Council Directive 97/43 Euratom: on Health Protection of Individuals against the Dangers of Ionizing Radiation in Relation to Medical Exposure. **Official Journal of the European Communities**, Luxemburgo, L180, v.40, 1997.

FEINENDEGEN, L. Evidence for benefical low level radiation effect and hormesis. **British Journal of Radiology**, n. 78, p. 3-7, 2005.

FERREIRA, M. **O uso terapêutico dos raios X e da radioatividade na Bahia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, UFBA/UEFS, Salvador, 2008.

FREIRE-MAIA, A; FREIRE MAIA N. **Efeitos genéticos das radiações no homem**. São Paulo: UNESP, 1982.

FREIRE-MAIA, A. Estudos de genética humana em áreas de alta radiação natural. **Anais da Academia brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, 1974.

FORMAN, P.; SHERMAN, R. Three Mile Island: The Inside Story. **National Museum of American History**, Washington, 2004. (<http://americanhistory.si.edu/tmi/>)

- FOUCAULT, M. A Ordem do Discurso.** São Paulo: Edições Loyola, 2010.
- FREITAS, C.; GOMEZ, C.** Análise de riscos tecnológicos na perspectiva das ciências sociais. **Manguinhos** Vol III, Rio de Janeiro: Fev 1997.
- FREIRE-MAIA, A.** Estudos de genética em Areas de Alta Radiação Natural. IV –Pesquisas em Áreas Radioativas. **Anais da Academia brasileira de Ciências.** Rio de Janeiro, 1974
- FREIRE-MAIA, A.; FREIRE-MAIA D.** Mortality Rates in a Brazilian Area of High Background Radiation. **Anais da Academia brasileira de Ciências.** Rio de Janeiro, 1967
- GAVROGLU, K. et al.** **Positioning the history of science.** Dordrecht: Springer, 2007a.
- GAVROGLU, K.** **O Passado das Ciências como História.** Porto: Porto Editora, 2007b.
- GEERTZ, C.** **A interpretação das culturas.** Rio de Janeiro: LFC, 1989.
- GIURLANI, S.** Quando a radiação faz bem. **Revista Brasil Nuclear-ABEN**, Rio de Janeiro, n.13, 1997.
- GTFSN. Relatório do Grupo de Trabalho - Fiscalização e Segurança Nuclear.** Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Câmara Federal, Brasilia, 2007.
- GOBBI, C.** Radiação em Guarapari é maior que em Fukushima. **Blog do Gobbi.** <http://www.blogger.com/profile/18286817264478546976>; acesso em abril de 2011.
- GOFMAN, J.; TAMPLIN, A.** **Poisoned Power – The Case Against Nuclear Power Plants Before and After Three Mile Island.** Emmaus, Pa: Rodale Press, 1979.
- GOLDEMBERG, J.** Depoimento do professor José Goldemberg, da Universidade de São Paulo, em reunião realizada no dia 09-5-79. **Diário do Congresso Nacional.** Brasilia, Seção II, nº 92, de 16/08 de 1979.
- GOLDEMBERG, J.** **José Goldemberg (depoimento, 1976).** Rio de Janeiro, CPDOC, 2010. 163 p.
- HERSHBERG, J.** The “rather fuzzy state of our thinking”. . In: Cynthia Kelly (Org.) **The Manhattan Project**, New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 2007.
- HERCULANO, S. et al.** **Qualidade de vida & riscos ambientais.** Niterói: EdUFF, 2000.
- IAEA. The Cherenobyl Accident: Updating of INSAG 1.** Viena: Safety Reports, International Atomic Energy Agency, 1992.
- IAEA. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine.** Viena: International Atomic Energy Agency, 2003-2005.
- IAEA. Quality assurance programme for screen film mammography.** Viena: International Atomic Energy Agency, 2009

ICRP 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: Pergamon, 1991

ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Draft. 2005.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. Controle do Câncer de Mama – Documento de Consenso. Rio de Janeiro: INCA, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. Rastreamento organizado do câncer de Mama: a experiência de Curitiba e a parceria com o Instituto Nacional de Câncer. Rio de Janeiro: INCA, 2011.

JORDAN, D. História da Segunda Guerra Mundial. São Paulo: M.Books, 2011.

KEINAN-BOKER, L. et al. Cancer Incidence in Israeli Jewish Survivors of World War II. **Journal National Cancer Institute**, Oxford: v. 101: 1489 – 1500, 2009.

KELLY, C. The Manhattan Project, New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 2007.

KOCHUPILLAI, N. et al. Downs syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala. **Nature**, v. 262, 1976.

KRAFT, A. Manhattan Transfer: Lethal Radiation, Bone Marrow Transplantation, and the Birth of Stem Cell Biology. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v. 39, nº2, 2009.

KUHN, T. O caminho desde a Estrutura. São Paulo: UNESP, 2006.

KUHN, T. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva, 2009.

LATOUR, B. Ciência em Ação – Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: UNESP, 1997

LATOUR, B. Joliot: a história e a física misturadas. In: Michel(org.), **Elementos para uma história das ciências**. Lisboa: Terramar, 1996.

LATOUR, B. Pasteur e Pouchet: heterogénesse da historia das ciências. Paris: Métaillé, 1984.

LATOUR, B. For Bloor and Beyond - a reply to David Bloor's "Anti-Latour". CSI, Ecole des Mines de Paris, acesso em 14/06/2012, disponível em <file:///C:/doutorado/referenciais%20teoricos/Bruno%20latour%20POPARTICLES%20For%20Bloor%20and%20Beyond%20-%20a%20reply%20to%20David%20Bloor's%20Anti-Latour.htm>

LIKHTAREV, I. et al. Thyroid cancer in the Ukraine. **Nature**, v. 375, 1995.

LOVELOCK, J. Gaia: Alerta final. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2009.

MARTIN, C et al. **Practical Radiation Protection in Health Care.** New York: Oxford University Press, 2002.

MARTINS, R. Investigando o invisível: As pesquisas sobre Raios X logo após a sua descoberta por Roentgen. **Revista da Sociedade Brasileira para a História da Ciência,** 17, 81-102, 1997.

MARTINS, R. A descoberta dos Raios X, primeiro comunicado de Roentgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** 1998.

MOLINE, J. et al. Multiple Myeloma in World Trade Center Responders: A Case Series. **Journal of Occupational & Environmental Medicine,** Vol. 51, p. 896-902, Agosto de 2009.

MOORE, K. **Disrupting Science: social movements, american scientists, and the politics of the military, 1945-1975.** Princeton: Princeton Univrsity Press, 2008.

NAVARRO, M. **Conceito e Controle de Riscos à Saúde em Radiodiagnóstico: Uma Abordagem de Vigilância Sanitária.** Tese de Doutorado em Saúde Coletiva, Instituto de Saúde Coletiva, UFBA, Salvador, 2007.

NAVARRO, M. **Risco, Radiodiagnóstico e Vigilância Sanitária.** Salvador: EDUFBA, 2009.

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). **Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicacion Cientifica No 497.** Washington: Organizacion Mundial de La Salud, 1986.

OKUNO, E. **Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios.** São Paulo: HARBRA, 1998.

OKUNO, E. & YOSHIMIRA, E. **Física das Radiações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PÊCHEAUX, M. **O discurso – estrutura ou acontecimento.** Campinas: Pontes, 2012.

PENNA FRANCA, E. et al. The absorption and Distribution of Radium end Thorium in Rat. **Anais da Academia brasileira de Ciências,** Rio de Janeiro, 1964.

PENNA FRANCA, E. et al. Determinação de I¹³¹, proveniente das explosões nucleares francesas no pacifico sul, em tireóide e leite bovinos. **Anais da Academia brasileira de Ciências,** Rio de Janeiro, 1969.

PENNA FRANCA, E. Depoimento do professor Eduardo Penna Franca, da Universidade do Rio de Janeiro, em reunião realizada no dia 25-5-79. **Diário do Congresso Nacional.** Brasilia, Seção II, nº 92, de 16/08 de 1979.

PERELAMAN, C. **Império Retórico – Retórica e Argumentação.** Rio Tinto: ASA, 1999.

PESTRE, D. Por uma nova História Social e Cultural das Ciências: Novas definições, novos objetos, novas abordagens. **Cadernos IG/Unicamp,** v. 6, nº 1, 1996.

QUINN, S. **Marie Curie: uma vida.** São Paulo: Scipione, 1997.

RHODES, R. Explosive Discoveries and Bureaucratic Inertia. In: Cynthia Kelly (Org.) **The Manhattan Project**, New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 2007.

SAYÃO, A. Palestra técnica: Considerações Geotécnicas sobre a Segurança de Barragens. **FUNDAÇÕES & OBRAS GEOTÉCNICAS**, 2010

SEMENDEFERI, I. Legitimating a Nuclear Critic: John Gofman, Radiation Safety, and Cancer Risks. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v. 38, nº2, 2008.

SCHWARCZ, L. Mercadores de espanto: a prática antropológica na visão travessa de C. Geertz. **Revista de Antropologia da USP**, v.44, nº1, São Paulo, 2001.

SETH, S. The History of Physics after the Cultural Turn. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v. 41, 2011.

SEVÁ FILHO, A. O. Riscos de acidentes, de alterações hidrográficas e de sismos provocados ou induzidos por represas de hidrelétricas. **IFCH-UNICAMP**, São Paulo, 2010. http://www.ifch.unicamp.br/profseva/CapSEVA_R_fotos_RiscosBarragens_jan2011.pdf

SHAPIN, S. Discipline and Bounding: The History and Sociology of Science as Seen Through the Externalism-Internalism Debate. **Science History Publications**, 1992

SHAPIN, S. **Nunca Pura: Estudos Históricos de Ciência como se Fora Produzida por Pessoas com Corpos, Situadas no Tempo, no Espaço, na Cultura e na Sociedade e Que se Empenham por Credibilidade e Autoridade.** Belo Horizonte: Parceria Fino Traço Editora e EDUEPB, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MASTOLOGIA (SBM). **Recomendações da X reunião nacional de consenso rastreamento do câncer de mama na mulher brasileira.** Sociedade Brasileira de Mastologia, São Paulo, 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MASTOLOGIA (SBM) et al. **Diretrizes Clínicas na Saúde Suplementar – Câncer de Mama: Prevenção Secundária,** Associação Médica Brasileira e Agência Nacional de Saúde Suplementar, São Paulo, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIENCIA (SBPC). **Atas do Simpósio sobre a utilização da energia atômica para fins pacíficos no Brasil (25, 26 e 27/04/ 1956).** Comissão do Projeto Memória SBPC, 1956.

SPRINGER, R. Porque estudar controvérsias científicas. **Episteme**, v. 3, n.6, p. 208-221, Porto Alegre, 1998.

SZKLARZ, E.- O Ghandi Nuclear. **Superinteressante** (Brazil) – Dezembro, 2004.

TAUHATA, L. et al. **RADIAÇÕES NUCLEARES: Usos e cuidados.** Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1984.

- TAMPLIM, A. The BEIR Report: A focus on Issues; **Bulletin of the Atomic Scientists**, 1973.
- TUBIANA, M. et al. The Linear No-Treshold Relationship Is Inconsistent with Radiation Biologic and Experimental Data. **Radiology**, v. 251, n.1, 2009.
- TUBIANA, M et al. **Radiobiologia e Radioproteção**. Lisboa: Edições 70, 1989.
- TUBIANA, M. **A prevenção dos cancros**. Lisboa: Instituto Piaget, 1997.
- TUBIANA, M. et al. **Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation**. Paris: Relatório conjunto da Académie des Sciences e l'Académie nationale de médecine, 2005.
- UNSCEAR. **Sources, effects and risks of ionising radiation**. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, 2000.
- USPSTF. Screening for Breast Cancer-Recommendation Statement, U.S. Preventive Services Task Force. **Ann Intern Med**, v.151, p. 716-726, 2009.
- VEIGA, J. **ENERGIA NUCLEAR: do anátema ao diálogo**. São Paulo: Senac, 2011.