

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**A MEDIAÇÃO SEMIÓTICA DE INSTRUMENTOS CULTURAIS NA**  
**APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

**IVAN CARLOS PEREIRA GOMES**

**GOIÂNIA**  
**2013**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      ☒ **Dissertação**      ☐ **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação**

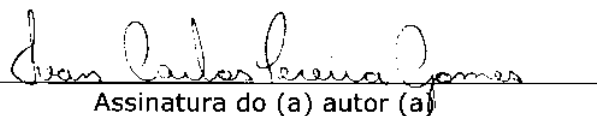
|                                                                                                                     |                                                                                                              |        |                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------|
| Autor:                                                                                                              | Ivan Carlos Pereira Gomes                                                                                    |        |                              |
| E-mail:                                                                                                             | gomesicp@gmail.com                                                                                           |        |                              |
| Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não |                                                                                                              |        |                              |
| Vínculo empregatício do autor                                                                                       | Servidor público federal                                                                                     |        |                              |
| Agência de fomento:                                                                                                 | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior                                                  | Sigla: | Capes                        |
| País:                                                                                                               | Brasil                                                                                                       | UF:    | DF    CNPJ: 00889834/0001-08 |
| Título:                                                                                                             | A mediação semiótica de instrumentos culturais na aprendizagem do conceito de radioatividade no Ensino Médio |        |                              |
| Palavras-chave:                                                                                                     | Ação mediada. Ferramentas culturais. Aprendizagem. Radioatividade. Ensino de Física                          |        |                              |
| Título em outra língua:                                                                                             | The semiotic mediation of cultural tools in learning the concept of radioactivity in High School             |        |                              |
| Palavras-chave em outra língua:                                                                                     | Mediated Action. Cultural tools. Learning. Radioactivity. Physics Teaching                                   |        |                              |
| Área de concentração:                                                                                               | Qualidade de Professores de Ciências e Matemática                                                            |        |                              |
| Data defesa: (dd/mm/aaaa)                                                                                           | 01/04/2013                                                                                                   |        |                              |
| Programa de Pós-Graduação:                                                                                          | Mestrado em Educação em Ciências e Matemática                                                                |        |                              |
| Orientador:                                                                                                         | Prof. Dr. Wagner Wilson Furtado                                                                              |        |                              |
| E-mail:                                                                                                             | wagner@if.ufg.br                                                                                             |        |                              |
| Co-orientador:*                                                                                                     | Profª. Drª Agustina Rosa Echeverría                                                                          |        |                              |
| E-mail:                                                                                                             | agustina@brturbo.com.br                                                                                      |        |                              |

**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM      ☐ NÃO

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

  
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 28 / 06 / 2013

**IVAN CARLOS PEREIRA GOMES**

**A MEDIAÇÃO SEMIÓTICA DE INSTRUMENTOS CULTURAIS NA  
APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Prof. Dr. Wagner Wilson Furtado (orientador)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Agustina Rosa Echeverría (coorientadora)

**GOIÂNIA**

**2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**GPT/BC/UFG**

G633m      Gomes, Ivan Carlos Pereira.  
A mediação semiótica de instrumentos culturais na  
aprendizagem do conceito de radioatividade no Ensino  
Médio [manuscrito] / Ivan Carlos Pereira Gomes. - 2013.  
111 f.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Wilson Furtado; Co-  
orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Agustina Rosa Echeverría.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de  
Goiás, Mestrado em Educação em Ciências e Matemática,  
2013.

Bibliografia.

Anexos.

1. Física – Estudo e ensino – Ação mediada. 2. Física –  
Estudo e ensino – Ferramentas culturais. 3. Radioatividade  
– Aprendizagem – Ensino médio. I. Título.

CDU: 539.16:37.016

**A MEDIAÇÃO SEMIÓTICA DE INSTRUMENTOS CULTURAIS NA  
APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

**Por**

**IVAN CARLOS PEREIRA GOMES**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Educação em Ciências e Matemática, pela Banca examinadora formada por:

---

Presidente: Prof. Wagner Wilson Furtado, Doutor – Orientador, UFG

---

Membro: Prof<sup>a</sup>. Fernanda Ostermann, Doutora, UFRGS

---

Membro: Prof. Wellington Lima Cedro, Doutor, UFG

Goiânia, abril de 2013

Aos meus pais, pela ternura, confiança e apoio incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Já bastam as injustiças que presenciamos ou sentimos diariamente. Neste espaço me esquivarei dessa característica.

Ficará aqui registrado meu carinho e minha eterna gratidão a todos aqueles que cruzaram meu caminho e deixaram um pouquinho de si em mim. Neles me amparei.

Não há dúvida que as suas vozes estão presente em todos os lugares das minhas incessantes reflexões e em todos os enunciados deste trabalho, linha a linha.

Este trabalho não seria o que é hoje sem todos vocês.

## RESUMO

Este trabalho se caracterizou por ser uma pesquisa qualitativa de caráter empírico, realizada com alunos do Ensino Médio de escolas da cidade de Goiânia. Teve como objetivo investigar e caracterizar a ação dos alunos em sala de aula ao utilizarem diferentes ferramentas culturais na aprendizagem do conceito de radioatividade, portanto a dinâmica discursiva foi objeto de estudo. O recorrente debate relativo a este tema, após o *tsunami* ocorrido no primeiro semestre de 2011 no Japão, passou a ser referência para a elaboração de uma sequência didática com o título "Da instabilidade nuclear a instabilidade social". No estudo, duas intervenções, em diferentes escolas de Goiânia, foram realizadas. Apesar de somente a segunda intervenção ter sido analisada, a experiência adquirida com a primeira nos auxiliou e dialogou continuamente com a intervenção seguinte. Os dados foram construídos a partir do diário de campo e dos registros audiovisuais das aulas, transcritos posteriormente. Toda a concepção da pesquisa foi amparada fortemente pela teoria da ação mediada de James Wertsch, além dela, recorremos aos estudos da linguagem de Bakhtin para realizarmos a análise dos episódios de ensino selecionados. Três categorias de análise foram elaboradas *a posteriori* e identificamos, a partir do uso das ferramentas culturais e da elaboração conceitual, características recorrentes nos diálogos que aconteceram em sala de aula, entre os alunos e entre os alunos e o professor. Embora os alunos tenham avançado nas elaborações macroscópicas e extrapolado os limites das ferramentas culturais selecionadas, caracterizando indícios de domínio, houve também, restrições e limites nas elaborações microscópicas. Entendemos que diferentemente do livro didático, que foi produzido intencionalmente para ser utilizado em sala de aula, as ferramentas culturais empregadas possuíam outros objetivos; por isso é necessário cautela metodológica na ação pedagógica, ao elaborar uma sequência didática com características semelhantes a que foi desenvolvida. Destacamos o importante papel do professor ao negociar significados e auxiliar no trânsito dos alunos entre as distintas ferramentas culturais.

**Palavras-chave:** Ação mediada. Ferramentas culturais. Aprendizagem. Radioatividade. Ensino de Física

## ABSTRACT

This work is a qualitative research of empirical character carried out with high school students in the city of Goiania. Its purpose was to investigate and describe the response of the students in classroom when using different cultural tools in learning the concept of radioactivity, thus discursive dynamics has been the subject of study. The recurring debate on this issue, after the occurrence of a *tsunami* in the first half of 2011 in Japan, became a reference for the elaboration of a didactic sequence titled "From nuclear instability to social instability". In the study, two interventions were conducted in different schools of Goiânia. Although only the second intervention has been analyzed, the experience gained in the first one helped us and had a close interplay with the following intervention. The data were collected from the field journal and audiovisual recordings of the classes, that were transcribed later. The whole conception of the research was strongly supported by the theory of mediated action of James Wertsch. In addition, we turned to the study of language of Bakhtin to perform the analysis of the selected teaching episodes. Three categories of analysis were prepared *a posteriori* and showed, through the use of cultural tools and conceptual elaboration, recurrent features in dialogues that took place in classroom, between students and between students and the teacher. Although students have advanced on the macroscopic elaborations and extrapolated the limits of the selected cultural tools, which evidences assimilation, there were also restrictions and limits on microscopic elaborations. We understood that, unlike the textbook, which was intentionally produced to be used in the classroom, the cultural tools employed had other purposes; thus it is necessary methodological caution in the pedagogical action, when elaborating a didactic sequence with characteristics similar to the one developed here. We emphasize, then, the important role of the teacher in negotiating meanings and assisting students to move across different cultural tools.

**Keywords:** Mediated Action. Cultural tools. Learning. Radioactivity. Physics Teaching

## SUMÁRIO

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUÇÃO.....                                                                                       | 08  |
| 1 FUTURO DO PRETÉRITO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O TEMA<br>FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA ..... | 12  |
| 2 O HOMEM NO MUNDO: O TRABALHO, A LINGUAGEM E A APRENDIZAGEM ...                                      | 20  |
| 2.1 Do macaco ao homem .....                                                                          | 20  |
| 2.2 A relação do homem com o mundo.....                                                               | 22  |
| 2.3 A linguagem nas relações humanas.....                                                             | 24  |
| 2.4 A ação mediada .....                                                                              | 27  |
| 3 METODOLOGIA: PESQUISA E AÇÃO PEDAGÓGICA.....                                                        | 34  |
| 3.1 A escolha do conceito e das ferramentas culturais .....                                           | 35  |
| 3.2 Metodologia da ação pedagógica: a elaboração da sequência didática .....                          | 37  |
| 3.2.1 A primeira intervenção .....                                                                    | 37  |
| 3.2.2 A segunda intervenção: idas e vindas.....                                                       | 40  |
| 3.3 Coleta e construção dos dados.....                                                                | 43  |
| 3.4 Elaboração das categorias de análise.....                                                         | 43  |
| 4 ANÁLISE: AVISTANDO AVANÇOS E LIMITES .....                                                          | 46  |
| 4.1 Categoria 1 - Elaboraões macroscópicas .....                                                      | 46  |
| 4.2 Categoria 2 - Limites nas elaborações microscópicas .....                                         | 55  |
| 4.3 Categoria 3 - Evoluções.....                                                                      | 64  |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                                            | 68  |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                     | 71  |
| ANEXO A - Ferramentas culturais utilizadas nas sequências didáticas .....                             | 78  |
| ANEXO B - Mapa de atividades das aulas - Segunda intervenção.....                                     | 106 |

## INTRODUÇÃO

Ao analisar a história da educação brasileira, percebemos que o ensino de Física institucionalizado é relativamente novo. Sua introdução na educação formal começou timidamente no Colégio Pedro II, no segundo quarto do século XIX, e embora a discussão de conceitos de Física já existisse, foi apenas em 1934 que surgiu na Universidade de São Paulo, o primeiro curso de graduação, formando bacharéis e licenciados. Após a qualificação de um número limitado de pessoas, em 1950 a disciplina de Física foi introduzida nos currículos da educação básica e, obviamente, não foi uma decisão ao acaso, pois ocorria no país um forte processo de industrialização e as ciências naturais, após a segunda guerra, passaram a ser vistas com outros olhos. Neste início, o ensino de Física possuía como característica um caráter conteudista e matematizado, chegando ao extremo de alguns vestibulares eliminarem totalmente questões conceituais qualitativas (CHIQUELTO; KAPRAS, 2012). As décadas transcorreram, mas poucas alterações significativas ocorreram e o ensino continua voltado para transmissão de conteúdos em aulas expositivas e para a resolução de problemas (ROSA; ROSA, 2005). Hoje esta evidência continua clara logo no início do Ensino Médio.

De modo geral, os livros de Física da primeira série do Ensino Médio começam discutindo a mecânica newtoniana. Então, definições e conceitos, aparentemente intuitivos, como massa, aceleração, velocidade, distância e tempo são esclarecidos e diversos exercícios são propostos. Além de estudarem Matemática na resolução de problemas, os alunos aprendem Física? Apesar de ser tema primeiro, a mecânica newtoniana exige abstração demasiada, afinal em suas explicações, carros aceleram instantaneamente, superfícies perdem o atrito, blocos descem e sobem rampas e o vácuo permeia todos os ambientes. Ao idealizar situações para simplificar os cálculos neste nível de ensino, o mundo real também é simplificado e perde lugar para um mundo imaginário.

O determinismo deste assunto introdutório é confundido com meras substituições de variáveis em equações. Esta postura simplista se reflete na dificuldade de aprendizagem de diversos conceitos e a causa deste problema, apontada por vários professores, é o insuficiente embasamento matemático dos alunos. A responsabilidade é transferida por procuração para outras disciplinas e como consequência a problemática real que deveria ser enfrentada é questionada insuficientemente. Os currículos de Física mantêm a estrutura antiquada, a matematização continua prevalecendo nas aulas, a contextualização dos conceitos científicos permanece distante da vida do aluno e questões políticas persistem em se afastar das

discussões das ciências naturais. Angotti et all (2001) escrevem um parágrafo provocador questionando algumas destas incongruências:

Igualmente, o problema da má distribuição da renda, em particular a falta de terra para milhões de brasileiros, as grandes propriedades que não levam em conta a função social da terra, e que se refletem na falta de dignidade que só o trabalho pode nos proporcionar; tudo isso pode fazer parte do universo temático do ensino de Física. E na escola, quando isso é relacionado ao conceito de Energia? Quando em uma aula de Física, mais especificamente quando se trabalha com os princípios de conservação da Energia, discutem-se temas como, por exemplo, a origem dos trabalhadores sem terra? Como, onde e por quem é decidido que tipo ou que capacidade deve ter uma usina hidrelétrica? Onde ela deve ser construída? Quando as comunidades são convidadas a discutir? Ou devemos todos acreditar e concordar que uma usina como a de Itaipú é a melhor opção? Será que essas questões não podem fazer parte do universo temático de Física? (ANGOTTI et all, 2001, p.187).

Combater o pressuposto da neutralidade da ciência implica, necessariamente, em um compromisso político ao ensinar. Isso não quer dizer que o ensino de Física deva ser esvaziado de seus conceitos próprios, pois estes são indispensáveis, mas que o diálogo entre as ciências deva ser fortalecido. Afinal, o conhecimento físico vem sendo arquitetado em momentos sócio-históricos distintos, dialogando com as mais diversas áreas do conhecimento. A radioatividade, por exemplo, começou a ser efetivamente investigada no início do século XX e influenciou no desenvolvimento dos estudos da Física Moderna, da Química e da Medicina. O potencial energético dos elementos radioativos permitiu que estas influências acontecessem permeadas de diversos interesses políticos e econômicos.

Na sala de aula, a compreensão dos conceitos científicos e, também, destas outras questões pode acontecer de forma dialógica e contextualizada, valorizando as vozes dos alunos e do professor. Neste caso, a interação verbal e o compartilhamento de perspectivas diversas se tornam fundamentais. Entendemos que a teoria da ação mediada de James Wertsch é um referencial promissor, com potencial para contribuir no entendimento de situações de aprendizagem. Wertsch (1999) delineou a teoria da ação mediada, onde caracteriza o agente como aquele que realiza uma ação, necessariamente mediada por uma ferramenta cultural. Em nosso contexto de estudo compreendemos o aluno como agente, munido de ferramentas culturais diversas, que age dialogando com diferentes vozes. Nesta perspectiva, as aulas puramente expositivas são questionadas, pois não há sentido em pensar na ação sem que o professor dialogue e negocie significados com todos. Assim, a sala de aula

poderia ser pensada como um espaço de trabalho, proporcionando momentos adequados para os alunos agirem com diferentes ferramentas culturais (PEREIRA; OSTERMANN, 2012a).

A partir das propriedades da ação mediada, nos perguntamos quais seriam as características da dinâmica discursiva dos alunos quando utilizavam ferramentas culturais, diferentes do livro didático, e aprendiam conceitos científicos relacionados à radioatividade. É certo que os objetivos destas outras ferramentas culturais são diferentes daqueles estabelecidos pelo livro, intencionalmente elaborado para a sala de aula, então a forma que elas poderiam ser utilizadas sem prejuízo para o entendimento dos conceitos científicos, foram dúvidas que guiaram a investigação.

A dinâmica discursiva dos alunos em sala de aula, isto é, a ação discursiva, se tornou objeto de estudo deste trabalho. Assim, o diálogo entre professor e alunos e entre os próprios alunos em um ambiente real de sala de aula foi de fundamental importância para o desenvolvimento das análises propostas. O objetivo principal da pesquisa foi, portanto, **investigar e caracterizar a ação discursiva dos alunos em sala de aula ao utilizarem diferentes ferramentas culturais na aprendizagem dos conceitos científicos relacionados à radioatividade**. Além disso, este escopo veio acompanhado de outros objetivos mais específicos: **identificar na ação, os avanços e limites da elaboração conceitual; descrever a aprendizagem como domínio e apropriação; indicar caminhos metodológicos para a elaboração de uma sequência didática**.

A fim de expormos como o estudo se delineou, o trabalho se estruturou em três capítulos iniciais, além da análise e das considerações finais. O primeiro deles traz uma revisão bibliográfica dos principais periódicos de Educação em Ciências brasileiros e pretendeu identificar como está acontecendo a discussão sobre a inclusão da Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos currículos e na sala de aula. Destacamos aqueles trabalhos que levaram para sala de aula propostas de inserção de FMC e aqueles que tiveram a teoria sócio-histórica ou sociocultural como referencial teórico.

O segundo capítulo apresenta a forma como compreendemos a presença e as relações do homem no mundo material. Portanto, refletimos sobre as transformações que distinguiram o homem do macaco e como, a partir disso, as relações humanas passaram a ser mediadas por instrumentos e signos. Neste arcabouço, a teoria da ação mediada de Wertsch (1999) é apresentada.

O terceiro capítulo aborda o caminho de construção e reconstrução percorrido na elaboração da metodologia. Possui esta distinção porque refletiu sobre sua constituição no decorrer de duas experiências. Nesta trajetória, duas intervenções em diferentes colégios

foram elaboradas e executadas, a primeira delas nos amparou em algumas decisões e dialogou persistentemente com e no desenvolvimento da segunda. É também exposta a justificativa da escolha do conceito e das ferramentas culturais utilizadas, a metodologia da ação pedagógica, a forma como organizamos os dados e, finalmente, como estruturamos as categorias de análise.

## **1 FUTURO DO PRETÉRITO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O TEMA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

A partir de simpósios e encontros de pesquisa nacionais e internacionais no início da década de noventa, foi possível traçar quais foram os estudos e as tendências que mais influenciaram o currículo de Física nos anos subsequentes. De forma geral, se destacaram as linhas de investigações que tiveram como foco as concepções espontâneas dos alunos a respeito de conceitos físicos, as propostas curriculares com abordagem interdisciplinar, a inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) e da Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos currículos. Vários grupos de pesquisa, nacionais e internacionais, se empenharam no estudo deste último tema, com o objetivo de levar para os currículos, principalmente da educação básica, explicações sobre os avanços tecnológicos atuais. A tendência traçada ao mapear os trabalhos publicados nestes eventos científicos, evidenciou a tentativa de aproximar a ciência do cidadão comum, ao observarmos a ênfase no interesse em inserir a HFC e a FMC nos currículos (CARVALHO;VANUCCHI, 1996).

O número de trabalhos que enfatizaram a inclusão da FMC aumentou no transcorrer da década. Na revisão feita por Ostermann e Moreira (2000) em periódicos, livros didáticos, projetos, navegações pela internet, dissertações e teses publicados no país e no exterior, enfatizando o ensino de Física que abordava, de alguma forma, a FMC no Ensino Médio (EM), confirmou esse crescimento. Devido à amplitude da revisão e ao número de trabalhos selecionados, os autores reuniram as referências com características semelhantes em seis grupos: justificativas para a inserção de FMC no EM; questões metodológicas, epistemológicas, históricas referentes ao ensino de FMC; concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC; temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia de consulta para professores de nível médio; propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem e livros didáticos de nível médio que inseriam temas de FMC.

Como identificado na investigação de Carvalho e Vanucchi (1996), desde o final da década de oitenta, a inserção da FMC nos currículos vinha se delineando como tendência, e a partir de então várias foram as justificativas para sua inclusão no EM. Parece haver, também, desde esta data, um consenso na comunidade científica da importância dessa discussão e de sua efetiva concretização. Entretanto, “ainda é reduzido o número de trabalhos publicados que encaram a problemática sob a ótica do ensino e, mais ainda, os que buscam colocar, em sala de aula, propostas de atualização” (OSTERMANN; MOREIRA, 2000). Aparentemente existe

uma incongruência entre o que já é senso comum acadêmico e o que está registrado nos currículos e nas práticas em sala de aula, visto o baixo número de pesquisas empíricas publicadas e rastreados nesta última revisão.

O grupo “temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia...” teve um número superior de publicações, se comparado aos outros cinco destacados. Estes trabalhos se concentraram em tópicos como relatividade, partículas elementares e Mecânica Quântica (MQ), já a radiação nuclear e a radioatividade pouco se sobressaíram. Na leitura dos trabalhos que se enquadraram em “propostas testadas em sala de aula...”, a temática preponderante versava sobre MQ e raios cósmicos. Apenas um trabalho, desenvolvido na Holanda, enfatizava a temática armas nucleares e discutia os conceitos científicos envolvidos na radiação nuclear. A conclusão da revisão foi que não faltam justificativas para inserção da FMC nos currículos e que há concentração de trabalhos em apenas no grupo “temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia...”. Isso nos faz pensar, assim como Ostermann e Moreira (2000), que levar as reflexões já existentes para a sala de aula ainda é um desafio grande.

Em decorrência do contínuo crescimento de publicações que abordaram o ensino de FMC, Pereira e Ostermann (2009), realizaram uma nova revisão da literatura enfocando os trabalhos publicados nos principais periódicos de ensino de ciências do Brasil e do exterior, entre os anos de 2001 e 2006. Nesse estudo, os trabalhos consultados foram classificados em quatro categorias: propostas didáticas testadas em sala de aula; levantamento de concepções; bibliografia de consulta para professores e análise curricular.

Na primeira categoria, foi possível classificar os trabalhos em cinco linhas de pesquisa. Eles tiveram abordagens que variaram entre estratégias para inserção de FMC no EM, mudanças no ensino de FMC, uso de tecnologias da informação e comunicação, abordagem das relações ciência, tecnologia e sociedade e articulação entre HFC. Notou-se que após o ano 2000 ocorreu o progresso das propostas testadas em sala de aula com resultados das implementações tanto na Educação Básica como no Ensino Superior (ES). Além deste avanço, na categoria “bibliografia de consulta para o professor”, os autores destacaram trabalhos que apresentavam novas propostas e estratégias didáticas, que embora não apresentassem resultados, expuseram várias alternativas e se apresentaram com a finalidade clara de apoiar o professor no desenvolvimento de métodos para levar a FMC para sala de aula.

Mesmo com o aumento do número de propostas avaliadas em sala, as publicações que tratavam de bibliografia de consulta continuavam prevalecendo. Nas considerações finais

os autores confirmam essa predominância, corroborando a constatação da revisão feita no início da década passada. Além disso, o tema favorito nas pesquisas sobre o ensino de FMC se referem à MQ, somando um quantitativo um pouco superior a cinquenta por cento dos trabalhos consultados. Por essa prevalência, outra revisão mais restrita, que abrangeu artigos publicados até 2010, foi elaborada.

As contribuições da pesquisa em ensino de ciências para a inserção especificamente da MQ no EM foi objetivo da revisão elaborada por Silva e Almeida (2011), feita em periódicos nacionais e internacionais. Somaram-se vinte e três trabalhos com esta temática e dezesseis, especificamente, foram as propostas de ensino e/ou aplicação da MQ. Ainda que os autores considerem este número pequeno, pela amplitude dos conceitos tratados em MQ, ele é bem superior ao número de trabalhos que tiveram como tema outros tópicos de FMC.

Se a relevância da inserção da FMC é consonância e o número de trabalhos de consulta bibliográfica, e até mesmo de trabalhos com resultados aumentaram, achamos relevante revisar as publicações dos principais periódicos nacionais em ensino de ciências entre os anos de 2007 e 2012, buscando, além de verificar esse crescimento, compreender melhor como a FMC está se inserindo nos cursos de formação de professores. Assim, vários trabalhos com enfoque no imaginário, na concepção e na mudança conceitual de graduandos e professores de Física, foram publicados. Sorpreso e Almeida (2008) investigaram o imaginário de graduandos em Física em um trabalho de resolução de problemas com o tema relacionado à “questão nuclear” em uma disciplina do curso. A partir da análise do discurso dos estudantes, as conclusões do estudo giram em torno das possibilidades de inclusão dos assuntos referentes à “questão nuclear” no EM, porém aponta como dificuldade, neste nível de ensino, o tratamento matemático complexo dado. Tratando igualmente de assuntos referentes à radioatividade, em outro trabalho os autores persistiram na investigação de aspectos do imaginário dos licenciandos em Física que trabalharam, agora, com a abordagem História da Ciência em uma disciplina de estágio na graduação (SORPRESO; ALMEIDA, 2010).

Barros e Bastos (2007) pesquisaram a concepção de alunos de graduação em Física após utilizarem o *ciclo da experiência kellyana* na análise do comportamento de elétrons numa difração em fenda dupla. Constataram que mudanças conceituais aconteceram após uma intervenção didática e os resultados foram satisfatórios. Os autores esperam que o estudo subsidie as discussões sobre MQ nos cursos de formação de professores. Outro trabalho que aborda a mudança conceitual entre graduandos foi o desenvolvido por Ostermann et al. (2008), onde investigaram a evolução conceitual de professores que cursaram uma disciplina

de MQ de um mestrado profissional em ensino de Física. As respostas dos questionários abertos aplicados em momentos diferentes, um no início e outro no final da disciplina, ressaltam aspectos de um progresso conceitual nos conceitos introdutórios de MQ.

O ensino dos conceitos relacionados à dualidade onda-partícula, utilizando o interferômetro de Mach-Zehnder, foi objeto de estudo do trabalho de Betz et al. (2009). Nele os autores utilizaram um objeto de aprendizagem, simulador, e textos para auxiliar na compreensão do formalismo matemático necessário e para introduzir aspectos históricos e epistemológicos no ensino. Os resultados obtidos entre os alunos de uma turma de licenciatura em Física foram regulares. Numa perspectiva sociocultural, Pereira et al. (2012b) pesquisaram os processos intermentais de graduandos em Física durante uma atividade experimental envolvendo um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. Além de se configurar como uma proposta de ensino de MQ, o trabalho foi além do pré-teste e pós-teste e investigou o processo de significação de conceitos no processo de aprendizagem por meio da análise do discurso dos estudantes, que se organizavam em grupos nas atividades. Aliás, a importância de se trabalhar em grupo no ensino de ciências é um dos pontos destacados nas considerações finais, pois assim o estudante entraria em contato com diferentes vozes, possibilitando a elaboração de novos significados. Em mais um trabalho, Pereira et al. (2012c) pesquisaram a função da mediação textual entre licenciandos em Física em um curso de MQ. Para a análise empregou o referencial sociocultural, em especial a teoria da ação mediada de James Wertsch.

Distintos pesquisadores abordaram a temática experimentação no ES, alguns utilizando tecnologias da informação e comunicação. Silva (2012) descreve a implementação de um sistema computacional que simula a detecção da radiação ionizante no ensino de FMC para alunos de um curso a distância. São discutidos os detalhes dos cálculos realizados e propostas outras atividades exploratórias. A partir da análise matemática do fenômeno ondulatório da luz em um interferômetro de Mach-Zehnder, Ricci et al. (2007) analisaram um simulador virtual de interferência nos regimes clássico e quântico. O software é utilizado em cursos introdutórios de MQ no ES.

Em outro trabalho, Ferrari et al. (2009) elaboraram e investigaram um minicurso a distância com o tema caos e sistemas dinâmicos. Mesmo com a temática pouco evidenciada no ensino de FMC, os autores justificaram a importância desta discussão na formação de professores, em uma perspectiva de educação problematizadora utilizando ambientes virtuais, ou seja, mediados por tecnologias. Concluíram que alguns perfis de estudantes são mais adequados para participação deste tipo de dinâmica: aqueles que “tiveram contato recente com as equações diferenciais e com os programas computacionais” (ibid., p. 101). Oliveira

(2011) destacou a teoria quântica de campos, mais uma temática tratada insuficientemente nos cursos de graduação. Os autores mostraram que é possível abordar este tema em um curso de Física de forma didática e justificaram sua relevância devido a sua aplicabilidade em várias áreas de especialização da Física.

A importância de inserir temas de FMC no currículo de cursos diferentes da graduação em Física, também se fundamenta. Neto et al. (2011) propuseram a explicação de fenômenos que relacionem a dualidade onda-partícula e as interações entre radiação e matéria em um curso técnico em saúde, a partir de um *software* que simula o interferômetro de Mach-Zehnder. Os autores consideraram que foi possível aprimorar a visão dos alunos sobre a radiação e que a simulação possibilitou uma discussão mais qualitativa dos conceitos de MQ.

Em outra perspectiva, alguns trabalhos investigaram a introdução da FMC no EM na percepção de licenciandos e/ou professores de Física. Junior e Cruz (2009) analisaram o que trinta e um graduandos (vários já professores) falaram sobre a introdução de FMC no EM, a partir de suas vivências. Como evidenciaram outras pesquisas, não há um consenso entre eles sobre os tópicos e conceitos que deveriam ser ensinados. Os autores, então, apontam outras questões que se configuram como obstáculos na introdução destes temas na educação básica, como a abordagem de conceitos na sala de aula com um caráter informativo e a suposta falta de maturidade dos estudantes do EM ao lidarem com a FMC. Monteiro et al. (2009) também atestam dificuldades entre docentes na introdução da FMC no EM. Na análise de cinco entrevistas, os autores não notam entusiasmo entre os professores investigados com relação ao ensino de FMC e ainda constataam “marcas de uma formação profissional pautada em perspectivas teóricas que os inviabilizam em tal empreitada; em particular, há uma formação pautada na racionalidade técnica” (ibid., p.576).

Do mesmo modo, Oliveira et al. (2007) investigaram as apreciações de professores de Física do EM relativas à introdução de FMC no currículo escolar, com enfoque nos raios-X. Os docentes, ao contrário do trabalho de Monteiro et al. (2009), ressaltaram a importância de se discutir esse tema, pois, de acordo com eles, faz parte do cotidiano do aluno, além de se relacionar com conceitos tratados em outras disciplinas. Os resultados das análises feitas serviram para respaldar a introdução de uma nova proposta nos currículos de Física em escolas do Rio de Janeiro.

Como suporte teórico, existem materiais que abordam aspectos qualitativos da teoria e propostas que enfocam a HFC, servindo tanto ao professor do ES quanto da educação básica. Pereira et al. (2012d) propõem uma discussão qualitativa dos conceitos envolvidos em MQ, utilizando um *software* de simulação. O objetivo era “fornecer uma espécie de ‘tradução’

do formalismo quântico como uma proposta no sentido de introduzir o assunto com uma linguagem mais apropriada para os professores do EM [...]” (p.833). Flôr (2009) abordou aspectos históricos da descoberta de elementos transurânicos e as consequentes alterações da tabela periódica utilizando a epistemologia de Ludwik Fleck. Aspectos históricos e biográficos de alguns cientistas, que se envolveram nos estudos iniciais sobre a radioatividade, foi tema da publicação de Cordeiro e Peduzzi (2011). Os autores esperam que toda a discussão sirva de auxílio nas discussões históricas e filosóficas na formação e consequente atuação do professor em sala de aula. Em outro trabalho (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010), os autores propuseram, a partir de conferências de cientistas agraciados pelo prêmio Nobel, uma abordagem histórica, filosófica e motivacional sobre o tema radioatividade. Neste estudo específico, o destaque foi para o discurso que envolveu esta temática nas conferências de Pierre e Marie Curie.

Com uma abordagem semelhante, Guerra et al. (2010) sugeriram a inserção da FMC no EM com a intencionalidade de contribuir para melhor compreensão da cultura do século XX. Uma alternativa dada pelos autores foi a discussão histórica sobre o desenvolvimento da teoria da relatividade restrita, que é um assunto amplamente divulgado nos meios de comunicação e que permeia o imaginário de muitas pessoas. Em um trabalho anterior, Guerra et al. (2007) recomendaram a inclusão do estudo das teorias da relatividade restrita e geral no EM, enfocando as relações possíveis entre a Física e as outras áreas do conhecimento. A proposta apresentada pelos autores foi implementada em uma escola federal de ensino.

Estabelecendo relações entre a Física e Arte, Andrade et al. (2007) recomendou a intersecção entre assuntos de FMC e as obras de Salvador Dalí. A proposta ressaltou a importância de se compreender ciência como cultura humana e, assim, contribuir para um ensino interdisciplinar de Física no nível médio. Ainda indicando relações com a Arte, Caruso e Freitas (2009) trabalharam o tema relatividade no EM com o auxílio de histórias em quadrinhos. Foi enfatizado o ludismo deste tipo de abordagem, que, inicialmente trata aspectos qualitativos de fenômenos físicos complexos.

Souza e Dantas (2010) propuseram discussões conceituais com o tema radiação nuclear (decaimentos, fissão nuclear, reatores etc.) no EM. Com o foco em aspectos históricos e tecnológicos, relacionaram alguns fenômenos físicos com o mundo contemporâneo. Embora estas propostas qualitativas não exijam, para sua compreensão, a formalidade matemática, demandam uma atenção particular com a linguagem, pois é a partir dela que os conceitos científicos são compreendidos pelos alunos. Paulo e Moreira (2011) destacaram essa preocupação em seu estudo sobre a inserção de MQ no EM. Aspectos da Interpretação de

Copenhague e das epistemologias de Popper e Bachelard são evidenciados pelos autores. Ayala Filho (2010) investigou os obstáculos epistemológicos e a aprendizagem da teoria da relatividade restrita entre alunos e concluiu que, além do cuidado com a linguagem, outro entrave é a relação normalmente estabelecida entre a física relativística e conceitos clássicos da Física.

No artigo de Fanaro et al. (2007), é reafirmada a necessidade de introduzir temas de FMC, contudo os autores também mostram os problemas relacionados às abordagens e analogias clássicas quando se introduz estes temas na escola básica. Como alternativa os autores recomendaram um enfoque baseado nos caminhos múltiplos, desenvolvido por Feynman a partir do cálculo diferencial. Além disso, outra proposta baseada no método de Feynman é feita pelo mesmo autor (FANARO; OTERO; ARLEGO, 2009), onde se implementou e avaliou a inserção de tópicos de MQ no EM com o auxílio de um *software* de simulação.

Alguns trabalhos analisaram a inserção e a aprendizagem de FMC na educação básica por meio de atividades experimentais. Silva e Assis (2012) sugeriram a experimentação com o tema efeito fotoelétrico, para turmas do EM, utilizando materiais de baixo custo. Os pesquisadores destacaram a importância de abordar algumas aplicações tecnológicas no decorrer do experimento. De igual modo, Melhorato e Nicoli (2012) propuseram a confecção de um aparato experimental de baixo custo que envolvesse conceitos relativos à quantização de energia. Utilizando um objeto de aprendizagem virtual sem custo, Sales et al. (2008) estudaram uma atividade experimental abrangendo o efeito fotoelétrico. Os autores concluíram que o contato dos estudantes com o *software* proporcionou uma aprendizagem expressiva do fenômeno. Ainda empregando a virtualidade, Vasconcelos e Leão (2012) utilizaram a *Webquest*, abarcando recursos audiovisuais, para estudar conceitos introdutórios da radioatividade.

Na análise dos conteúdos de livros didáticos, Medeiros e Lobato (2010) buscaram compreender como o conceito de radioatividade estava sendo abordado em obras de Química e Física do EM. Ademais, os autores investigaram os conhecimentos prévios dos estudantes para elaborar e aplicar um material didático que envolvesse a temática. Finalmente balizaram o conhecimento adquirido pelos estudantes e concluíram que o ensino dos conceitos, contextualizados, envolvidos com a radiação, contribuiu para o entendimento de situações vivenciais do aluno. O trabalho de Domingui (2012), também teve a atenção voltada para a análise de livros didáticos. O que os autores dos livros didáticos, aprovados no Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLEM), dizem em seus livros sobre a

inserção de FMC no EM, foi objeto de estudo do pesquisador. Na conclusão ele afirmou que a opinião dos autores é conflitante, pois enquanto alguns defendem a necessária inserção da FMC, outros não negam sua importância, mas somente recomendam leituras acessórias.

A conformidade de opiniões de diversos pesquisadores na área, sobre a importância e necessidade de inserção da FMC, parece não ser suficiente para encontrarmos nos livros didáticos uniformidade nas abordagens desta temática. A dificuldade de levar estes assuntos para a sala de aula continua sendo um desafio, o que torna muito atual a conclusão de Ostermann e Moreira (2000) na revisão bibliográfica feita no início da década passada.

Ainda que tenhamos observado avanço nas publicações de pesquisas empíricas, avaliadas em sala de aula, nos trabalhos publicados periódicos nacionais, entre 2007 e 2012, continuam prevalecendo as consultas bibliográficas e os materiais de apoio ao professor. Tópicos como teoria quântica de campos e caos e sistemas dinâmicos despontaram com objeto de estudo de alguns estudos, mas o tema preponderante foi a MQ, em detrimento de outros temas igualmente importantes, como a radioatividade. Devida amplitude dos conceitos envolvidos com a radioatividade e a importância que esse assunto passou a ter nos últimos anos, principalmente pela crescente demanda de energia e pelas tensões bélicas entre alguns países, consideramos baixo o número de trabalhos com esta temática. O tema radioatividade pode contribuir para a efetiva inserção da FMC nos currículos e nas salas de aula de uma maneira contextualizada e com pretensão interdisciplinar.

Já com relação aos referenciais teóricos, poucos trabalhos tiveram como orientação a teoria sócio-histórica ou sociocultural, e aqueles identificados, foram derivados de estudos concentrados em escassos grupos de pesquisa. Entendemos que as discussões com este referencial é crescente na Educação em Ciências e que tem potencial para colaborar ainda mais com a área. Portanto, nos próximos capítulos apresentamos nossos referenciais teóricos e como, a partir deles, implementamos uma proposta de inserção de FMC no EM, com foco analítico na ação discursiva dos alunos na aprendizagem dos conceitos envolvidos com a radioatividade.

## 2 O HOMEM NO MUNDO: O TRABALHO, A LINGUAGEM E A APRENDIZAGEM

A escalada evolutiva darwiniana iluminou diversas penumbras relativas ao desenvolvimento das espécies. Biologicamente, podemos entender como o homem se constituiu ao longo dos séculos, mas foi preciso ir além para compreender como, a partir disso, sua relação com o mundo se deu. Assumindo o trabalho como relação social essencial, que propiciou o vínculo do homem com o mundo por meio da mediação de instrumentos e signos, este capítulo faz uma breve reconstituição do progresso de nossa espécie desde os símios, passando pelo homem primitivo e culminando no homem histórico-cultural.

### 2.1 Do macaco ao homem

A forma como os macacos antropomorfos viviam, pulando de galho em galho, provocou uma lenta diferenciação entre as funções executadas pelas mãos e pelos pés. Estes ancestrais do homem, ao deixar as mãos mais livres, desenvolveram maior mobilidade na movimentação e habilidade na manipulação de objetos. As adaptações e as novas funções, juntamente com evolução anatômica e fisiológica de outros órgãos, aconteceram em um amplo período de tempo e atingiram um grau de perfeição tal que deram origem a produções culturais exclusivamente humanas, como as pintura e esculturas (ENGELS, 2010).

No entanto, Köhler (apud VYGOTSKY; LURIA, 1996) em seus estudos constatou que grupos de macacos também eram capazes de fazer representações pictóricas. Quando argila branca era deixada a disposição, os símios a umedecia com os lábios formando uma pasta branca e aplicavam essa mistura sobre diferentes objetos. Não tardou para que os macacos, de forma mais habilidosa do que outros animais, substituíssem os lábios pelas mãos ou por instrumentos, semelhante a um pincel. Mas se as pinturas são produções exclusivamente humanas como dito, há uma aparente contradição a qual Vigotski e Luria desconstroem:

Todos os fatores que distinguem o comportamento do macaco do do homem podem ser resumidos e expressos numa afirmação geral neste sentido: a despeito do fato de que o macaco manifesta uma capacidade para inventar e utilizar instrumentos, - o pré-requisito de todo o desenvolvimento cultural humano - a atividade de trabalho, baseada nessa capacidade, não se desenvolveu ainda no macaco, nem mesmo minimamente. O uso de instrumentos na ausência do trabalho é o que mais aproxima o comportamento do homem e do macaco e, ao mesmo tempo, o que mais o afasta (VYGOTSKY; LURIA, 1996, p. 87).

O trabalho ampliou as formas de domínio sobre a natureza de modo que as relações e as necessidades do homem se complexificaram. Por certo, este progresso foi proporcionado não só pelo desenvolvimento da mão e de outros órgãos, mas também por este novo tipo de relação social.

Engels (2010) faz uma distinção clara entre o trabalho e outras formas de atividades humanas. O filósofo esclarece que o trabalho verdadeiro só começa com a elaboração de instrumentos, ou seja, objetos intencionalmente modificados e adaptados para mediar a relação do homem com a natureza. Os martelos primitivos ou os primeiros machados de pedra lascada são exemplos ilustrativos destes instrumentos. Neste sentido, Marx (1988) faz uma importante reflexão sobre o processo de trabalho:

Antes de tudo, o trabalho é um processo de que participam o homem e a natureza, processo em que o ser humano com sua própria ação, impulsiona, regula e controla seu intercâmbio material com a natureza. Defronta-se com a natureza como uma de suas forças. Põe em movimento as forças naturais de seu corpo, braços e pernas, cabeça e mãos, a fim de apropriar-se dos recursos da natureza, imprimindo-lhes forma útil à vida humana (MARX, 1988, p. 202).

O desenvolvimento da espécie humana é resultado de uma relação dialética originada no trabalho, isto é, ao objetivar sua subjetividade na fabricação do primeiro machado, o homem transformou a natureza e também se transformou. A atividade desempenhada pelo trabalho, “implica em uma dupla produção: a dos objetos culturais e a do ser humano do [sic] homem” (PINO, 1991, p. 35).

A gênese dessa dupla produção contribuiu decisivamente para o surgimento de atividades conjuntas. Em outras palavras, o trabalho agrupou os membros em sociedade (ENGELS, 2010), estimulando a necessidade de se comunicarem, falarem com membros da mesma espécie. Engels (ibid., p. 23) salienta ainda que “primeiro o trabalho, e depois dele e com ele a palavra articulada, foram os dois estímulos principais sobre cuja influência o cérebro do macaco foi-se transformando gradualmente em cérebro humano”. Em suma, o trabalho sintetiza e medeia as relações do homem com a natureza, por meio da ferramenta, e da vida em comunidade, por meio da fala.

## 2.2 A relação do homem com o mundo

A análise marxiana do trabalho tanto explica os modos de produção, cuja finalidade era esta, como também permite explicar a função mediadora que o trabalho estabelece entre os homens e a natureza e entre si mesmo. Entretanto, o que esta análise não deixa claro é de “onde advém à atividade do trabalho essa qualidade mediadora” (PINO, 1991, p. 36). Embora a instrumentalidade técnica esteja presente na obra de Marx e Engels, essa qualidade mediadora é explicada e ampliada, por meio da instrumentalidade semiótica, somente com Vigotski (PINO, 2001).

As relações do homem, ao se complexificarem, passaram a exigir explicações mais aprimoradas para a compreensão de como elas se constituíam. Por consequência, a relação linear estabelecida pela teoria comportamentalista, sumamente representada pela vinculação estímulo-resposta, se tornou insuficiente e foi significativamente alterada. Quando um indivíduo aproxima a mão de uma chama é natural que se afaste imediatamente, fazendo uma associação direta entre a fonte de calor e o seu afastamento, devido à dor. Entretanto, se diante de uma situação semelhante o mesmo indivíduo evita o contato com a chama devido à lembrança da sensação ou diante do aviso de algum outro indivíduo sobre a consequência do ato, no caso a dor, a relação será mediada. Quer dizer, a mediação se constituiu no exemplo ora pela lembrança, ora pela interação de outra pessoa e não mais por uma relação direta (OLIVEIRA, 1995).

Progredindo além das analogias, a relação entre o homem e o mundo, e entre si mesmo, é também necessariamente mediada. Em um “sentido amplo, a mediação é toda intervenção de um terceiro elemento que possibilita a interação entre os termos de uma relação” (PINO, 1991, p. 32). Vigotski estabelece que a atividade indireta acontece por meio de instrumentos físicos e instrumentos semióticos, ou simplesmente signos. Os signos desempenham papel semelhante ao uso de instrumentos físicos, porém aqueles orientados para o próprio indivíduo, enquanto estes para objetos externos. “O signo age como um instrumento da atividade psicológica de maneira análoga ao papel de um instrumento no trabalho” (VIGOTSKI, 2007, p. 52) e ambos são acessórios na atividade humana, possuindo em comum a função mediadora, conforme Pino (1991) explica:

Diferentemente dos animais, sujeitos aos mecanismos instintivos de adaptação, os seres humanos criam instrumentos e sistemas de signo cujo uso lhes permite transformar e conhecer o mundo, comunicar suas experiências e desenvolver novas funções psicológicas. A mediação dos

sistemas de signos constitui o que denominamos “mediação semiótica” (PINO, 1991, p. 33).

Assim, no desenvolvimento da espécie e na constituição do indivíduo histórico, a passagem do homem predador para o homem caçador exigiu novas habilidades. A relação sinalética fixa e natural, como marcas de pegadas de animais, evolui e culmina nas relações artificiais e variáveis, isto é, os signos. Enquanto a primeira se cristaliza a outra se altera e se modifica, característica da mediação semiótica e pré-requisito para o desenvolvimento cultural (ibid.).

O conhecimento gerado nas novas relações é uma produção social que surge da atividade humana. “Por meio dela o homem transforma a natureza e a constitui como objeto de conhecimento (produção cultural) e, ao mesmo tempo, transforma a si mesmo em sujeito do conhecimento” (CAVALCANTI, 2005, p.189). Criar sua forma de existência material e social, das sociedades tribais às mais complexas, integra o que é denominada produção cultural. Segundo Pino (2000), Vigotski define cultura como produto da prática social resultante da dinâmica das relações sociais, e do trabalho social, ou seja, é tudo aquilo que está em contraposição ao que é dado pela natureza, como por exemplo as produções científicas, técnicas e artísticas. O papel dos sistemas semióticos, como a linguagem, é essencial no processo de apropriação cultural.

Na relação com o meio sociocultural o homem estabelece a capacidade de conhecer e atuar no mundo, ao mesmo tempo em que suas funções mentais superiores (percepção, memória, pensamento, planejamento) se desenvolvem (CAVALCANTI, 2005). Ao agir sobre os outros, e sobre si mesmos, a mediação semiótica estabelecida pelo sistema linguístico é exemplo cabal da materialidade dos signos e de sua relação com o pensamento.

No homem primitivo essa mediação semiótica desempenhada pela linguagem estava diretamente ligada ao empírico e ao concreto. A linguagem ainda permanecia muito atrelada à memória, pois ela se materializava a partir de como os objetos eram percebidos pelos olhos e ouvidos, como uma fotografia ou um filme. Mesmo que isto tenha resultado em um vocabulário vasto e riquíssimo, foi só o homem cultural que extrapolou os limites do empírico. Embora tenha desenvolvido sua linguagem com um menor número de vocábulos, importantes propriedades emergiram, como a de categorização e a de generalização (VYGOTSKY; LURIA, 2006). O homem afastou-se da descrição e caminhou em direção à abstração, circunstância indispensável na discussão científica.

### 2.3 A linguagem nas relações humanas

O trabalho, além de propiciar maior dinâmica na vida em comunidade, estimulou a comunicação. E diferentemente dos animais não humanos, os homens desenvolveram formas muito próprias de se comunicar. Porém, para que a comunicação pudesse acontecer não bastaria colocar face a face dois indivíduos e esperar que os signos se constituíssem, foi essencial que existisse uma organização social para que um sistema simbólico sofisticado pudesse ser elaborado (BAKHTIN, 2009).

E no seio dessa nova forma de organização, a linguagem se instituiu como o mais rico sistema simbólico, característico da espécie, conforme Mercer (1998) bem articula:

[...] A linguagem é [...] a nossa principal ferramenta cultural, aquilo que usamos para compartilhar a experiência e dar-lhe sentido de modo coletivo e conjunta. É principalmente através da linguagem falada e escrita que as sucessivas gerações, de uma sociedade se beneficiam da experiência dos seus antepassados, e é também através da linguagem que cada nova geração compartilha, discute, resolve e aperfeiçoa a sua própria experiência. Portanto, o discurso não é meramente a representação do pensamento na linguagem: é mais uma maneira social de pensar (MERCER, 1998, p. 14).

As implicações em admitir a linguagem como principal ferramenta cultural são várias. Um elefante, por exemplo, ao pegar um galho com a tromba para espantar mosquitos de seu corpo não é capaz de transmitir para próxima geração a importância deste ato ou da necessidade de se desenvolver ou descobrir objetos mais eficientes para se livrar dos insetos (OLIVEIRA, 1995). A habilidade de espantar mosquitos não é essencial para o desenvolvimento da espécie e não há ali nenhum sistema simbólico relevante e muito menos indícios de algum tipo de linguagem. Já a espécie humana, desenvolve suas ferramentas culturais, analisa seus signos e transmite para as gerações subsequentes os avanços adquiridos.

Portanto, devido a sua importância, a linguagem passou a ser objeto de estudo de várias correntes da linguística. Dependendo da postura filosófica de cada uma delas, a língua pode ser considerada como um sistema acabado, estável ou sem vínculos históricos. No entanto, Bakhtin supera estas posturas e analisa a língua inserida em um processo contínuo de evolução que se realiza em um fluxo ininterrupto mediante interações sociais. Em síntese, o ouvinte e o falante se tornam participantes ativos no processo histórico de comunicação discursiva, constituídas por meio de atos de fala. O produto, não cristalizado, dos atos de fala são precisamente os enunciados escritos ou orais (BAKHTIN, 2009).

O enunciado como unidade de comunicação discursiva se contrapõe, então, à oração, tida como unidade da língua. Segundo Bakhtin (2003), enquanto o enunciado pressupõe diferentes sujeitos do discurso, a oração não é determinada por esta alternância. Embora a oração também se correlacione com outros pensamentos e enunciados, ela é relativamente acabada. Diferentemente da gramática e do dicionário, o fenômeno de interação verbal, composto pelos enunciados, é a verdadeira substância da língua fluída e dinâmica. Ademais, cada campo de atividade humana se caracteriza por enunciados próprios daquele grupo e quando são relativamente estáveis, são denominados gêneros do discurso.

Bakhtin (2003) trata dos gêneros discursivos primários (simples – comunicação diária) e dos gêneros discursivos secundários (complexos – romance, drama, pesquisas científicas etc.), e no processo de formação deste, o autor nos diz:

Eles incorporam e reelaboram diversos gêneros primários (simples), que se formam nas condições da comunicação discursiva imediata. Esses gêneros primários, que integram os complexos, aí se transformam e adquirem um caráter especial: perdem o vínculo imediato com a realidade concreta [...] (BAKHTIN, 2003, p. 263).

Bakhtin distingue e dimensiona as esferas de uso da linguagem e destaca o desprendimento com o concreto imediato na relação entre gêneros discursivos, mas isso não quer dizer que estão isolados um do outro (MACHADO, 2010). A ideia de dimensionar as esferas de uso da linguagem “introduz uma abordagem linguística centrada na função comunicativa” (ibid., p. 156).

Por tudo isso, quando o enunciado é analisado em uma situação de comunicação discursiva, desvendamos uma série de palavras semilacentes de outros. Isto quer dizer que o enunciado está carregado por outras vozes, conceito bakhtiniano que não se reduz aos sinais vocais e auditivos. A noção de voz surge da aproximação entre os conceitos de enunciado e a caracterização dos sujeitos participantes da interação. A principal razão deste vínculo é que um enunciado só pode ser produzido a partir de um ponto de vista, ou seja, por uma voz específica (WERTSCH, 1991; GIORDAN, 2008). Próximo desta acepção vem o conceito de polifonia. Ele foi delineado por Bakhtin a partir do estudo da obra de Dostoiévski e se expandiu, de acordo com a perspectiva metodológica, para outros contextos (BRAIT, 2011). Na análise do discurso, especificamente, a perspectiva polifônica significa compreender o contato permanente que existe entre as múltiplas vozes (GIORDAN, 2008).

O enunciado, e, naturalmente, a polifonia que o povoa, é representado por ecos das alternâncias dos sujeitos do discurso e não deve ser examinado isolado, mas sim no fluxo de outros enunciados, quer dizer, na cadeia da comunicação discursiva (BAKHTIN, 2003).

Todo enunciado concreto é um elo na cadeia da comunicação discursiva de um determinado campo [...] Os enunciados não são indiferentes entre si nem se bastam cada um em si mesmo; uns conhecem os outros e se refletem mutuamente uns nos outros (BAKHTIN, 2003, p. 296).

Os enunciados, que são encadeados com os enunciados já ditos, também se concatenam com aqueles que ainda não foram elaborados. Bakhtin (2003) ousa e afirma que quando um enunciado é criado, embora os elos subsequentes ainda não existam, o falante o constrói levando em conta a atitude responsiva do outro. Este outro, portanto, já se constitui como participante ativo da comunicação mesmo antes de ler ou ouvir o enunciado.

Deste modo, a representação falante-ouvinte utilizada por alguns linguistas se torna insuficiente, ou nas palavras de Bakhtin, se torna uma ficção. Isto se deve ao pressuposto fortemente combatido pelo filósofo de que o ouvinte teria uma atitude passiva diante do discurso do outro. O ouvinte ao compreender o discurso se coloca em uma posição ativamente responsiva, isto é, ele concorda, discorda ou amplia o enunciado alheio. Toda compreensão da fala viva é de natureza responsiva e como implicação o ouvinte se torna falante (BAKHTIN, 2003).

Ademais, todo falante é por si mesmo um respondente em maior ou menor grau: porque ele não é o primeiro falante, o primeiro a ter violado o eterno silêncio do universo, e pressupõe não só a existência do sistema da língua que usa, mas também de alguns enunciados antecedentes – dos seus e alheios – com os quais o seu enunciado entra nessas ou naquelas relações [...] (BAKHTIN, 2003, p. 272).

Como resultado, o falante também é ouvinte, pois seu enunciado responde o que já foi dito e escrito anteriormente. No fluxo da comunicação discursiva o modelo falante-ouvinte perde novamente o sentido, pois cada enunciado é um elo da cadeia enunciativa já existente. Assim, a gênese do enunciado se dá a partir dos enunciados dos demais participantes da comunicação verbal (GIORDAN, 2008).

Outro ponto importante no conceito de dialogia de Bakhtin é a discussão sobre o modo como a compreensão responsiva acontece. De acordo com o autor, ela pode se realizar de três diferentes formas: em uma resposta subsequente em voz alta; em uma ação, como por exemplo, após um comando militar; ou de forma silenciosa, com efeito retardado. Esta última

é característica dos gêneros discursivos secundários, que são mais complexos e exigem maior reflexão e elaboração conceitual (BAKHTIN, 2003). É previsível que a compreensão ativa de conceitos interdependentes, que naturalmente exige maior esforço e formalidade, aconteça no decorrer de um processo dialógico mediado.

A partir da compreensão dos conceitos de dialogia de Bakhtin e da mediação de Vigotski, na próxima seção apresentaremos a teoria da ação mediada, que buscou conversar com estes autores avançar no entendimento da ação do homem.

## 2.4 A ação mediada

Ao desenvolver a teoria da ação mediada, James Wertsch empregou em sua obra o termo sociocultural. A escolha teve a intencionalidade de explicitar o desejo de compreender a ação mental em cenários culturais, históricos e institucionais. Desta forma, reconhece as contribuições de diferentes estudos da ação mediada e de diferentes autores que discutem a cultura. Esta opção, porém, não nega a importância da dimensão histórica, vinculada principalmente a autores como Vigotski. Então, mesmo que a terminologia sócio-histórico-cultural pareça mais adequada, a opção pelo primeiro termo se tornou mais harmônico, condensando seus focos de análise, sem desconsiderar o valor da historicidade (WERSCH, 1991).

Ao analisar as pesquisas ou interpretações sobre a relação entre funcionamento mental e contexto cultural, dois diferentes enfoques tornam-se evidentes. No primeiro há a primazia do contexto sociocultural na compreensão dos processos psicológicos, ao passo que no segundo os processos psicológicos individuais são a base para a compreensão dos fenômenos socioculturais. De acordo com Wertsch (1998, p.58) o debate que surge entre os dois enfoques gera uma antinomia sem previsão de solução, pois “não são baseados na lógica ou fato empírico, mas em apreciações do indivíduo e da sociedade”.

Assim, Wertsch (1998) situa como objetivo da pesquisa sociocultural entender a relação entre o funcionamento mental humano e o contexto cultural, histórico e institucional. Ao definir este objetivo, se posiciona alternativamente diante da antinomia indivíduo-sociedade e interpreta a contradição dialeticamente,

Sugeri que a maneira de evitar as armadilhas dessas antinomias é basear a pesquisa em uma unidade de análise na qual membros da antinomia possam ser vistos como momentos dialeticamente interativos e não como objetos ou essências que “existem realmente”, e sugeri que um bom candidato para essa unidade é a ação humana. A versão particular desse candidato geral que

tracerei é a ação mediada, uma versão que traça suas raízes teóricas em teóricos como Vygotsky e Bakhtin. (WERTSCH, 1998, p. 68)

O termo ação pode ser compreendido como sendo realizada tanto a objetos, no campo exterior, como orientada à atividade psicológica, no campo interior. Esta característica estabelece importantes conexões com as ideias dos teóricos citados, Vigotski e Bakhtin, aquele com ênfase no discurso e pensamento e este com ênfase no enunciado. No diálogo entre estes dois autores, Wertsch busca incorporar ideias e conceitos de Bakhtin, como voz e linguagem social, e desenvolver as propostas de Vigotski com relação a mediação dos signos na atividade humana (WERTSCH, 1991).

Apesar de que quase toda ação humana ser uma ação mediada, Wertsch não tem a pretensão de elaborar uma lista que contemple todas as formas de ação e os modos de mediação. Ele concentra sua análise na relação entre o agente, aquele que realiza a ação, e a ferramenta cultural, mediadora da ação. Ao fazer isto, dez afirmações básicas, cuja função é caracterizar a ação mediada, são formuladas: o agente e os modos de mediação - uma tensão irreduzível; a materialidade dos modos de mediação; as transformações da ação mediada; os múltiplos objetivos da ação; caminhos evolutivos; restrições e recursos; a internalização como domínio; a internalização como apropriação; consequências laterais e o poder e a autoridade. Ainda que as dez afirmações estejam fortemente intrincadas, elas serão individualmente explicadas.

Na primeira delas, o agente e os modos de mediação – uma tensão irreduzível, Wertsch (1999) assume como foco de análise a interação entre o agente e a ferramenta cultural. No intuito de ilustrar essa tensão irreduzível, o esporte salto com vara é escolhido como exemplo. Este esporte surgiu na Inglaterra e suas origens se remetem a prática de pular sobre riachos com o auxílio de varas feitas de madeira. Talvez o acesso limitado a algumas regiões ou mesmo a falta de pontes nos séculos passados, colaboravam para que esse exercício fosse comum. Com o decorrer do tempo a prática se transformou e o que era salto sobre riachos se tornou salto em altura. O esporte, então, se oficializou e faz parte dos Jogos Olímpicos da era moderna desde sua primeira edição, em 1896.

Apesar de aparentemente desconexo com os propósitos deste trabalho, o exemplo é muito ilustrativo. Wertsch destaca que “o salto com vara considerado como forma de ação mediada nos fornece uma clara evidência da irreduzibilidade desta unidade de análise” (WERTSCH, 1999, p. 53, tradução nossa). Ainda segundo o autor, a tentativa de isolar a ferramenta cultural, a vara, ou o agente, o atleta, torna o estudo da ação inútil.

Em síntese, podemos compreender todo o caso da seguinte forma: o atleta sem a vara não conseguiria saltar uma altura compatível como a prática do esporte, cinco ou seis metros, e a vara, sozinha, não é capaz de impulsionar de modo fantástico o atleta sobre o obstáculo nas alturas. Em outro campo, ao resolvermos um problema físico complexo no computador, inevitavelmente também estamos sujeitos a esta tensão. Portanto, o modo de mediação se caracteriza pela tensão irreduzível entre o agente e a ferramenta cultural.

A materialidade dos modos de mediação, conforme a vara ou o computador nos exemplos dados, é evidente, entretanto a fala quando proferida possui como uma de suas principais características a fluidez. Objetos físicos como livros, revistas, mapas, ou seja, enunciados escritos, não tem sua materialidade questionada, contudo os enunciados orais ou até mesmo as produções audiovisuais, quando não temos acesso às suas gravações, tornam esta característica imprecisa. Por ser fluída “a materialidade da linguagem falada parece evaporar depois de um instante de existência” (WERTSCH, 1999, p. 59, tradução nossa). Ainda assim, há uma propriedade inerente aos modos de mediação cuja característica é justamente a materialidade, que é particularidade da segunda afirmação, quer dizer, os modos de mediação são necessariamente materiais.

Esta propriedade, intrínseca às ferramentas culturais, tem implicações importantes na compreensão da maneira que os processos internos chegam a operar. Entendidos como as habilidades desenvolvidas no uso dos modos de mediação, os processos internos atuam diretamente por meio da propriedade material das ferramentas culturais e se ampliam. Por exemplo, a habilidade que desenvolvemos para andar de bicicleta não é restrita à bicicleta que nos acompanhou nas primeiras quedas, mas é generalizada a qualquer objeto com característica semelhante a uma bicicleta (WERTSCH, 1999). Andamos em outras bicicletas, assim como aprendemos sobre ciência com outras ferramentas culturais, além do tradicional livro didático.

A terceira afirmação destacada se refere às formas como as novas ferramentas culturais transformam a ação mediada. As configurações de mediação são modificadas não só com a introdução de novas ferramentas culturais, mas também por mudanças nos níveis de habilidade do agente (WERTSCH, 1999). No intuito de elucidar o que foi dito, retomaremos o exemplo do esporte salto com vara.

As primeiras varas, fabricadas com bambu e metal, pareciam fator limitante no estabelecimento de novos recordes no esporte. Durante quase vinte anos as maiores marcas variaram apenas cinco centímetros. Porém, com o desenvolvimento e a introdução de novos

materiais na fabricação das varas, como a fibra de vidro, os atletas quebraram sistematicamente os recordes. A variação chegou a sessenta centímetros em apenas três anos.

O exemplo desperta novas discussões em virtude do fato de que as varas já eram utilizadas para executar uma ação, saltar obstáculos em altura, e a utilização exatamente da mesma ferramenta cultural, constituída agora de outro material, alterou a mediação. Além das discussões acaloradas provocadas pela introdução de novos materiais naquele esporte, em nosso contexto, a saber, a sala de aula, as habilidades desenvolvidas pelos alunos frente às ferramentas que já são utilizados na escola, podem ser modificadas se selecionarmos também outros materiais.

A partir de agora, então, podemos pensar de que forma o agente utiliza a ferramenta cultural para atingir seus desígnios. A quarta afirmação se refere a possibilidade da ação mediada ter vários objetivos e que nem sempre eles são confluentes, isto é, os objetivos da ação mediada podem também ser conflituosos. No exemplo recorrente, o esporte salto com vara, é imaginável que o objetivo do atleta seja superar o obstáculo nas alturas, mas este objetivo óbvio pode ser parte de uma finalidade maior. Por exemplo, o atleta pode ter como meta impressionar o público que o assiste ou superar um adversário ultrajante. Na medida em que as ações mediadas se tornam complexas, os objetivos múltiplos devem ser considerados, evitando assim interpretações de ações motivadas exclusivamente por um objetivo. Na sala de aula a participação de um aluno em uma aula dialógica pode ter como objetivo, além de contribuir com a discussão, destacar sua presença e intelectualidade entre o grupo de amigos. Neste caso, a finalidade seria talvez construir seu argumento de autoridade na turma.

A quinta propriedade, caminhos evolutivos, está relacionada com o método genético evolutivo empregado por Vigotski. De acordo com Wertsch (1999) só podemos entender muitos aspectos do funcionamento psíquico se pudermos entender suas origens e as transformações que eles sofreram. O agente, a ferramenta cultural e a tensão irreduzível entre eles tem um passado próprio e estão sempre em processo de mudança. Desta forma, não há sentido em pensar os processos psíquicos estáticos ou cristalizados.

Um exemplo desta propriedade, diferente do esporte, pode ser ilustrado. Na década de sessenta era preciso dezenas de engenheiros e técnicos trabalhando durante anos em projetos de aviões. Hoje, porém, estes projetos se desenvolvem em um tempo bem mais curto, envolvendo um número menor de pessoas, graças ao computador. O sistema constituído pela tensão irreduzível entre o agente e a ferramenta cultural ajuda no entendimento do que se passou nesse processo de evolução. É importante ressaltar que tudo isso não aconteceu ao acaso, mas teve como objetivo, além da melhoria dos processos industriais, o aumento de

produtividade dos trabalhadores. Neste caso foi preciso mudar as ferramentas culturais para ocorrerem mudanças mais significativas nas habilidades do agente.

Quando utilizamos diferentes ferramentas culturais na escola com o objetivo de melhorar a aprendizagem dos alunos, muitas habilidades podem sofrer mudanças qualitativas. Diversos conceitos tratados em distintas ferramentas culturais, com vídeos e artigos, tem potencial para contribuir na contextualização de fenômenos abstratos, aparentemente distantes das vivências de cada um e promover mudanças expressivas na compreensão de fenômenos complexos.

Normalmente nas análises que envolvem a mediação, a abordagem se concentra nos avanços e nas novas possibilidades de ação. Não negando estes aspectos, Wertsch (1999) evidencia o lado oposto, pouco discutido: os limites e restrições provocados pelas ferramentas culturais nas ações mediadas.

No esporte já mencionado, as varas para saltar fabricadas em alumínio se mantiveram até a segunda guerra mundial sem que ninguém percebesse seus limites. Foi só após o desenvolvimento de novos materiais na fabricação das varas, como a fibra de vidro, que esta característica contrastante foi notada. Em um processo contínuo, a introdução de ferramentas culturais avança em algumas direções e nos faz perceber as limitações das ferramentas anteriores. Na sala de aula, quando a ferramenta cultural livro didático é substituída por outras, várias discussões, históricas, por exemplo, ampliam o contexto do conceito científico, mas em contrapartida podem limitar sua análise quantitativa. Limitações das ferramentas antigas são percebidas e superadas e outras novas, inevitavelmente, são inseridas.

As propriedades internalização como domínio e internalização como apropriação são propriedades muito próximas, portanto serão explicadas conjuntamente. Ainda que elas possuam semelhanças, é importante dizer que o domínio de uma ferramenta cultural não implica em apropriação, pois são processos distintos e podem ser separados empiricamente (PEREIRA; OSTERMANN, 2012a). Wertsch explica que o termo internalização deve ser interpretado inserido na análise da ação mediada e “enquanto tal está relacionada ao uso de ferramentas culturais e aos problemas de pesquisa abordados sob esta perspectiva” (GIORDAN, 2008, p. 93).

Apesar do domínio e da apropriação estarem em parte dos casos entrelaçados, existem diferenças substanciais entre eles. Wertsch (1999) associa a palavra domínio ao “saber como” utilizar uma ferramenta cultural. Já a apropriação, proveniente dos escritos de Bakhtin, se refere à possibilidade de trânsito do agente em diferentes esferas de comunicação,

utilizando habilmente a ferramenta cultural. Posso (2010) ilustra estas duas formas de internalização claramente.

Um exemplo de domínio de um conceito é saber resolver corretamente um exercício proposto em aula, ou seja, o agente passa a realizar com destreza tarefas no plano interno que antes só eram realizadas no plano externo. [...] No entanto, quando o agente faz uso de uma ferramenta com habilidade, em situações socioculturais distintas (descontextualizadas), reconhecendo seu valor em diferentes esferas de comunicação, temos caracterizado nível mais alto de internalização (POSSO, 2010, p. 53).

O nível mais alto referido é justamente denominado apropriação. Estas duas formas de internalização pode se estabelecer relações em diferentes graus e segundo Giordan (2008, p.97) “os critérios de diferenciação estão definidos pelo comprometimento, resistência, autonomia do agente em executar ações com propósitos específicos”.

As propriedades anteriores se concentraram em como os agentes usam e consomem as ferramentas culturais, mas pouco se disse sobre como elas são produzidas. Na perspectiva de Wertsch, se não se entende como os modos de mediação existem, a análise da ação mediada se torna incompleta. Um dos problemas que isso implica é a associação que se faz entre o surgimento de uma ferramenta cultural como uma resposta a uma necessidade do agente, sendo que nem sempre isso de fato acontece.

As primeiras varas, do esporte exemplo, eram feitas de bambu e só depois de vários anos foram introduzidos varas de alumínio e fibra de vidro. O detalhe é que estes materiais foram desenvolvidos em indústrias de tecnologia militar e aeronáutica, e só depois, devido às características de resistência e flexibilidade, eles foram introduzidos em outros setores. Essa é uma consequência lateral não prevista inicialmente. Ao contrário do que podemos imaginar, muitas das ferramentas culturais que utilizamos não foram produzidas para o fim dado a elas hoje, o que torna essa propriedade muito mais uma regra do que uma exceção.

A última propriedade trata do poder e da autoridade. Ela possui fundamental importância, pois afasta qualquer possibilidade de neutralidade das ferramentas culturais. De acordo com Pereira e Ostermann (2012a), essa propriedade se baseia nos escritos de Bakhtin e é atributo da tensão irreduzível entre os agentes e as ferramentas culturais. Quando prestamos atenção no discurso de uma pessoa, devido a sua autoridade, ou quando pagamos impostos para o governo, devido a sua direção impositiva, estamos sujeitos ao poder e a autoridade de pessoas ou entidades. Em um registro real de um episódio, Wertsch (1999) analisa como essa propriedade se insere no diálogo entre pai e filha.

Nele o pai avalia a filha ao perguntar quantos lados tem uma pirâmide. Após alguns breves enunciados, ela dá uma resposta divergente da resposta do pai e, assim, cita a fórmula de Euler no intuito de, a partir da formulação matemática, ferramenta cultural respeitada pelo genitor, inverter a posição de poder e autoridade. Neste relato fica evidente, além da propriedade de Wertsch, que o conhecimento científico também se funda com uma ferramenta cultural essencial e muito poderosa.

Concebido por representações simbólicas é ao mesmo tempo “o resultado de tentativas de criar uma compreensão compartilhada e um recurso que pode ser utilizado para mediar as tentativas de compreender e atuar efetivamente em situações presentes e futuras” (WELLS, 1998). Ou seja, ele propicia às diversas gerações a ação em variadas práticas sociais. Essa compreensão opõe-se às situações que acontecem em muitas escolas, onde o professor, amparado por sua autoridade e instrumentalizado pelo conhecimento científico, expõe sua aula em um monólogo.

A escola, ao lidar com o conhecimento arquitetado por séculos pela humanidade, é espaço fundamental para constituição das próximas gerações. No ensino, a importância das ideias de Wertsch podem ser traduzidas no desenvolvimento de certas habilidades específicas do agente ao lidar com as ferramentas culturais, novas ou já empregadas. A sala de aula, dessa maneira, deveria ser um espaço permanente de trabalho e de ação dialógica (PEREIRA; OSTERMANN, 2012a). Portanto na próxima seção, explicitaremos como a pesquisa foi desenvolvida em um conjunto de aulas cujo planejamento enfocou deliberadamente outras formas de pensar a aula.

### 3 METODOLOGIA: PESQUISA E AÇÃO PEDAGÓGICA

O trabalho se caracterizou por ser uma pesquisa qualitativa de caráter empírico, realizada com alunos do Ensino Médio de escolas da cidade de Goiânia. Como característica do estudo qualitativo, o ambiente se constituiu como fonte dos dados e a análise se concentrou nos processos, especificamente na aprendizagem dos alunos (TRIVIÑOS, 1987). Para que a análise proposta pudesse ser efetivada, foram feitos registros audiovisuais das intervenções, sendo toda dinâmica discursiva transcrita posteriormente.

Compromissados em não expormos a imagem e nem a identidade dos participantes, submetemos o projeto de pesquisa ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás. Após a aprovação, iniciamos a fase de planejamento do conjunto de aulas, denominada por nós de sequência didática.

Esta sequência foi intitulada “*Da instabilidade nuclear à instabilidade social*” e teve a intencionalidade de condensar em uma frase a motivação e a proposta do trabalho, pois foi a partir de alguns acontecimentos que envolviam a radioatividade que uma série de discussões emergiram no mundo, levando, ao mesmo tempo, professores e alunos a se atentarem pelo tema. A sequência didática foi guiada por uma abordagem que iniciou com temas mais amplos e concretos, indo em direção ao específico e abstrato, em outras palavras, foi do macroscópico ao microscópico.

Por conseguinte, as primeiras aulas da sequência tiveram como tema central aspectos históricos dos estudos iniciais sobre a radioatividade e alguns acidentes radioativos e radiológicos ocorridos no mundo, como Three Mile Island, Chernobyl, Goiânia e Fukushima. A partir daí, caminhamos em direção ao abstrato, como discussões referentes à eletrosfera, ao núcleo atômico, aos decaimentos nucleares, aos efeitos da radioatividade em sistemas biológicos etc. O propósito dessas discussões era de sinalizar, também, que essa é uma ciência não neutra, ou seja, que além dos conceitos científicos e da formalidade matemática, deve-se discutir as múltiplas implicações que o desenvolvimento da ciência e da tecnologia provocou no mundo, no decorrer da história, e na vida das pessoas.

Outro ponto a ser destacado na estrutura da metodologia, com implicações diretas nas análises, foi a necessidade de diálogo nas aulas, onde várias vozes pudessem ser consideradas. Portanto, esta postura se aproximou do que Mortimer e Scott (2002) chamaram de abordagem comunicativa dialógica. Nela, a sala de aula se configura como local permanente de diálogo e o professor, necessariamente, ouve e considera os diversos pontos de vistas produzidas por um grupo ou por indivíduos.

A partir destas características da sequência didática, optamos por fazer duas intervenções, que determinou a elaboração da metodologia da ação pedagógica. Apesar de demandar mais tempo e planejamento, o caminho percorrido na primeira intervenção se caracterizou pelo grande aprendizado e culminou em uma segunda intervenção, mais madura e condizente com os propósitos deste trabalho, possibilitando um estudo mais consistente.

A análise, por fim, se constituiu a partir dos registros audiovisuais das aulas, das observações e percepções anotadas no diário de campo. Os alunos, munidos das ferramentas culturais, textos, vídeos e conceitos científicos, praticariam a ação, elaborariam enunciados orais e escritos durante as discussões. As características de cada intervenção, a primeira em uma escola pública federal e a segunda em uma escola particular, serão expostas adiante.

### **3.1 A escolha do conceito e das ferramentas culturais**

Ao delinear a ideia geral da pesquisa, foi preciso definir um tema ou conceito científico que pudesse delimitar o planejamento. A escolha deveria se basear em uma temática que fugisse da saturação dos tópicos da mecânica clássica, que tivesse a pretensão de ser interdisciplinar e apresentasse de alguma forma relevância e implicações sociais, conforme apregoam alguns documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000, 2002). A busca por um tema que contemplasse todos estes pré-requisitos iniciou com alguma dificuldade, mas logo um acontecimento do outro lado do mundo nos trouxe um indicativo.

No primeiro semestre de 2011, uma onda gigantesca – *tsunami* – atingiu a costa do Japão e provocou, além de milhares de mortes, a destruição de cidades e graves danos a usinas termonucleares, importante fonte de energia do país. Dessa forma, as discussões relativas aos riscos dos *tsunamis* e terremotos estimularam debates que resgataram uma temática adormecida, especificamente, a radioatividade. As avarias causadas nas usinas daquele país gerou séria contaminação ambiental e, em decorrência destes fatos, a utilização da energia nuclear foi colocada em cheque. A repercussão do desastre foi evidente e o Japão virou notícia durante todo o ano de 2011.

Assim, a radioatividade cumpriu todos os pré-requisitos para a escolha, com a vantagem de abarcar diversos conceitos científicos na discussão sobre o tema. E ainda extrapolou as preocupações iniciais, pois além do Brasil iniciar um ousado projeto de construção de novas usinas termonucleares, o evento Rio+20, que aconteceria no mês de junho de 2012 no Rio de Janeiro, abria novas discussões atentas às formas sustentáveis e

seguras de produzir energia. Era pungente a necessidade de discutir essa temática para que despertasse nos alunos a importância de se posicionar politicamente, amparados por conceitos científicos bem fundamentados, diante das reais necessidades, riscos e benefícios envolvidos na utilização da energia nuclear.

Feita a escolha, novas preocupações surgiram, devidas à complexidade do assunto. A primeira se relacionou com a inserção deste tema no EM, a radioatividade é pouco discutida e muitas vezes colocada nos apêndices e tópicos opcionais dos livros didáticos (MEDEIROS; LOBATO, 2010) ou quando discutida, as abordagens são simplistas e isoladas, sem relação com questões históricas, sociais, políticas e ambientais (MONTEIRO; NARDI, 2008; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007). Além disso, quando o tema se aprofunda nos conceitos físicos ele se torna muito complexo, pois seriam necessárias noções mínimas de Física Relativística e Física Quântica (KARAM; PIETROCOLA, 2008). Deveria haver um equilíbrio entre a contextualização e a complexidade da FMC para que a pesquisa se desenvolvesse e contribuísse com a formação dos alunos participantes.

Para tanto, ferramentas culturais diferenciadas foram pré-selecionadas. A partir do tema, textos e vídeos foram analisados no intuito de sabermos se estas ferramentas culturais nos permitiria desenvolver a pesquisa proposta. O termo “pré-selecionado” utilizado tem a finalidade de esclarecer que, devido à grande quantidade de ferramentas culturais, apenas uma parte foi finalmente utilizada nas intervenções. A variação na característica e na seleção aconteceu em consequência do perfil da escola, do professor e dos alunos, além da experiência adquirida no transcorrer da pesquisa.

Ao buscarmos substituir o livro didático, a escolha se pautou em outras ferramentas culturais que pudessem alterar a ação na sala de aula, ou seja, que estimulasse a elaboração de enunciados diante de diferentes vozes, significando os conceitos chave e ampliando a discussão científica. Em resumo, a seleção tinha como horizonte uma transformação qualitativa da ação. Desta forma, as ferramentas culturais escolhidas variaram entre artigos de periódicos científicos, artigos de revistas de circulação nacional, textos informativos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e da Eletronuclear, vídeo de longa metragem nacional e vídeos de reportagens disponíveis no YouTube. Apesar destas não terem como objetivo de produção a educação formal, nos amparamos em uma das propriedades da ação mediada, especificamente “consequência lateral”, e levamos até a sala de aula diferentes vozes com múltiplos objetivos.

### **3.2 Metodologia da ação pedagógica: a elaboração da sequência didática**

A pesquisa se desenvolveu em duas diferentes instituições de ensino. A primeira em uma escola pública federal e a segunda em uma escola particular, ambas na cidade de Goiânia. Ainda que tenhamos analisado somente a intervenção na segunda escola, toda a dinâmica ocorrida na primeira intervenção foi essencial na elaboração da metodologia da ação pedagógica subsequente. Portanto, a seguir apresentamos e caracterizamos as duas intervenções, destacando as escolas, os participantes e a constituição das sequências didáticas.

#### **3.2.1 A primeira intervenção**

A primeira intervenção aconteceu em uma escola pública federal. A boa relação com a coordenação, fruto de outros trabalhos lá desenvolvidos, e a proximidade física influenciaram diretamente na escolha deste campo de pesquisa. Esta escola possui bons laboratórios e corpo docente qualificado, além disso, a estrutura curricular é diferenciada, divide-se em dois núcleos. O primeiro deles, denominado núcleo obrigatório, era composto por disciplinas que deveriam ser cursadas por todos os alunos no período matutino. O segundo denominava-se núcleo flexível, composto por disciplinas acessórias. Este tipo de disciplina se diferenciava daquelas oferecidas no currículo obrigatório, pois além de ter a matrícula facultativa podia versar sobre temas diversos. Estas disciplinas aconteciam normalmente no período vespertino e podiam ser escolhidas de acordo com a área de interesse de cada aluno. Assim, parte da grade escolar era moldada de acordo com as afinidades de cada um.

Para o segundo semestre de 2011, o professor de Física ofertou uma disciplina acessória, denominada “Física Moderna”, cuja temática era composta por tópicos, dentre os quais a radioatividade fazia parte. Matricularam-se na disciplina doze alunos, sendo que apenas oito frequentaram normalmente. Todos os alunos cursavam a segunda série do EM, apesar de existir também a possibilidade de matrícula de alunos da terceira série. O professor da disciplina, bacharel e doutorando em Física Básica, nos cedeu cinco aulas, precisamente aquelas em que ele discutiria o tema radioatividade. O termo ceder é utilizado com o propósito de deixar mais claro de que forma a dinâmica aconteceu.

As aulas foram ministradas pelo pesquisador e planejadas juntamente com os professores orientadores, sendo que um deles acompanhou toda a dinâmica em sala. O professor titular da disciplina também acompanhava, porém suas intervenções foram bastante

pontuais, logo o termo ceder se justifica, pois não houve planejamento conjunto e sua participação foi muito limitada durante todas as aulas.

Tanto nesta como na segunda intervenção, foi proposto para os alunos o desenvolvimento de uma atividade prévia antes de cada aula. Normalmente, consistia no estudo e reflexão sobre o conteúdo de alguma dessas ferramentas culturais. Assim sendo, a sequência didática se estruturou de acordo com o Quadro 1, referenciado no quadro de aulas apresentado no trabalho de Costa (2010).

**Quadro 1** – Quadro geral de aulas da turma de 2.<sup>a</sup> série do EM, 2.<sup>o</sup> sem. de 2011.

| <b>Aula</b> |       | <b>Atividade desenvolvida</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Principais temas/conceitos</b>                                                                                                            |
|-------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | 31/08 | Discussão sobre acidentes radioativos que aconteceram no mundo - Three Miles Island, Chernobyl, Goiânia e Fukushima [textos 1, 2 e 3 do Anexo A]. P                                                                                                                                                      | Aspectos sociais, econômicos, históricos e científicos envolvidos nos acidentes.                                                             |
| 2           | 14/09 | Discussão a partir dos textos “Raio-X e radioatividade” (CHASSOT, 1995) e “O despertar da radioatividade no alvorecer do séc. XX” (LIMA, PIMENTEL, AFONSO, 2011) [textos 4 e 5 do Anexo A].                                                                                                              | Histórico da descoberta da radioatividade; características da radioatividade; relação entre medicina e radioatividade; produtos radioativos. |
| 3           | 21/09 | Aula com slides e discussão sobre os conceitos científicos envolvidos na exposição.                                                                                                                                                                                                                      | Composição do átomo; núcleo atômico; estabilidade nuclear; decaimentos nucleares.                                                            |
| 4           | 28/09 | Discussão a partir do espectro eletromagnético e de alguns slides apresentados. Na metade final da aula foi feito um experimento demonstrativo sobre as emissões nucleares. Entrega do texto “Radiação de fundo” (GOMES, 1988) e “Química do tempo: Carbono-14” (FARIAS 2002) [textos 6 e 7 do Anexo A]. | Radiação ionizante e não ionizante; características físicas das emissões radioativas; radiofármacos; irradiação de alimentos.                |
| 5           | 05/10 | Retomada da discussão relativa ao experimento da aula anterior.<br><br>Avaliação final escrita.                                                                                                                                                                                                          | Características físicas das emissões radioativas.                                                                                            |

Apesar do limitado número de aulas, elas possuíam duração dobrada, isto é, cada uma teve o tempo total de uma hora e trinta minutos. Isso nos fez, erroneamente, planejar aulas com conteúdo excessivo e, por consequência, diversos conceitos foram brevemente discutidos. Imagínávamos que aulas extensas fossem mais adequadas aos propósitos de

dialogia deste trabalho e que, portanto, um maior número de temas relacionados à radioatividade fosse preciso para sustentar uma aula com esta duração.

Outro ponto relacionado à questão temporal, que influenciou no planejamento das aulas, foi a de que os alunos possuíam apenas uma aula semanal da disciplina. Isto fez com que vários textos, que serviriam de amparo nas discussões em sala, fossem entregues para a leitura em casa. Subestimamos a importância das outras disciplinas e das demandas sofridas pelos alunos, como por exemplo, as preocupações relativas ao vestibular e a necessidade de integralizar a carga horária de outras disciplinas acessórias. O resultado, hoje óbvio, foi o pouco engajamento e baixa participação. As atividades prévias, indicadas para casa, quase nunca eram feitas.

Houve um ingênuo equívoco ao imaginarmos que os alunos se matriculariam na disciplina, motivados principalmente pelo interesse em FMC. Ao conhecermos melhor a dinâmica da escola, compreendemos que cada aluno deveria cumprir uma carga horária mínima em disciplinas acessórias para se formar, e que o que era matrícula por afinidade se tornara muitas vezes em matrícula por obrigação ou matrícula compulsória, efeito colateral de um currículo inovador.

Além disso, mesmo nas últimas aulas ministradas, o estranhamento dos alunos continuava e a impressão era a de que continuávamos sendo sujeitos alheios à sala. Embora a participação do professor da turma pudesse amenizar o olhar de não pertencimento diante dos alunos, enfrentamos com prudência toda situação, pois entendemos que quando dois estranhos se propõem a realizar outro tipo de aula, alguma resistência vai existir. As aulas dialógicas planejadas pressupõem, também, outro tipo de aluno, mais participativo e atuante. Por certo, isso vai na contramão ao que acontece em grande parte das salas de aulas brasileiras, onde o aluno ouve resignadamente o professor, patrono do saber, e, contraditoriamente, potencial algoz da criticidade.

Por tudo isso, refletimos sobre os acontecimentos e decidimos por uma nova intervenção, não dispensando toda a aprendizagem adquirida na primeira experiência. O planejamento conjunto com o professor da disciplina e a restrição no conteúdo de radiação foram pontos seriamente pensados. Igualmente, a pouca experiência em regência do pesquisador foi substituída pela vasta experiência do professor que participou da segunda intervenção.

### 3.2.2 A segunda intervenção: idas e vindas

A segunda intervenção aconteceu em uma escola particular da cidade de Goiânia. Ela oferece o Ensino Fundamental e Médio e integra um centro universitário com quase quarenta anos de história. A instituição possui infraestrutura com laboratórios, sala de informática e um corpo docente qualificado, alguns professores lecionam também no ES.

Nosso vínculo com a instituição se iniciou graças ao contato que tivemos com um de seus professores. Ele, egresso do curso de licenciatura e do mestrado em Química da Universidade Federal de Goiás, continuava frequentando a academia por meio de alguns grupos de estudo. O primeiro contato se deu justamente em um destes grupos, onde discutíamos metodologia de pesquisa. Ao saber um pouco mais deste trabalho, ele se mostrou interessado e disposto a nos ajudar, caso fosse preciso.

Diante das insuficientes discussões na primeira intervenção, nosso contato com este professor tornou-se necessário e indispensável. Apesar de lecionar a disciplina de Química, a temática é comum, pois a radioatividade é discutida tanto em Química quanto em Física. Mestre e com mais de dez anos de experiência em sala de aula, não viu problemas em elaborarmos um conjunto de aulas para a turma de primeira série do EM. Em nosso entendimento, alunos deste nível já poderiam aprender um pouco mais sobre a radioatividade, visto que eles já tinham noções básicas da estrutura da matéria, de modelos atômicos e da tabela periódica, oriundas do Ensino Fundamental.

A turma participante possuía vinte alunos, com idade média de quinze anos, sendo sessenta por cento vindos do Ensino Fundamental daquela instituição e o restante proveniente de outras escolas, algumas localizadas em outras cidades da região metropolitana, como Abadia de Goiás<sup>1</sup>. Os alunos tinham ótima relação com o professor e se mostraram interessados na temática proposta.

A intervenção aconteceu em treze aulas de cinquenta minutos, na qual eram distribuídas nos dias de segunda e quinta-feira. Apesar de a sequência possuir um número maior de aulas, se comparada com a primeira intervenção, reduzimos o conteúdo e o número de ferramentas culturais e privilegiamos algumas atividades em sala. Por exemplo, enquanto na escola pública empregávamos ferramentas culturais específicas para discutir temas relacionados à Biofísica, nesta escola a discussão foi diluída em outros temas, como as

---

<sup>1</sup> A cidade de Abadia de Goiás, localizada no sudoeste da região metropolitana de Goiânia, abriga o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO), local onde rejeitos do acidente radiológico do Césio 137 estão armazenados.

implicações na saúde das pessoas envolvidas no acidente do Césio 137 em Goiânia. Assim, deixamos a sequência didática com mais flexibilidade sem perder a oportunidade de aprofundar nos conceitos científicos de forma contextualizada.

A propósito, a contextualização foi repensada e por isso a divisão entre o macroscópico e microscópico na sequência de aulas foi alterada. Não é conveniente falar do contexto histórico e social, nos períodos de estudos preliminares sobre a radioatividade, sem vincular os conceitos científicos envolvidos, ou discutir sobre as partículas e a energia liberada em um decaimento nuclear sem falar das causas e riscos do câncer. O que aconteceu, portanto, foi a prevalência de aspectos macroscópicos na metade inicial da sequência didática e a prevalência de aspectos microscópicos na outra metade. O Quadro 2 oferece o panorama de como o planejamento foi consolidado.

**Quadro 2** – Quadro geral de aulas da turma de 1.<sup>a</sup> série do EM, 1.<sup>o</sup> sem. de 2012.

| <b>Aula</b> |       | <b>Atividade desenvolvida</b>                                                                                                                                                            | <b>Principais temas/conceitos</b>                                                                              |
|-------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | 06/02 | Professor se apresenta, faz uma breve revisão de ciências do Ensino Fundamental e inicia uma discussão com a intenção de caracterizar a Química como ciência dos materiais.              | Tabela periódica; elementos químicos; desenvolvimento histórico da Química.                                    |
| 2           | 06/02 | Professor finaliza a discussão da aula anterior e distribui entre os alunos vários produtos para exemplificar alguns conceitos.                                                          | Desenvolvimento histórico da Química; conceito de matéria.                                                     |
| 3           | 09/02 | Leitura coletiva do texto “Química a serviço da humanidade” (SILVA; ANDRADE, 2003) [texto 7 do Anexo A] e entrega do texto “Raio X e radioatividade” (CHASSOT, 1995).                    | Relações entre a Química, meio ambiente e sociedade.                                                           |
| 4           | 13/02 | Revisa alguns conceitos de aulas anteriores, mostra e discute a evolução de alguns aparatos (LP, CD e DVD) e utiliza peças plásticas para representar algumas moléculas (Kit molecular). | Relações entre a Química e o desenvolvimento tecnológico; unidades estruturais da matéria: átomos e moléculas. |
| 5           | 13/02 | Professor organiza a leitura coletiva do texto “Raio X e radioatividade” (CHASSOT, 1995).                                                                                                | Núcleo atômico; eletrosfera; radioatividade.                                                                   |
| 6           | 16/02 | Discussão do texto “O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX” (LIMA, PIMENTEL, AFONSO, 2011).                                                                             | Questões sócio-históricas envolvidas nos primeiros estudos sobre o rádio; aplicações para a radioatividade.    |
| 7           | 27/02 | Professor faz alguns experimentos                                                                                                                                                        | Processos químicos,                                                                                            |

|    |       |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                            |
|----|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |       | demonstrativos em sala e inicia discussão sobre emissões radioativas.                                                                                              | físicos e radioativos.                                                                                                     |
| 8  | 27/02 | Professor revisa alguns conceitos, contextualiza o acidente do Césio 137 e se inicia a exibição do filme “Césio 137 – O pesadelo de Goiânia” [vídeo 4 do Anexo A]. | Radioatividade.                                                                                                            |
| 9  | 27/02 | Exibição do filme “Césio 137 – O pesadelo em Goiânia”.                                                                                                             | _____                                                                                                                      |
| 10 | 05/03 | Professor inicia a discussão relativa aos conceitos envolvidos no filme exibido.                                                                                   | Radiações eletromagnéticas e decaimentos radioativos; questões sociopolítico-econômicas envolvidas no acidente em Goiânia. |
| 11 | 05/03 | Professor continua fomentar a discussão da aula anterior.                                                                                                          | _____                                                                                                                      |
| 12 | 29/03 | Exibição dos vídeos reportagens: “Visita a Chernobyl - 2001”, “Região evacuada em Fukushima” [vídeos 3 e 5 do Anexo A].                                            | _____                                                                                                                      |
| 13 | 29/03 | Atividade avaliativa final.                                                                                                                                        | _____                                                                                                                      |

A despeito de planejarmos quinze aulas, apenas treze foram executadas. Na última semana, na qual três aulas finalizariam a sequência didática, o professor, parceiro nesta pesquisa, se desligou da escola. Para que o estudo não permanecesse incompleto e a discussão com os alunos ficasse solta, sem conclusão, ele intermediou o contato com um professor de outra disciplina na mesma escola. A intenção era a de que mesmo não tendo mais vínculo com a instituição, outro colega de trabalho pudesse nos ajudar. Então, após algumas semanas a sequência didática foi concluída com as aulas 12 e 13 do Quadro 2. Por mais que tenhamos finalizado, as últimas aulas foram conceitualmente frágeis, pois não houve discussões, e alguns conceitos microscópicos, como a taxa de decaimento e meia-vida de elementos, não foram trabalhados. A atividade avaliativa final também ficou prejudicada e, por esse motivo, ela foi arquivada somente como registro da aula, sem a análise.

Entendemos que o distanciamento no tempo, a falta de discussões conceituais e a ausência em sala do professor regente que se propôs a nos ajudar na pesquisa, comprometeu a elaboração da atividade. Por isso, serão analisados somente os enunciados orais que aconteceram no decorrer das onze aulas.

### **3.3 Coleta e construção dos dados**

Em ambas as intervenções, realizamos o registro audiovisual das aulas e elaboramos um diário de campo constituído, principalmente, por observações e percepções do pesquisador. Para que a dinâmica acontecesse mais naturalmente, a câmera que efetuou o registro foi colocada em um dos cantos da sala e os alunos se dispuseram em um semicírculo, assim as interações entre os alunos, a ferramenta cultural e o professor foram registradas em um plano único.

Todos os registros audiovisuais foram transcritos e organizados em unidades de análise, enfocando o trânsito dos alunos entre as diversas ferramentas culturais, a significação dos conceitos científicos tratados em aula e as várias vozes que se entrelaçaram na dinâmica discursiva. As análises foram feitas arranjando os elos da cadeia de comunicação em episódios de ensino, definido como um conjunto de enunciados que cria o contexto próprio para a emergência de significados (AMARAL; MORTIMER, 2006). Cada episódio de ensino compôs um quadro que contempla a identificação do participante, o seu enunciado, denominado turno, e o seu número correspondente. Para preservarmos o anonimato de todos, as transcrições foram caracterizadas por sua função: PR para professor regente; PQ para professor pesquisador e A, seguido de um número, para alunos. A identificação do aluno é permanente somente em uma mesma aula.

### **3.4 Elaboração das categorias de análise**

Em virtude da postura intelectual dos autores que ampararam este trabalho, sobretudo James Wertsch, a tarefa de elaborar categorias de análise se mostrou árdua, pois as propriedades da ação mediada são bastante intrincadas umas nas outras. Corremos o risco de reducionismo ao procurar isolar episódios de ensino que caracterizaram, de alguma forma, como as ferramentas culturais eram utilizadas e as elaborações conceituais aconteciam.

Mesmo confrontados com tais dificuldades, três categorias foram elaboradas a partir da análise do conjunto das onze aulas onde houve os registros audiovisuais. Após a transcrição e a análise inicial, algumas características se tornaram recorrentes no fluxo de enunciados dos alunos. A partir dessa percepção, as categorias se constituíram e foi evidente a aproximação com algumas propriedades da ação mediada. Wertsch buscou caracterizar a ação mediada ao elaborar as dez afirmações básicas, portanto se tornou natural, nesse marco

conceitual, acontecer o entrelaçamento entre a teoria e as categorias formuladas aqui *a posteriori*.

Na categoria de **relações macroscópicas** buscamos distinguir nos enunciados orais, características de como a temática radioatividade entremeou o discurso dos alunos ao utilizarem as ferramentas culturais propostas.

Esta categoria, de modo aparente, se aproxima de uma propriedade nomeada por Wertsch (1999) de “internalização como apropriação”, contudo elas são fundamentalmente diferentes. Na categoria **relações macroscópicas** procuramos entender as relações elaboradas pelos alunos entre as temáticas tratadas nas ferramentas culturais e seu contexto sócio-histórico-político. Neste caso, somente as relações macroscópicas eram suficientes. Já a propriedade “internalização como apropriação” está relacionada com relações macroscópicas necessariamente sustentadas por uma rede conceitual, isto é, a partir dos conceitos microscópicos o aluno fundamenta as relações com o macroscópico. Portanto, a categoria proposta para a análise abrange apenas uma parte da propriedade de Wertsch.

Na categoria **limites na elaboração microscópica** há um teor pessimista radicado, pois buscamos compreender melhor um aspecto normalmente relegado das ações mediadas, melhor dizendo, analisamos o que limitou a aprendizagem. Ainda que a introdução de novas ferramentas culturais proporcione o surgimento de novos modos de mediação, as restrições também aparecem, liberando algumas limitações anteriores e inserindo outras novas. Wertsch esclarece melhor essa relação:

Al tratar de desarrollar nuevas herramientas culturales, el foco naturalmente tiende a situarse en cómo superarán cierto problema percibido o restricción inherente en las formas existentes de acción mediada. Pero uno de los puntos inevitables para la perspectiva de la acción mediada que estoy proponiendo es que, incluso si una nueva herramienta cultural nos libera de alguna limitación previa, introduce otras nuevas que le son propias (WERTSCH, 1999, p. 71).<sup>2</sup>

Assim, a ação mediada pode se enquadrar em dois diferentes grupos, ou na perspectiva “meio cheia”, ou “meio vazia”, fazendo alusão ao volume de líquido em um copo. Na perspectiva “meio cheia” são enfatizadas as novas possibilidades dos modos de mediação, já na perspectiva “meio-vazia” a ênfase é dada nas limitações geradas. Mesmo que seja com a

---

<sup>2</sup> Na tentativa de desenvolver novas ferramentas culturais, o foco tende naturalmente a ser como superar certo problema percebido ou restrição inerente nas formas existentes da ação mediada. Mas um dos pontos inevitáveis para perspectiva da ação mediada que estou propondo é que, mesmo se a uma nova ferramenta cultural nos liberta de qualquer limitação prévia, introduz outras novas que são próprias.

introdução de novas ferramentas culturais que superemos limitações antigas, despontou um pormenor, introduzimos outras novas limitações. Particularmente na análise proposta aqui, ao utilizarmos artigos e vídeos, ferramentas culturais ainda não muito utilizadas nas salas de aula (JUNIOR, 2010), definições ou características de conceitos científicos puderam não ser completamente explicadas e novas limitações surgiram. Logo, o papel do professor se tornou ainda mais fundamental ao lidar com estas restrições.

A terceira categoria, **evoluções**, também é inspirada em uma das propriedades de Wertsch (1999) denominada “caminhos evolutivos”. Nela, os agentes, as ferramentas culturais e a tensão irreduzível entre eles, estão em processo contínuo de mudanças. Contudo, só há sentido em pensar em evolução se já houver previamente uma meta ou objetivo a ser alcançado:

[...] cuando hablamos de desarrollo, solemos estar planteando algún objetivo final ideal (o varios). Por eso, cuando hablamos del desarrollo de la acción mediada, las herramientas culturales, los agentes y demás, es importante reflexionar sobre cuál es el objetivo final en el que estamos pensando (WERTSCH, 1999, p. 68).<sup>3</sup>

Em nosso caso, um dos objetivos finais foi ampliar as possibilidades de relação e de trânsito do agente entre as diferentes ferramentas culturais. Ou seja, o aluno por livre iniciativa buscaria ferramentas culturais, diferentes daquelas utilizadas em sala, e a partir delas elaborariam suas réplicas, envolvendo necessariamente as relações macroscópicas e/ou os conceitos microscópicos.

---

<sup>3</sup> Quando falamos de desenvolvimento, geralmente estamos formulando algum objetivo final ideal (ou vários). Por isso, quando falamos sobre o desenvolvimento da ação mediada, as ferramentas culturais, os agentes e demais, é importante refletir sobre qual é o objetivo final que estamos pensando.

## 4 ANÁLISE: AVISTANDO AVANÇOS E LIMITES

Neste capítulo analisamos as aulas da segunda intervenção onde ocorreram os registros audiovisuais. A partir das categorias de análise descritas, a ação dos alunos foi caracterizada na dinâmica discursiva ocorrida em sala de aula.

### 4.1 Categoria 1 - Elaboraões macroscópicas

As elaborações macroscópicas só começaram a acontecer a partir da aula 5. As aulas anteriores revisaram e contextualizaram alguns conceitos básicos que os alunos estudaram no Ensino Fundamental, o que acabou sustentando as primeiras elaborações macroscópicas e as primeiras dúvidas relacionadas a conceitos microscópicos. A leitura coletiva do texto “Raio-X e radioatividade” foi importante para promover relações entre ciência e sociedade a partir dos estudos iniciais da radiação nuclear<sup>4</sup> e do raio-X.

No episódio de ensino, apresentado no Quadro 3, estas relações são analisadas. Nele, o professor inicia a discussão fazendo referência a alguns assuntos tratados no texto, que conta um pouco da história da descoberta dos primeiros elementos radioativos, mais especificamente do Rádio. Na época que aconteciam os primeiros estudos, foram divulgados que os elementos químicos radioativos poderiam curar vários males e promover diversos benefícios, seria uma panaceia. Diante do relato histórico feito no texto, surgem as primeiras dúvidas e estranhamentos.

**Quadro 3** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 6.

| Turno | Transcrição das falas <sup>5</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 87    | PR: meninos... Ó, o sujeito usava pra escovar os dentes, pra evitar a queda prematura dos dentes, pra deixar os dentes mais brilhantes, usava no cigarro pra prevenir as enfermidades pulmonares, no sapato pra ficar mais brilhante, em festas, em coquetel, pra poder ficar mais divertido, mais interessante a festa. |
| 88    | A6: professor, mas ai no caso, o cigarro, já que eles sabiam que o cigarro era maléfico a saúde, por que eles colocavam a radiação? O cara que era fissurado em cigarro pode usar ele e não trazer doenças?                                                                                                              |

<sup>4</sup> Doravante a nomenclatura radiação se referirá apenas à radiação nuclear, baseado na abordagem das ferramentas culturais utilizadas na sequência didática.

<sup>5</sup> Simbologia:

... interrupção ou pausa

[...] supressão

[ ] várias vozes simultâneas

( - ) aluno não pôde ser identificado no registro

(( )) comentários do autor

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 89 | PR: isso, isso. Como é seu nome mesmo?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 90 | A6: C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 91 | PR: C., isso estava acontecendo por dois motivos. Primeiro, porque a ideia que se tinha era que radioatividade era um tipo de energia muito forte, muito boa, essa era a primeira ideia. É por isso meninos que vocês veem aqui no texto falando das várias utilizações. E a outra circunstância, deve-se a falta de uma coisa. Por exemplo, se eu falo pra vocês, “vamos fazer uma visita lá em Abadia”, aí a gente chega lá em Abadia e não tem ninguém. Daí de repente se alguém fala assim “nossa! Vamos fazer aqui um buraco e tirar, e ver o que que tá dentro dos latões?”... Provavelmente a gente não faz isso, porque hoje em dia a gente tem o que? Em relação a Césio, por exemplo? |
| 92 | A13: porque a gente já sabe.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 93 | PR: isso, isso. Porque a gente já sabe que tá relacionado a que? ((aponta para uma aluna)). Alguém falou uma palavra muito importante! Aqui ó. ((apontando para um dos lados da sala))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 94 | A(-): conhecimento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 95 | PR: isso, conhecimento! Nessa época aqui o que faltava em relação a esses materiais?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 96 | A2: estudo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 97 | PR: isso, estudo. Conhecimento em relação. Olha outros produtos ((pega novamente o texto)), vamos começar aqui pela página 1, só pra vocês irem vendo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Nesse episódio, no turno 88, A6 questiona, a partir dos enunciados do texto, as atitudes dos fumantes descritas. Na relação parece ainda não haver a associação entre a radiação e perigo, como normalmente é observado, e vem acompanhada da dúvida: se o cigarro é tóxico, como a radiação pode diminuir os malefícios causados? As relações entre a ciência e suas implicações começam a acontecer quando o professor relaciona um contexto próximo dos alunos, neste caso o acidente do Césio 137. Os alunos A13 e A2 compreendem que, diferentemente da época atual, no início do século XX, os estudos sobre a radiação não estavam muito desenvolvidos e, justamente por isso, a sua utilização era banalizada. Nos turnos 92, 94 e 96 os alunos elaboram réplicas curtas de formas distintas, mas que possuem o mesmo sentido.

Em outro episódio, na mesma aula, apresentado no Quadro 4, novas relações entre ciência e sociedade acontecem e um ponto muito importante é comentado: as responsabilidades diante das misérias provocadas pelo desenvolvimento científico.

**Quadro 4** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 6.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 123          | PR: [...] a radiação é utilizada em alimentos, vocês sabiam? Processo radioativo é utilizado em alimentos.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 124          | A1: que tipo de alimentos?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 125          | PR: frutas, por exemplo, frutas... Só que isso meninos.. Meninos! ((chama a atenção da turma)) Só que isso é chamado de irradiação. Lembra daquele primeiro exercício que eu dei pra vocês, que tinha um símbolo de uma folhinha? Aquele símbolo é utilizado para alimento irradiado. Quer dizer, alimento que foi submetido a uma dose bem baixa de radiação. |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 126 | A7: mas se não for comer isso... ((inaudível))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 127 | PR: não! Não, porque a quantidade de radiação que passou ali, a qual o alimento foi submetido, foi bem baixinha, foi bem baixinha. E a radiação não acumula nos materiais, ou ela é uma partícula ou ela é forma de energia, então ela passa ali pelo alimento para matar fungos, bactérias, protozoários, que podem decompor o alimento e esses alimentos não fazem mal. A diferença dessa situação para essa aqui ((aponta para o texto)) é que aqui era usado de qualquer forma, usado em qualquer quantidade e as pessoas começaram a ter problemas ao longo dos anos. C., você leu o texto também? O que você achou de mais interessante? |
| 128 | A6: ((inaudível)) eu acho que os cientistas, os produtores desses produtos, tinha que ter mais conhecimento antes de por a população pra ser exposta a este tipo de elemento. Porque não sabia as consequências, podia até fazer alguma coisa benéfica, mas não sabiam que podia fazer mal, podia trazer problemas pra sociedade e para eles também.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 129 | A7: as pessoas são muito influenciadas pelas outras, tipo é bom e eu vou comprar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Ao falar sobre a irradiação, conceito ainda não discutido plenamente, o aluno A7 no turno 126 relaciona negativamente a utilização da técnica em alimentos, já que no início do século a radiação foi indevidamente utilizada. Aqui percebemos que os conceitos de irradiação e radiação ainda não estão formados e isso é compreensível, pois a distinção formal entre eles só acontece em aula futura. Alguns conceitos científicos tratados superficialmente nas aulas iniciais, como a irradiação de alimentos, parecem convergir para os conceitos tratados na ferramenta cultural artigo científico.

No enunciado do aluno A6, turno 128, é enfatizado, a partir das palavras “conhecimento”, “elemento” e “consequência”, o indício de uma elaboração conceitual mais complexa, pois há a marca de uma réplica com efeito retardado de enunciados da discussão que já vinha acontecendo na aula, as vozes do professor e das ferramentas culturais se fazem ouvir. Além disso, o atributo da responsabilidade surge pela primeira vez na sequência didática.

Fica manifesta também, a importância do conhecimento no enfrentamento de situações prejudiciais à sociedade e a responsabilidade do cientista diante disso, como no episódio anterior. A ciência começa a se caracterizar como uma construção dos homens e os alunos percebem que ela também possui facetas. O discurso da neutralidade e da impessoalidade da ciência passa a ser questionado, assim como aconteceu na crítica ao positivismo realizada, principalmente, no decorrer do século XX. O desenvolvimento da ciência e da tecnologia no pós-guerra propiciou grande poder de construção, mas vieram acompanhados de vasto infortúnio, como a poluição ambiental, as armas de destruição e a ampliação da desigualdade social. Logo, a sociedade começou a “aprender a cobrar da ciência a sua cara e seus sujeitos” (MORTIMER, 1998). Nos dois episódios analisados da aula 6, há a

percepção da importância do conhecimento e da responsabilidade dos cientistas perante os efeitos colaterais dos avanços da ciência.

As elaborações macroscópicas continuaram acontecendo após a exibição do filme sobre o acidente do Césio 137 ocorrido em Goiânia. No episódio da aula 10, apresentado no Quadro 5, além da distinção entre raio-X e radiação, a partir de exemplos da medicina, o tema “responsabilidade” novamente é recuperado.

**Quadro 5** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 10.

| Turno | Transcrição das falas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 53    | PR: deixa, deixa eu falar pra vocês. Deixa eu falar pra vocês. A. ((nome da aluna)) ela tá certinha quando ela fala assim: uai, se é aparelho de raio-X o tipo de emissão ela é eletromagnética, vocês se lembram? Então precisa de corrente elétrica pra funcionar, então significa que aquilo ali não era aparelho de raio-X, aquilo ali era aparelho... ((olha para um aluno))            |
| 54    | A6: tratamento de câncer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 55    | PR: isso! O C. falou bem baixinho aqui comigo já de começo. Era um aparelho pra tratar câncer. Daí uma outra questão: esses dias, eu não sei se vocês acompanharam, mas no Araújo Jorge ((hospital goiano referência no tratamento de câncer)) teve um problema de um pessoal da cúpula maior que tava desviando dinheiro que era pra comprar medicamento pras pessoas, vocês lembram disso? |
| 56    | A(-): não.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 57    | PR: tem uma médica que tava envolvida nesse esquema que era uma das donas da clínica naquela época. Uma clínica que foi abandonada o aparelho. Então essa é uma questão que a gente chama... de falta de que?                                                                                                                                                                                |
| 58    | A(-): de responsabilidade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 59    | PR: falta de responsabilidade! Falta de ética, porque aconteceram muitos problemas quando aquela cápsula era aberta. A cápsula foi aberta, daí nós tivemos a contaminação de várias e aí meninos o seguinte... tem gente que sofre até hoje devido as consequências da... ((interrompido por um aluno))                                                                                      |
| 60    | A2: radiação.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 61    | PR: da radiação. Vocês lembram das perguntas que vocês iam fazer?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Para explicar de forma mais simples a origem das radiações, foi feita uma comparação entre equipamentos médicos. A relação estabelecida pelo professor foi: no raio-X é preciso energia elétrica para acelerar os elétrons e liberar radiação eletromagnética, enquanto na máquina de quimioterapia a existência do elemento químico radioativo é suficiente para acontecer as emissões. O turno 53 remete a esta comparação, quando a voz do aluno permeia a voz do professor. No decorrer da aula isso complementou a distinção entre as duas emissões proposta pela ferramenta cultural artigo “Raio-X e radioatividade”.

O professor dá continuidade à discussão e questiona, no turno 55, o contato com notícias referentes ao hospital Araújo Jorge, necessariamente vinculada a outras ferramentas culturais ainda pouco discutidas nas escolas, a saber, o jornal impresso, a revista e até mesmo a televisão (JUNIOR, 2010). Embora os alunos não soubessem da informação divulgada, a

questão das responsabilidades se torna recorrente. No extrato, é mesclada a discussão conceitual com a polêmica ainda atual envolvendo o Césio 137.

No Quadro 6, apresentado abaixo, novamente algumas notícias relacionadas à Abadia de Goiás são debatidas. Nele, evidenciamos o número de alunos que moram na cidade e que participam das interações.

**Quadro 6** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 10.

| Turno | Transcrição das falas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 111   | PR: por exemplo, nós temos tratamentos para os sintomas, pras consequências, isso nós temos tratamento viu?! Nós temos tratamento pra isso. Agora, por exemplo, a pessoa ela recebeu uma carga de ondas gama, ela recebeu. As ondas gamas atravessaram o corpo dela, modificaram lá a estrutura do DNA. O que eu posso fazer num caso desse?... Tratar possíveis sintomas né, tratar possíveis sintomas. Agora uma outra pergunta pra vocês: vocês já foram em Abadia? |
| 112   | A(-): não é ir lá, é passar lá.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 113   | A2: as duas moram lá.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 114   | PR: vocês moram lá em Abadia?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 115   | A10: eu e ela ((aponta para uma aluna)).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 116   | A9: e ele também ((aponta para um aluno)).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 117   | PR: olha aí a ideia ó. Olha aí a ideia dos meninos. Vocês viram o que aconteceu esses dias que tava querendo transformar o depósito de Abadia em depósito nacional?                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 118   | A9: levar lixo pra lá?!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 119   | PR: isso, vocês viram?... Vocês viram essa questão?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 120   | A9: é, eu vi no jornal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 121   | PR: me conta essa história que eu tenho coisas [...] ((pede silêncio a turma)). Vai me contando o que você sabe que eu tenho curiosidade de saber o que aconteceu, o que tá acontecendo lá.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 122   | A9: não, é porque foi minha mãe que pegou o jornal lá. Minha mãe pegou o jornal e tava falando que ia levar o lixo lá só que não era radioativo não, que ia levar um lixo pra lá, mas acho que não aceitou não. E isso ia ser em 2016.                                                                                                                                                                                                                                 |
| 123   | PR: ia ser em 2016?!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 124   | A10: ((outra aluna de Abadia)) foi isso mesmo. A gente ouviu muito pouco falar sobre isso.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 125   | PR: que ia levar lixo atômico pra lá...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 126   | A9: não, acho que não era radioativo não.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 127   | PR: lixo nuclear é radioativo?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 128   | A2: é.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 129   | A(-): eu acho que não.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 130   | A2: eu acho que é!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 131   | PR: meninos, lá em Abadia nós temos um depósito e eu vou contar a história daquele depósito pra vocês. Ele era pra ser provisório, era pra ser um depósito provisório e tornou-se um depósito permanente. Daí o que que tem lá?                                                                                                                                                                                                                                        |
| 132   | A10: você tá falando do Césio?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 133   | PR: é. O que que tem lá em Abadia?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 134   | As: ((incompreensível)) [tem concreto, tem chumbo]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 135   | PR: ((professor pede silêncio)) Calma aí, calma aí. Fala todo mundo de uma vez e eu não entendo nada! Lá tem cadeira, sofá, carro.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 136   | A2: tem carro lá também?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 137   | PR: solo, pedaço de meio-fio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 138   | A2: casa também, tem casa!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 139 | PR: casa, telefone. Meninos, existe cerca de 16 toneladas de material que foi colocado lá. Daí na época o governo falou o seguinte. Olha o que aconteceu na época! Primeiro a gente não tinha preparo pra... a gente não estava preparado para um situação daquela. Esses materiais, por essa manipulação de particulados, eles acabaram ficando contaminados. Daí pra evitar possibilidade de evitar contaminação de pessoas, por essas emissões de partícula alfa, beta e gama, resolveu-se tirar tudo. Foi casa, foi pedaço de meio-feio, foi tudo pra lá. E o governo na época disse que aqueles latões que estavam sendo acondicionados eram latões de chumbo. Depois um aluno meu lá da faculdade me contou o seguinte, que aqueles latões não eram latões de chumbo, era latão mesmo, era estanho. |
| 140 | A10: A. ((nome do professor)), as coisas que estão enterradas lá foram contaminadas por aquilo que apareceu no filme ou não, foi outra coisa, tipo outro evento?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 141 | PR: não, é aquilo lá mesmo. É aquilo que mostra no filme mesmo. E a gente tem outra questão. Aquilo era pra ser um depósito provisório e acabou virando um depósito permanente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Na metade inicial da sequência, o professor discute alguns efeitos biológicos da irradiação e prossegue relacionando o contexto da cidade de Abadia de Goiás após se tornar depósito dos rejeitos do Césio 137. Já na metade final, os conceitos de contaminação e emissão são brevemente tratados. Pelas características de aulas dialógicas se tornou inevitável, em alguns momentos, oscilar as discussões entre as elaborações macroscópica e conceitos microscópicos, o que acabou estimulando ainda mais a arranjo de contrapalavras, de ‘respostas’ ao enunciado do professor (MORTIMER, 1998). Fica evidente esta perspectiva quando o professor oscila, elaborando duas perguntas, uma no final do turno 117 e outra no turno 127, gerando uma série de réplicas. Assim, três alunos moradores da cidade de Abadia de Goiás, compartilham algumas experiências. Eles vivenciam de perto o que acontece lá e discutem sobre um tema contemporâneo real, a ida do lixo nuclear de todas as usinas term nucleares do Brasil para o depósito daquela cidade. Há aqui um fluxo de enunciados próprios dos alunos, compartilhando experiências e dúvidas, isto é, os enunciados das réplicas passam a ser elaborados a partir de enunciados congêneres (BAKHTIN, 2003). Ao elaborarem o conhecimento sobre a situação da cidade, a condição de produção do discurso envolve diversas vozes, pontos de vista e experiências do sujeito. A voz de um vai provocando respostas, comentários e vai compondo um movimento de elaboração e ampliação das relações macroscópica (MACHADO, 2004).

O aluno A9, no turno 122, narra alguns acontecimentos a partir da atitude responsiva da mãe ao entrar em contato com a ferramenta cultural jornal. O aluno não é um ser mudo e o enunciado é elaborado na medida em que a palavra do outro entra em contato com suas palavras. O diálogo constitui a experiência de aprendizagem e a aprendizagem se institui num diálogo permanente com a palavra do outro. Aprender, “é povoar esta palavra com suas próprias contrapalavras” (MORTIMER, 2010, p. 185). Então, assim como o jornal, o discurso

da mãe também pode ser considerado uma ferramenta cultural, ao mediar a compreensão das notícias da cidade. Há, porém, uma confusão conceitual que poderia ser mais bem explorada. O professor pergunta, no turno 127, se o lixo nuclear é radioativo, já que o aluno fala em lixo atômico. Existem aí algumas boas questões não tratadas: o lixo nuclear e o lixo radioativo dizem respeito a mesma coisa? Eles são radioativos? Na sequência, a questão não é explorada e prevalece somente a relação macroscópica, entre a ida do lixo e as reações da comunidade da cidade de Abadia de Goiás.

No final do extrato, turnos 132, 136 e 140, mesmo com a aproximação da representação imagética do filme exibido, falta uma noção mais precisa da dimensão e da gravidade do acidente ocorrido na capital. Ainda que o filme seja somente uma representação parcial da realidade, falta um pouco de abstração ao interpretar o evento, ou talvez prevaleça a incredulidade ao conhecerem a quantidade de rejeitos radioativos gerados por apenas algumas gramas de um pó azulado. Em face disso, no turno 141, o professor reafirma a seriedade do acidente e a fidelidade da exposição fílmica.

Algumas questões políticas voltam a ser tratadas brevemente, como no extrato a seguir, onde os alunos questionam o silêncio da mídia e dos representantes políticos locais.

No Quadro 7, está parte da narrativa onde o professor fala a respeito de uma visita ao depósito dos rejeitos radioativos do Césio 137 organizada pelo colégio em anos anteriores. Poucos alunos confirmam a ida, por conseguinte o professor discorre sobre as condições históricas do depósito e das impressões sobre o técnico que guiou a visita, identificado pela palavra “rapaz”.

**Quadro 7** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 10.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 145          | PR: você consegue perceber na fala do rapaz, que ele é muito sutil, que ele fala que aquele depósito não é o adequado? Você consegue perceber isso? Ele vai falando, falando...                                                                                                                                                                                                                     |
| 146          | A12: será que aquele depósito tem a estrutura certa pra receber esse tipo de lixo?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 147          | A1: lógico que não. Se era provisório.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 148          | A9: o prefeito não quer aceitar o lixo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 149          | PR: meninos, tem outra questão. Esses dias... To perguntando pra essas meninas aqui ((aponta para as alunas que moram em Abadia)), porque esses dias queriam transformar o depósito lá de Abadia em depósito nacional de resíduos radioativos. Teve uma manifestação na cidade! ((chama a atenção da turma)) [...] Teve manifestação na cidade?! ((aponta para uma das alunas residente de Abadia)) |
| 150          | A10: teve, mas eles mal falaram, porque eles estavam com medo de amedrontar quem morava lá e o prefeito não aceitou, aí eles nem falaram muito sobre o assunto.                                                                                                                                                                                                                                     |
| 151          | PR: como assim?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 152          | A10: tipo que ia levar o lixo pra lá, só que aí tipo ninguém falava sobre isso lá, porque o prefeito os políticos lá não quiseram aceitar. Aí eles mal publicavam no jornal esses trem! Ia passar medo nas pessoas entendeu?                                                                                                                                                                        |

A aluna A9, no turno 148, se adianta e garante a insatisfação dos políticos locais, réplica elaborada possivelmente a partir de ferramentas culturais diferentes daquelas utilizadas em sala. Então, o professor fala de uma manifestação que aconteceu na cidade, fato real pouco noticiado. A relação entre a falta de conhecimento e a interpretação de fenômenos físicos ainda é recorrente. Ora, se as pessoas não entendem bem do fenômeno tratado nas notícias dos jornais, o medo seria generalizado, assim interpreta a aluna A10. A réplica desta aluna já fornece indícios de como os outros alunos se posicionarão diante dos riscos e benefícios do uso da radioatividade. Logo, como no extrato anterior, Quadro 6, os alunos relatam experiências pessoais que é uma modalidade discursiva normalmente empregada para troca de informações (GIORDAN, 2005). Nestes dois casos, essas trocas contribuem para o entendimento das situações colocadas e amparam no posicionamento político dos alunos.

O extrato do Quadro 8 é um dos últimos registros de aula e é possível compreender como os alunos se posicionaram.

**Quadro 8** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 11.

| Turno | Transcrição das falas                                                                                                                                                                                                    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 185   | PR: [...] Vocês concordam comigo, então, que radiação não é uma coisa que fica aí parada? Que pode ter sua movimentação, que pode espalhar, que pode acontecer lá no Japão e ter influência aqui no Brasil?              |
| 186   | A8: acho que tinha que parar de mexer nesse trem aí, dá problema demais!                                                                                                                                                 |
| 187   | A(-): eu também acho!                                                                                                                                                                                                    |
| 188   | A8: vai dar merda!                                                                                                                                                                                                       |
| 189   | PR: [...] ((professor chama atenção da turma))                                                                                                                                                                           |
| 190   | A8: acho que devia parar de mexer com radiação, isso aí não é coisa de ficar mexendo não.                                                                                                                                |
| 191   | A6: isso não é de Deus não!                                                                                                                                                                                              |
| 192   | A8: não é bom brincar com isso não.                                                                                                                                                                                      |
| 195   | PR: o povo tá falando aqui ó, que é pra acabar com isso. Você fala de que, benefício? Foi você que falou? ((aponta para um aluno))                                                                                       |
| 196   | A15: foi ((inaudível)) o raio-X e pra cura do câncer também...                                                                                                                                                           |
| 197   | PR: calma aí. Então a gente tem duas possibilidades? Ou não, eu estou entendendo errado?                                                                                                                                 |
| 198   | A11: não professor. Tinha que continuar com esse negócio do raio-X, usa a radiação pro bem e não pro mal.                                                                                                                |
| 199   | A1: mas só aconteceu aquilo por falta de conhecimento, porque se eles soubessem nada tinha acontecido...                                                                                                                 |
| 200   | A6: e a bomba de Nagasaki e Hiroshima lá?                                                                                                                                                                                |
| 201   | PR: espera aí, um de cada vez, porque senão eu não vou entender o que vocês falam. Calma aí, calma aí. Foi falta de conhecimento que você fala ((aponta para um aluno)) e você... ((aponta para outro e é interrompido)) |
| 202   | A6: que não é falta de conhecimento.                                                                                                                                                                                     |
| 203   | PR: que não é falta de conhecimento?                                                                                                                                                                                     |
| 204   | As: [...] ((vários alunos contestam e falam simultaneamente))                                                                                                                                                            |
| 205   | A6: como é que construíram o aparelho lá sabendo que podia explodir, que se fosse aberto podia se espalhar e contaminar tudo ?                                                                                           |
| 206   | PR: e Hiroshima?                                                                                                                                                                                                         |

|     |                                                                                                                                                                                             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 207 | A6: foi de propósito, eles sabia que a radiação podia fazer mal e por isso mesmo que eles saltaram, pra matar todo mundo. Ela foi usada pra guerra!                                         |
| 208 | A11: falta de conhecimento, eles não sabiam o poder de destruição daquilo ((contrapondo o aluno anterior)).                                                                                 |
| 213 | A6: não foi por falta de conhecimento, já que a bomba foi utilizada em uma guerra. Eles sabiam que ela podia fazer mal e foi por isso que ela foi solta lá, que era pra matar todo mundo.   |
| 214 | A11: mas você não sabe o poder de destruição dela.                                                                                                                                          |
| 215 | A6: ué, mas como é que eles vão utilizar um negócio sem saber o poder de destruição? E na hora da fabricação ela poderia ter explodido...                                                   |
| 216 | A11: eles podiam saber o poder de destruição que tem, mas não sabia que era do tamanho.                                                                                                     |
| 217 | A1: ô professor, eu acho assim, que no caso do Césio foi por falta de conhecimento... porque eles não sabiam que podia fazer mal...                                                         |
| 218 | A6: foi irresponsabilidade também de quem abandonou o aparelho lá.                                                                                                                          |
| 219 | A8: eu acho que devia parar de fabricar energia nuclear.                                                                                                                                    |
| 220 | A6: pois é, e aquele negócio do tsunami no Japão...                                                                                                                                         |
| 221 | A8: tem tanto meio de fazer energia.                                                                                                                                                        |
| 222 | A6: professor, professor, que nem teve aquele negócio lá no Japão, contaminou um monte de gente esses tempos aí agora. Não foi o tsunami que atingiu a usina nuclear lá? Não precisa disso! |
| 223 | PR: então se fosse... Então vocês são contra, por exemplo, de energia proveniente de usina nuclear?                                                                                         |
| 224 | A: [eu sou]                                                                                                                                                                                 |

A discussão é continuação da anterior e, em suma, trata da “magnitude” que um acidente radioativo pode ter, bem como da necessidade de uma postura política diante do que foi debatido. Desta forma, os alunos começam a se posicionar a partir de uma atitude mais pragmática, ou seja, a necessidade ou não de utilizar a radiação. O aluno A8, no início do extrato, é incisivo ao relevar somente os desastres, mas A15 fala sobre a importância das radiações no diagnóstico de doenças e no tratamento do câncer. A réplica da aluna A15, ao associar benefícios, é um contraponto muito importante e auxiliou a elaboração de réplicas de outros alunos.

No fluxo da narrativa, o aluno A1 se posiciona e, no turno 199, ele recorre ao acidente do Césio 137 em Goiânia com o termo “aquilo”. Entretanto, o aluno A6 contesta ao lembrar as bombas lançadas no Japão. A “falta de conhecimento” é interpretada em dois sentidos diferentes: A1 se refere aos catadores de Goiânia, por outro lado A6 se refere aos cientistas responsáveis pelas bombas atômicas. A partir disso, os alunos negociam significados, e as réplicas ficam pouco claras, pois dois são os contextos que determinam o sentido (BAKHTIN, 2009). Somente no turno 217, A1 procura deixar mais claro de qual sentido parte sua reflexão e, assim, A6 retoma a questão das responsabilidades.

Neste extrato duas questões importantes são lembradas: a culpa daqueles que não sabiam dos riscos da radiação ao desmontar o aparelho de quimioterapia abandonado e a

responsabilidade dos intelectuais diante das tragédias. Ao lembrar o desastre natural ocorrido no Japão em 2011, no turno 220, novamente é feita relação a partir das vozes de outras ferramentas culturais e boa parte dos alunos se posiciona criticamente diante das possibilidades da produção de energia elétrica.

Ao final das análises próprias desta categoria, nos perguntamos se em algum momento houve indícios de apropriação. Pensamos que não, pois as elaborações ficaram entre o tema radioatividade e situações macroscópicas que eles vivenciam, sejam a partir das várias vozes que relacionaram a radiação nas ferramentas culturais ou simplesmente pela proximidade com o cenário da tragédia. Para a apropriação seria necessário que as elaborações macroscópicas estivessem estruturadas a partir de conceitos microscópicos amparados por uma rede conceitual. Portanto, nesta categoria não há indícios de apropriação, há somente internalizações como domínio.

#### 4.2 Categoria 2 - Limites nas elaborações microscópicas

As aulas iniciais da sequência didática tiveram como objetivo apresentar a disciplina e revisar alguns conceitos estudados pelos alunos no Ensino Fundamental. Deste modo, o professor caracterizou a Química como ciência dos materiais e discutiu o conceito de matéria, essencial para a compreensão da estrutura atômica e da radiação. Apesar de ser um conceito aparentemente intuitivo, sua conceituação não se mostrou simples, como aparece em evidência no extrato abaixo.

**Quadro 9** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 4.

| Turno | Transcrição das falas                                                                |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 73    | PR: [...] aqui nessa sala o que que nós podemos considerar como sendo matéria?       |
| 74    | A: [tudo]                                                                            |
| 75    | PR: Mas o que? ((os alunos conversam em voz baixa, mas ninguém responde a pergunta)) |
| 76    | PR: Deixa eu pegar uns exemplos. Como é seu nome?                                    |
| 77    | A7: M.                                                                               |
| 78    | PR: M., me dê alguns exemplos.                                                       |
| 79    | A7: A cadeira, a parede, o ar condicionado.                                          |
| 80    | PR: E o que sai do ar condicionado?                                                  |
| 81    | A7: Não, aí não!                                                                     |
| 82    | PR: Não?!                                                                            |
| 83    | A7: Acho que não. ((professor aponta para alguns alunos, estimulando a fala))        |
| 84    | PR: Pode falar.                                                                      |
| 85    | A3: É só que o ar que sai do ar condicionado não é matéria.                          |
| 86    | PR: Não é matéria o ar? ((professor aponta para uma aluna))                          |
| 87    | A(-): O quadro, o banner.                                                            |
| 88    | PR: O banner! Ah, eu vou beber água... Matéria ou não?                               |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 89  | A6: Eis a questão!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 90  | PR: Levante a mão quem acha que não é matéria, que a água que eu vou beber nesse momento não é matéria. Vou aproveitar e vou beber água, daqui a pouco eu deixo vocês. ((professor aponta para um aluno))...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 91  | PR: Me dá um exemplo de matéria.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 92  | A5: A cadeira...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 93  | A8: Já falou não vale!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 94  | A5: A lixeira.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 95  | PR: E a água?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 96  | A5: Eu acho que é... Ocupa espaço.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 97  | PR: E o... Aqui dentro da sala tem ar, não tem? A gente espera que tem ar. É matéria? ((professor olha para os alunos e turma permanece em silêncio))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 98  | PR: Acho que não?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 99  | A10: O que professor?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 100 | PR: O ar... Não? ... Meninos atenção para o seguinte... É, nós costumamos a pensar que matéria é só material que está no estado de agregação estado físico sólido. Por isso que nós falamos a respeito de quadro, por isso nos falamos a respeito de é... O aparelho de ar condicionado, de cadeira, de piso. Esses materiais aqui ó, por eles terem forma e volume constantes, nós temos essa capacidade aqui de interagir melhor, né?! Pegar, apalpar, sentir, perceber, que aqui tem uma porta, que eu vou ter que passar pela porta e eu não vou conseguir passar pela parede, pelo menos no estado como estamos organizados. Só meninos, que a matéria ela não se restringe apenas a materiais no estado de agregação sólido. Matéria também pode aparecer no estado de agregação líquido viu?! Que é isso aqui ó. ((pega a garrafa d'água)) |
| 101 | A7: A água.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 102 | PR: Então a água é. Que tem uma forma muito variável e um volume constante. Por exemplo, essa água que tá aqui dentro da minha garrafa tem um formato cilíndrico, mas se amanhã eu resolvesse vir com uma garrafa de coraçãozinho, que não ia acontecer isso, é... O formato aqui pra água seria de coraçãozinho, né?! Dificilmente vocês iam me ver com uma garrafa dessa, mas o formato da água iria assumir o formato do recipiente. Isso aqui, ó, também é matéria da mesma forma que o ar. Da mesma forma que o ar que está em outro estado de agregação, e eu falo mais pra vocês... Quando nós falamos em estados físicos, que vocês viram estados físicos lá no nono ano, não viram?                                                                                                                                                      |

Nesta aula, o professor levou pra sala alguns objetos pouco usuais para discutir de que forma as ciências naturais, mais especificamente a Química e a Física, interferem diretamente em nossas vidas, sobretudo em decorrência do desenvolvimento tecnológico. Esta foi a parte inicial da aula que tratava as unidades estruturais da matéria e da radiação. Entretanto, as deficiências no entendimento do conceito de matéria fez com que o professor sustentasse por vários turnos a discussão com a temática.

Nas interações, o conceito parece embasado no empírico, ou seja, nas experiências diárias com a matéria no estado sólido. Para Vigotski, esse tipo de pensamento, onde as relações estabelecidas são concretas e factuais, constitui a base para generalizações (GÓES; CRUZ, 2006). No caso específico do extrato, as generalizações ainda são primárias, como se nota nos turnos 81, 83, 85, onde prevalece a concepção de que o ar não é matéria. Já nos turnos 89 e 96 não há consenso quanto à água. O enunciado elaborado pelo aluno A5, no

turno 96, está presente em vários livros didáticos: se ocupa lugar no espaço é matéria. Na medida em que a discussão acontece sem grandes avanços, o professor conceitua matéria a partir de seus estados de agregações.

Embora fosse pressuposto que o conceito de matéria constituísse tema pacífico, ficou claro que não era, e foi necessário o professor retomar a discussão deste conceito. Mesmo na aula 4, após a entrega da ferramenta cultural artigo científico, muitas dúvidas ainda permaneciam. Em situações como essa, a ferramenta cultural livro didático poderia facilitar a conceituação, pois seu objetivo final é a sala de aula, mas poderia também restringir a amplitude de toda a discussão. Estas restrições estão relacionadas com os desajustes entre múltiplos objetivos dos alunos e das ferramentas culturais utilizadas nesta atividade (PEREIRA; OSTERMANN, 2012c). O papel do professor, por conseguinte, se torna fundamental nessas situações e nas escolhas das ferramentas culturais.

No próximo extrato, novamente há indícios de limitações no entendimento de conceitos microscópicos que envolveram as características do raio-X e da radiação.

O professor inicia a aula 6, questionando sobre a leitura do texto “O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX” e, diferentemente do texto anterior, esta leitura fora realizada por quase todos os alunos.

**Quadro 10** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 6.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                        |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 26           | PR: [...] Vocês perceberam que tem uma diferença entre raio-X e radioatividade? Vocês conseguiram ver isso... ou não, pelos textos? |
| 27           | A(-): mais ou menos                                                                                                                 |
| 28           | PR: mais ou menos, né? Alguém consegue, alguém consegue explicar essa diferença lá do primeiro texto?                               |
| 29           | A6: depende da radioatividade. O raio-X emite uma radiação que não causa problemas.                                                 |
| 30           | A2: por que você acha?                                                                                                              |
| 31           | A6: porque tem vários tipos de radiação. Aí o que emite o raio-X não é tóxico, não é muito maléfico.                                |
| 32           | PR: bom, bom, isso mesmo!                                                                                                           |

O professor, então, procura relacionar as duas ferramentas culturais artigos científico a partir do turno 26. Indícios muito elementares de elaboração conceitual começam a acontecer, pois alguns alunos compreendem, pelo menos, que existe diferença entre a radiação e o raio-X, mesmo que ela aconteça somente a partir de juízos de valor bom e ruim ou tóxico e não tóxico. O aluno A6 relativiza corretamente e afirma no turno 29 que o raio-X não faz mal. Entendemos que a ferramenta cultural artigo científico faz somente a associação entre a descoberta do raio-X e os avanços na medicina no início do século, não esclarecendo quais

são suas frequências contempladas no espectro eletromagnético, bem como seu potencial lesivo, visto que são ondas eletromagnéticas com energia relativamente altas. A polissemia existente entre as ferramentas culturais, quando tratam da radioatividade, também contribuem na dificuldade de compreensão dos conceitos no extrato.

No turno 31, a relação entre as ferramentas culturais é parcialmente efetivada, pois A6 percebe ou que existem outros tipos de radiação, ou que as radiações têm origens diferentes, temas tratados separadamente nos artigos. Mesmo que essas elaborações tenham acontecido, o papel do professor novamente é indispensável para complementar e minorar as deficiências conceituais das ferramentas culturais que não foram pensadas necessariamente para serem utilizadas em sala de aula. No turno 32, o enunciado do professor parece ser mais motivacional, incentivando a fala dos alunos, pois a distinção entre raio-X e radiação, feita no turno 31 por A6, não estava correta.

Nos turnos a seguir, numa das últimas aulas registradas, a distinção entre raio-X e radioatividade novamente é abordada a partir das ferramentas cultural filme. Nele, dois catadores de materiais recicláveis encontram uma máquina de radioterapia abandonada em um prédio. Eles desmontam o aparelho e levam para um ferro velho somente o invólucro de chumbo, que continha o material radioativo.

**Quadro 11** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 10.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14           | PR: por que você acha que não era aparelho de raio-X?                                                                                                                                                                       |
| 15           | A3: porque você falou agorinha que tinha que ligar na tomada pra ser de raio-X... ((interrompida por um aluno))                                                                                                             |
| 16           | A1: mas aquilo era só uma peça!                                                                                                                                                                                             |
| 17           | A2: do aparelho de raio-X!                                                                                                                                                                                                  |
| 18           | PR: era uma peça, mas era uma peça de um aparelho de raio-X?                                                                                                                                                                |
| 19           | A4: eu acho que não era.                                                                                                                                                                                                    |
| 20           | A3: eu também acho que não era.                                                                                                                                                                                             |
| 21           | PR: ((pede silêncio e aponta para um aluno que queria falar)) Fala aí primeiro H.                                                                                                                                           |
| 22           | A5: que era um aparelho de quimioterapia.                                                                                                                                                                                   |
| 23           | PR: devia ser uma máquina de quimioterapia?... Olha o que o C. fala. Fala aí C.!                                                                                                                                            |
| 24           | A6: parece que a clínica era pra tratamento do câncer e pro câncer não usa raio-X como tratamento.                                                                                                                          |
| 25           | A2: mas não era só contra o câncer!                                                                                                                                                                                         |
| 26           | A(-): ((inaudível))                                                                                                                                                                                                         |
| 27           | PR: meninos eu não to escutando. ((chama a atenção da turma))                                                                                                                                                               |
| 28           | A7: que aquele chumbinho que tava dentro do negócio, aí a gente não precisava ligar na tomada pra ele funcionar. A partir do momento que mexesse nele ele já tava emitindo, por isso eu acho que era uma máquina de raio-X. |
| 29           | PR: você acha que não era?                                                                                                                                                                                                  |
| 30           | A7: acho que era uma máquina de raio-X!                                                                                                                                                                                     |
| 31           | PR: calma aí. Mas você acabou de falar que... ((é interrompido pela aluna))                                                                                                                                                 |
| 32           | A7: ((incompreensível)) aquele aparelho não precisava carregar na tomada pra ela emitir a                                                                                                                                   |

|    |                                                                                                                       |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | radiação que tava lá dentro.                                                                                          |
| 33 | PR: isso.                                                                                                             |
| 34 | A7: a partir do momento que tirasse então e abrisse lá aquele chumbinho ela podia emitir radiação pra qualquer parte. |

O professor estimula a discussão de temas relacionados aos conceitos científicos envolvidos no filme exibido nas aulas anteriores. Mesmo que recorrente, a diferença entre raio-X e radioatividade não estava completamente clara entre os alunos. Aqui novamente a crítica de Bakhtin (2009) ao modelo falante-ouvinte faz todo sentido. Se o processo de comunicação é linear e a mensagem é clara, então toda a comunicação deveria ser garantida e a polissemia, entre os termos, eliminada. Assumindo a complexidade e a não linearidade do processo de comunicação, o professor incentiva o diálogo ao relacionar os conceitos envolvidos em aplicações tecnológicas na medicina com as outras ferramentas culturais empregadas em sala.

Alguns alunos identificam a trajetória dos catadores, mesmo sem ainda precisar que tipo de máquina foi violada. O entendimento do curso dos acontecimentos é recolocado no contexto de outros signos compreensíveis, quer dizer, os signos imagéticos são esclarecidos por diferentes signos (BAKHTIN, 2009). O processo de significação dos conceitos científicos também passa por esse estágio, pois se os teores das discussões não fizerem parte do horizonte conceitual do estudante, nada adianta utilizar distintas metodologias e ferramentas culturais.

Posto que os alunos A2, A4 e A5, não conseguiram justificar adequadamente suas escolhas, as réplicas são elaboradas a partir do eco de vozes anteriores e de algum tipo de elaboração conceitual feita por eles. Há a aluna A7, que sugere o tipo da máquina e justifica bem sua resposta. Porém, existe um problema: a explicação está correta, mas o aparelho citado está errado. Ou a aluna se confunde momentaneamente, ou ela não compreendeu a diferença entre os dois aparelhos e suas respectivas emissões radioativas.

Em aulas anteriores, o professor enfatiza a necessidade de fornecer energia para a máquina de raio-X, ligando-a na tomada. Outras máquinas, de quimioterapia, por exemplo, tem como princípio o decaimento natural do elemento químico armazenado. O enunciado “não precisa carregar na tomada”, turno 32, retoma a voz do professor, no entanto, ele fica solto, não se relacionando com nenhuma ferramenta cultural ou elaboração conceitual, aliás, como já dito, existe uma grande confusão nas elaborações da aluna A7. A ferramenta cultural filme amplia o contexto da discussão para aqueles que não conheciam que tipo de acidente radiológico aconteceu em Goiânia, porém, limita quando o estudo passa a ser os conceitos

científicos lá envolvidos. Pode-se argumentar que o filme não tem o objetivo de ensinar conceitos científicos, mas as transformações da ação mediada poderiam permitir essa discussão.

No extrato apresentado no Quadro 12, analisamos outras limitações estabelecidas na mesma aula em um momento posterior.

**Quadro 12** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 10.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 97           | A14: professor, mas uma vez que a pessoa é contaminada tem como tirar toda a radiação do corpo dela?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 98           | PR: a tá, muito boa a pergunta [...] se a pessoa só recebe partículas alfa, beta e ondas gama elas só sofrem as consequências, porém ela não emite. O que que aconteceu aqui em Goiânia? Aquilo foi sendo manipulado, aquilo foi sendo manipulado, foi se passando de mão em mão, então não sabia-se a que ponto chegou aquele problema. Então nesse caso tem como retirar a radiação da pessoa? Se for partícula, se for partícula que tiver lá no corpo dela tem. |
| 99           | A10: o rapaz ainda tem?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 100          | PR: tanto que levaram o pessoal lá pra o estádio Rio Vermelho e deram um banho neles com mangueira de água a jato, deram um banho porque se tivesse partícula era pra retirar. Agora uma pessoa que recebeu a energia radioativa, que recebeu as partículas radioativas, essa pessoa ela não vai emitir radiação.                                                                                                                                                   |
| 101          | A15: só quem engole.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 102          | PR: isso! Só quem engole ou que tem os particulados lá radioativos no corpo. J, o Roberto ((nome de um dos catadores)) emite radiação?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 103          | A7: não!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 104          | PR: por que que não emite?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 105          | A7: ele disse que na época deram um banho com água gelada e sabão de coco que era pra desinfetar e tirar o que tinha.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 106          | PR: isso. Ta me entendendo? [...]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Neste momento, o diálogo gira em torno da contaminação dos moradores da cidade de Goiânia na época do acidente do Césio 137. O professor aproveita para esclarecer outra vez, ou saber se está claro para todos, a diferença entre os conceitos de contaminação e de irradiação. Logo no turno 97, o aluno A14 questiona corretamente sobre a possibilidade de descontaminação total - nenhuma ferramenta cultural empregada na dinâmica abordou essa situação. Já o enunciado do aluno A10 é amparado pela ferramenta cultural filme, pois o termo “rapaz” se refere a uma pessoa contaminada na produção. Novamente, outro aluno, A15, no turno 101, sustenta seu enunciado a partir das vozes da ferramenta cultural filme, onde é mostrado que Leide das Neves é contaminada ao se alimentar com as mãos sujas com elemento radioativo. Esse pode ser um indício de domínio, pois A15 consegue distinguir a irradiação da contaminação e vai além ao compreender que a remoção dos particulados só é feita naquelas pessoas que tiveram contato externo com o material radioativo, diferentemente de quem engole, onde a descontaminação se torna muito mais complexa.

Ao praticarem a ação e negociarem significados há também o compartilhamento de experiências pessoais. A aluna A7 conhece pessoalmente uma das vítimas, chamada Roberto, pois moram em uma região próxima ao colégio, e aparentemente eles já conversaram. Isso fica mais claro no turno 105, iniciado por “ele disse”. Ela também consegue distinguir os dois conceitos, pois se Roberto foi contaminado, passou por um processo de descontaminação e hoje não emite radiação.

Vários enunciados entremeiam o fluxo discursivo na sala de aula e os diálogos coletivos contribuem para que as experiências individuais enriqueçam as discussões conceituais. Essa é uma das características de aulas dialógicas, onde cada um tem algo a dizer e o papel do professor novamente é enfatizado ao guiar a discussão e avançar além dos limites da ferramenta cultural.

No extrato apresentado no Quadro 13, o tratamento de pessoas contaminadas com elementos radioativos volta a ser objeto de discussão.

**Quadro 13** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 11.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 36           | A3: professor, tem tratamento para radioatividade?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 37           | PR: como que é?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 38           | A3: tem tratamento pra radioatividade tirando aquela água lá ((a aluna se refere ao banho que a vítimas contaminadas são sujeitas)).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 39           | PR: como é seu nome mesmo?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 40           | A3: B.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 41           | PR: B, a questão vai muito mais além, vai muito mais além pelo seguinte. Você, por exemplo, tá exposta a radiação, é uma explosão que acontece, por exemplo em Chernobyl, e você mora na região de Chernobyl. O que que vai acontecer com você? No seu corpo vai penetrar partículas, seu corpo vai ser atravessado por várias ondas do tipo gama, atravessa o corpo por inteiro. Daí B., esse negócio de lavar é só pra amenizar o problema, só pra amenizar o problema. É só pra tentar tirar possíveis particulados. |
| 42           | A6: que estão em cima da pele.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 43           | PR: não tem um remédio para radiação, não tem um remédio. A pessoa é submetida lá a uma dose de radiação... ((um aluno interrompe)).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 44           | A(-): se tivesse ninguém tinha morrido!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 45           | PR: e se eu lavar ela com sabão de coco ela vai melhorar. Não tem isso.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 46           | A3: mas se atravessa pra que isso?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 47           | A6: pra tirar as possíveis partículas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 48           | PR: isso! Por que senão vai ficar lá constantemente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 49           | A6: vai te queimar!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 50           | A8: então a máquina de raio-X não é radioativa?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 51           | PR: não, ela é emissão eletromagnética.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 52           | A8: mas não faz mal não?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 53           | PR: boa! Muito boa a pergunta!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 54           | A8: o cara que sempre vai tirar o raio-X vai pra trás de uma proteção.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 55           | PR: uma proteção de chumbo né? Vocês lembram que eu falei com vocês lá no... muito boa a pergunta sua, a radiação... aparelho de raio-X não faz mal não? Ó, lembra que eu falei com vocês que essas questões dependem muito da exposição? Por exemplo, radiação                                                                                                                                                                                                                                                         |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | eletromagnética tem uma faixa de frequência que até certo ponto é suportável, mas se você ficar ali constantemente, igual uma pessoa que trabalha com aparelho de raio-X, sofrendo a incidência de radiação pode fazer mal sim. Por isso que o rapaz esconde lá, é por isso que o dentista corre no consultório. Porque não pode ficar exposto constantemente, mesmo sendo a radiação eletromagnética [...].                                                                                                                                                                                       |
| 56 | A6: Raio-X pode dar até câncer né !?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 57 | PR: pode ter o desenvolvimento de uma neoplasia, sim. Porque fica muito tempo sujeito a emissões constantes. A gente convive ó, meninos, com vários tipos de radiações, só que esses vários tipos de radiações tem natureza bem diversificada, então eles não afetam tanto a gente. Agora a radiação eletromagnética, se você ficar exposto a um certo... constantemente você provavelmente pode desenvolver alguma coisa ruim e a nuclear a possibilidade é muito maior. Porque elas já vai ter ondas que já tem uma frequência que já tem a capacidade de penetrar atravessar muito o organismo. |

O que se ressalta aqui na aula 11, é que ainda há confusão entre os conceitos de irradiação e contaminação, como visto no enunciado do aluno A3 no turno 46. Entretanto, o aluno A6 parece ter compreendido e auxilia o professor na explicação. A partir daí, surge outro tema: a relação entre o raio-X e a radiação. Em um dos textos das aulas anteriores, apenas os avanços e benefícios da descoberta do raio-X foram tratados, apesar de também existirem problemas. O aluno A8 avança ao estabelecer a relação, a partir de suas experiências, do perigo da radiação eletromagnética ao citar o termo “proteção” no turno 53, mas ainda há confusão no entendimento dos tipos de radiações tratadas. Normalmente, nos livros de Química a nomenclatura radiação se associa as radiações nucleares sem fazer muitas associações às radiações eletromagnéticas, já nos livros de Física as radiações abordadas são principalmente as radiações eletromagnéticas (MEDEIROS, LOBATO, 2010). Nas ferramentas culturais artigos discutidos em sala, originários de periódicos de ensino de Química, fica claro somente a origem das radiações, ou seja, algumas radiações são originárias do núcleo e outras da eletrosfera do átomo. A partir dessas relações, no enunciado de A8, turnos 50, 52 e 54, originária de observações empíricas, a confusão é notada. Ora, se o raio-X é uma emissão eletromagnética, por que o técnico de radiografia se protege? A relação parece ser a de que somente a radiação nuclear faz mal. O enunciado do professor no turno 55 retoma enunciados anteriores na intenção de esclarecer a dúvida.

Algumas outras implicações podem ser pensadas, tendo o episódio como referência. Aparentemente não há consenso no enfoque do conceito de radiação nas próprias ferramentas culturais, bem como a Química e a Física parecem tratar do mesmo assunto de forma quase dissociada. Desta forma o aluno pode compreender o conceito de duas formas quase distintas, ora na disciplina de Química, ora na disciplina de Física. Assumindo estas características e a possibilidade de réplicas dos alunos, teremos que considerar como recorrente a possibilidade de polissemia, onde o sentido único do conceito acaba se dissipando (MACHADO, 2004).

Posteriormente, no turno 56, o aluno A6 “traz” uma informação que não está contida em nenhuma ferramenta cultural utilizada. Este aluno é o mesmo que compreende a diferença entre contaminação e radiação nos turnos anteriores. A relação associativa entre a radiação eletromagnética, raio-X e o câncer nos faz pensar que esta ação é produto do contato com outras ferramentas culturais.

Embora a discussão avance com a participação do aluno A6, em outro episódio da aula 11, a confusão entre contaminação e irradiação persiste na ação da aluna A3.

**Quadro 14** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 11.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 109          | PR: o conhecimento é maior sobre a radioatividade. Por quê? Ela ((a expressão se refere à vítima Santana, representada no filme)) trabalhava na área de saúde. Então por trabalhar na área de saúde ela tinha um conhecimento melhor e é por isso que ela fica tão apavorada quando escuta falar de radioatividade. |
| 110          | A8: o povo acha que ela tá louca.                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 111          | PR: pois é e se uma pessoa pra você “esse material que tá aqui é radioativo”. C., material radioativo bem aqui ó, o que você pensa?                                                                                                                                                                                 |
| 112          | A5: saí correndo ((uma aluna atravessa a resposta)).                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 113          | PR: não, bem aqui ((gesticula)). O que você pensaria?                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 114          | A5: pensaria só em sair correndo.                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 115          | PR: tá, você ia pensar isso. Mesmo não podendo correr você ia correr né?! Mas por quê?                                                                                                                                                                                                                              |
| 116          | A5: porque eu acho que radiação ia fazer mal a mim.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 117          | PR: á, dependendo do tipo de radiação... Dependendo do tipo de radiação ia fazer mal pra você. B., se tivesse um material radioativo aqui ó, o que você ia pensar o que você ia fazer?                                                                                                                              |
| 118          | A3: eu ia sair da sala.                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 119          | PR: por quê?                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 120          | A3: porque ((incompreensível)) o homem se ficar vinte minutos já contamina ((inaudível)).                                                                                                                                                                                                                           |
| 121          | PR: daí você pode ser contaminada [...].                                                                                                                                                                                                                                                                            |

A discussão gira em torno de uma das cenas da ferramenta cultural filme. Uma das personagens, Santana, tem receio que a substância que faz mal para todos seja de alguma forma tóxica e de certa forma ela desconfia que aquilo fosse algum produto ou substância radioativa. Diferentemente dos outros envolvidos no acidente, Santana possuía um nível maior de instrução, pois trabalhava em uma instituição de saúde. Essa relação é reconhecida pelos alunos quando relacionam a falta de conhecimento de quase todos os envolvidos com o acidente do Césio 137<sup>6</sup>. No turno 120, a aluna A3 se refere a outras discussões que trataram do tema contaminação, mas a confusão entre conceitos infelizmente permanece.

---

<sup>6</sup> Esta relação foi analisada na categoria “Elaborações Macroscópicas”.

Estes limites notados podem estar relacionados, principalmente, a polissemia entre as próprias ferramentas culturais artigo científico. O professor, como já dito, e as experiências pessoais compartilhadas no diálogo podem contribuir para atenuar as confusões conceituais e a aparente fragmentação entre as disciplinas, pois os conceitos tratados são absolutamente os mesmos em Física e em Química.

### 4.3 Categoria 3 – Evoluções

A partir dos experimentos realizados na aula 7 (Anexo B), o professor inicia a discussão sobre transformações. Um dos objetivos era fazer a distinção entre processos químicos e processos físicos, com auxílio de um experimento, e iniciar uma discussão conceitual sobre a origem das radiações nos átomos. O Quadro 15 apresenta um extrato dessa aula.

**Quadro 15** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 7.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 26           | PR: núcleo e eletrosfera. Núcleo é a região mais interna, não é? Eletrosfera é a região mais externa. Vocês sabiam que uma reação química acontece na eletrosfera? Então, por exemplo, quando eu pego essa solução e misturo com essa solução aqui ((mostrando os tubos de ensaio)) e de repente forma um outro material que tem essa outra coloração, essa reação está acontecendo na verdade é na eletrosfera [...]. Agora num processo físico não tá acontecendo nada, praticamente nada em termos de núcleo e eletrosfera. O máximo que está acontecendo é uma mudança de forma, de estado. Por exemplo, gelo derretendo, gelo derretendo é a água sólida que passa pra água líquida, gelo em fusão. Processo físico. Agora o que é um processo que nos chamamos de radioativo? Onde que ele acontece? |
| 27           | A1: no núcleo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 28           | PR: no núcleo. A. ((nome do aluno)), ele acontece no núcleo, certinho. E você tem ideia A., o que acontece no núcleo do átomo?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 29           | A1: ele libera as partículas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 30           | PR: isso.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 31           | A1: tem, acho, que gama, beta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 32           | PR: isso! Quer dizer, é a partícula... ((espera resposta do aluno))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 33           | A1: beta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 34           | PR: beta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 35           | A1: gama.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 36           | PR: partícula gama. Tem três!                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 37           | A(-): alfa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 38           | PR: bom! Vocês sabiam que radiação pode ser partícula? Vocês sabiam disso ou não? Radiação pode ser partículas [...]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

O que chama a atenção nesse extrato é que o aluno A1 elabora seus enunciados a partir de diferentes ferramentas culturais, pois não há elementos nos textos anteriores ou nas discussões já ocorridas que subsidiam suas réplicas, turnos 27, 29, 31. A1 extrapola os limites

das ferramentas culturais utilizadas na sequência didática e recorre a outras, aprofundando nos conceitos microscópicos. Mesmo que a elaboração conceitual não se caracterize integralmente, A1 consegue transitar entre diferentes ferramentas culturais, utilizadas em sala e em outros espaços.

No extrato apresentado no quadro da Figura 16, o professor procura continuar fazendo distinções, agora entre as radiações, relacionando a origem de cada uma no átomo: ondas eletromagnéticas originárias na eletrosfera e a radiações originárias no núcleo. Ocorre também uma breve revisão de alguns tópicos de Química geral.

**Quadro 16** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 7.

| Turno | Transcrição das falas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 72    | PR: até aí tá tranquilo. Pois é, em alguns tipos de átomos, que nessa quantidade de prótons e nêutrons, ela gera uma instabilidade, ela gera uma instabilidade. Então esse átomo pra conseguir coexistir, permanecer, ele começa a liberar de dentro do núcleo mesmo, radiação. Por exemplo, o Césio, o Urânio, o Plutônio, até o Flúor. Eles liberam de dentro desse núcleo radiação.                                   |
| 73    | A1: até ficar estável.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 74    | PR: isso! Até chegar num ponto de ter estabilidade, até chegar num ponto de ter estabilidade. Como é seu nome? ((professor aponta para outro aluno))                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 75    | A6: J.V.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 76    | PR: J.V. daí acontece o seguinte. Quando a gente ouve falar assim “o Césio 137 é radioativo”. O que significa isso? Que de dentro do núcleo do Césio sai radiação. E o que é, o que que são essas radiações? São partículas, são partículas muito, mais muito pequenas que nós chamamos de partículas alfa e beta. E podem ser ondas de energia. E podem ser ondas de energia que são chamadas de... Ondas do tipo gama. |
| 77    | A6: qual que é essa diferença entre alfa e beta?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 78    | PR: a diferença é a massa [...].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Novamente, há indícios de que o enunciado do mesmo aluno A1 é uma réplica de enunciados elaborados a partir das vozes de ferramentas culturais diferentes daquelas selecionadas e utilizadas em sala de aula, isto é, sua voz interage com outras vozes articulando conceitos e estimulando a elaboração de réplicas (GIORDAN, 2008). Por ser um conceito mais complexo, a instabilidade nuclear, ou o porquê das emissões radioativas ocorrerem, não são abordados em nenhum momento na sequência didática. Entretanto, A1 continua avançando e quando afirma no turno 73 que os elementos citados pelo professor liberam radiação até ficarem estáveis, há indícios de domínio na aprendizagem dos conceitos que envolvem a estabilidade. Esse extrato expõe mais uma vez como outras ferramentas culturais participam das elaborações conceituais complementando as discussões em sala.

Na aula 11, o professor fala sobre os processos de descontaminação de particulados superficiais nas vítimas e quais são os sintomas da exposição à radiação, a partir da dúvida de

uma aluna. Neste momento A8 levanta uma questão mais complicada de ser respondida, como se pode observar no Quadro 17.

**Quadro 17** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 11.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                      |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 126          | PR: pode perguntar agora.                                                                                                                         |
| 127          | A8: se a pessoa estiver com radiação, Iodo pode resolver?                                                                                         |
| 128          | PR: pra remover, tem algumas substâncias que funcionam sim. Elas são utilizadas para remoção, só que no caso do Iodo... o Iodo é o seguinte [...] |

Não havia referências anteriores na dinâmica discursiva em sala sobre a utilização do Iodo. O aluno talvez tenha ouvido falar da relação deste elemento químico com a radioatividade, anteriormente ou pesquisou durante o período das aulas. Porém, ainda aparenta haver falta de clareza na pergunta, pois a maneira como o aluno utilizou o verbo “estiver” no turno 127, não nos fornece subsídio para saber se ele se refere à contaminação ou à irradiação. Caso tenha sido a segunda opção, existiu um problema conceitual. Apesar de progredir ao utilizar outras ferramentas culturais para elaborar seu enunciado, falta uma explicação conceitual para amparar a significação, o que deixa de caracterizar novamente a apropriação.

No Quadro 18, outros temas não abordados continuam emergindo nas discussões. Desta vez foi o número de massa do elemento Césio.

**Quadro 18** – Episódio de ensino ocorrido durante a aula 11.

| <b>Turno</b> | <b>Transcrição das falas</b>                                                                                                                                                                                                |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 140          | A6: professor, e por que é Césio 137?                                                                                                                                                                                       |
| 141          | PR: á é a massa viu. A gente fala Césio 137 porque é a massa dele. Nós temos outros tipos de Césio, você sabia?                                                                                                             |
| 142          | A: [132, 129] ((alguns alunos falam estes números de massa))                                                                                                                                                                |
| 143          | PR: vocês olharam na tabela?                                                                                                                                                                                                |
| 144          | A8: o 132 têm na natureza.                                                                                                                                                                                                  |
| 145          | PR: isso. Olharam a tabela periódica?                                                                                                                                                                                       |
| 146          | A8: eu olhei.                                                                                                                                                                                                               |
| 147          | PR: é por causa da massa dele. Eu não sei se vocês perceberam, mas é o seguinte... Não ... deixa eu perguntar primeiro. Por que vocês acham que o Césio 137 emite radiação e um outro 132, por exemplo, não emite radiação? |
| 148          | A6: eu nem sabia que existia 132!                                                                                                                                                                                           |
| 149          | A8: porque já é estável.                                                                                                                                                                                                    |
| 150          | PR: ah?                                                                                                                                                                                                                     |
| 151          | A8: já é estável!                                                                                                                                                                                                           |
| 152          | PR: já estável! Ó, o 132 já é estável.                                                                                                                                                                                      |
| 153          | A11: não precisa da quebra do núcleo.                                                                                                                                                                                       |
| 154          | PR: ele... A relação de massa dele lá no núcleo com a eletrosfera já é uma relação estável. E o outro precisa de que?                                                                                                       |
| 155          | A: [estabilidade]                                                                                                                                                                                                           |

|     |                                                                                                                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 156 | A11: por isso que quebra o núcleo e libera ((inaudível)).                                                                                                         |
| 157 | PR: isso! Estabiliza, por isso o núcleo vai saindo... partículas alfa, beta, gama. É por isso. Tem outras modalidades [...] ((professor chama atenção da turma)). |

Aqui, fica evidenciada a busca por informações em outras ferramentas culturais. Nos turnos 142, 144 e 153 vários alunos utilizam outras ferramentas culturais, o que confirma que as evoluções não estão restritas a um único aluno. Além disso, ao terem como referência a tabela periódica, podemos compreender que há domínio sobre esta ferramenta cultural.

Existe, contudo, um erro conceitual do professor, quando ele trata da estabilidade do Césio 132. Possivelmente ele confundiu com o Césio 133, isótopo natural estável encontrado na natureza. Não condenamos o erro e pensamos até que ele poderia estender a discussão falando sobre a quantidade de isótopos do Césio, quais são os mais utilizados e quais suas características físico-químicas. Infelizmente, na sequência os alunos se dispersam bastante e o professor, após chamar a atenção da turma, muda o tema da questão.

Como característica dos gêneros discursivos secundários, as evoluções aconteceram, sobretudo, na segunda metade da sequência didática. As elaborações conceituais, assim como as compreensões responsivas, exigiram mais tempo e formalidade para serem feitas, portanto a busca por ferramentas culturais, diferentes daquelas utilizadas em aula, foi realizada no momento mais favorável, onde o horizonte conceitual já havia se ampliado.

Mesmo que os alunos tenham avançado nas elaborações macroscópicas, extrapolado os limites das ferramentas culturais selecionadas e transitado entre elas, novas restrições surgiram. Não notamos aprendizagem como apropriação nesta categoria, ficaram aparentes somente alguns momentos de domínio de determinadas ferramentas culturais. Talvez os desajustes entre a intenção dos alunos e os objetivos das ferramentas culturais buscadas, não permitiram elaborações conceituais consistentes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tomar como objeto de estudo a dinâmica discursiva, pressupõe assumir a sala de como um espaço de diálogo, onde professor e alunos negociam significados. Nas duas intervenções que aconteceram na trajetória da pesquisa, a análise numérica da quantidade de turnos em cada aula nos permite afirmar que elas foram dialógicas, várias aulas de 50min tiveram mais de 160 turnos. Podemos questionar e apontar possibilidades de análise para futuras pesquisas, a particularidade desta dialogicidade. Numericamente ela acontece, mas qual é a sua qualidade? Nesta pesquisa, mesclaram nos diálogos momentos de intensa elaboração conceitual conjunta mediada pelas ferramentas culturais e outros que se estabeleceram no padrão dialógico interativo de autoridade, aonde o “professor geralmente conduz os estudantes por meio de uma sequência de perguntas e respostas, com o objetivo de chegar a um ponto de vista específico” (MORTIMER; SCOTT, 2002). Nesta perspectiva o professor não explora algumas ideias e pontos de vista dos alunos expressos na fala, ou seja, a ação discursiva fica comprometida.

Embora tenham acontecido momentos onde o padrão dialógico foi interativo de autoridade, ele não foi preponderante nas aulas. Esta característica permitiu perceber na ação discursiva dos alunos, enunciados mesclados do gênero discursivo primário e secundário. A linguagem cotidiana se aproxima dos gêneros primários, enquanto a linguagem científica, que exige maior elaboração e são amparados por uma rede conceitual, se aproxima dos gêneros secundários. O discurso científico, mais complexo, naturalmente não prevaleceu na sala de aula, pois os gêneros discursivos se hibridizaram.

Esta qualidade foi percebida nos momentos em que a aprendizagem pôde ser descrita como domínio. Já a apropriação das ferramentas culturais, que permeava necessariamente a elaboração conceitual mais complexa típica do gênero secundário, foi insuficientemente determinada e isto pode estar relacionado com os múltiplos objetivos dos alunos e das ferramentas culturais utilizadas. O papel do professor é ressaltado nestes momentos, pois ele pode auxiliar o trânsito dos alunos entre as diferentes ferramentas culturais e transformar qualitativamente a ação, mesmo com estes possíveis desajustes.

A partir de nossos referenciais teóricos, não tivemos dúvidas que a polifonia na ação discursiva nos auxiliou a compreender o processo formação de conceitos. Destacamos, porém, a polissemia nos enunciados dos alunos e até mesmo nos enunciados das ferramentas culturais. Nem mesmo entre as ferramentas culturais utilizadas, específicas de Física e Química, há consenso na utilização do termo radiação. Ora elas se referem à radiação

eletromagnética, ora se referem à radiação nuclear. Ficou clara em várias ocasiões esta confusão. Desta forma, os alunos poderiam compreender o conceito de duas formas quase distintas. Uma possível solução para o conflito entre os conceitos é deixar mais robusta a explicação relativa à radiação eletromagnética (raio-x e raio gama) e à radiação nuclear (decaimentos alfa e beta), atenuando dicotomias.

Esta falta de homogeneidade nas explicações nas ferramentas culturais, não foi fator impeditivo para que os alunos conseguissem fazer relações macroscópicas ao transitarem entre as diferentes ferramentas culturais, identificando os conceitos científicos envolvidos com o tema radioatividade e vendo implicações diversas. A responsabilidade dos cientistas e intelectuais diante dos desastres provocados e a importância de se posicionar frente às discussões atuais de ampliação de usinas term nucleares no mundo, são exemplos de como as relações macroscópicas aconteceram nas aulas.

Mesmo que os alunos tenham avançado nas elaborações macroscópicas e extrapolado os limites das ferramentas culturais selecionadas, caracterizando indícios de domínio, houve também, restrições e limites nas elaborações microscópicas. Corroborando com a análise de Pereira e Ostermann (2012c), onde os múltiplos objetivos dos estudantes se desencontravam dos propósitos das ferramentas culturais, pudemos notar que, principalmente, quando tratamos das elaborações conceituais microscópicas nas ferramentas culturais, as restrições ficaram mais evidentes. Nestes momentos a intervenção de um indivíduo mais experiente, no caso o professor, é novamente destacada.

Na metade final da sequência didática da segunda intervenção aconteceram os principais progressos e evoluções. Em nosso entendimento era o momento mais favorável, pois o horizonte conceitual dos alunos já havia se ampliado, proporcionando o empenho para a utilização de outras ferramentas culturais. Isso, todavia, não foi um indicativo de apropriação das ferramentas culturais que já vinham sendo utilizada, propriedade, aliás, que não foi percebida em nenhum momento na pesquisa.

As características das escolas, dos alunos e da experiência adquirida no decorrer da pesquisa fizeram com que as duas intervenções possuíssem sequências didáticas diferentes. As características divergentes entre as aulas de 1h30min e as aulas de 50min foram notadas, principalmente, quando acontecia a dispersão da atenção dos alunos. Enquanto que na aula menos duradoura eles se mantinham focados na discussão, nas aulas mais longas isso era mais difícil de acontecer. Logicamente isso não é constatação plena para embasar trabalhos futuros, apenas expomos que, mesmo com um número maior de alunos, a sequência didática desenvolvida em aulas mais curtas se adaptou melhor a pesquisa desenvolvida. Fazendo

novamente um paralelo entre as duas intervenções, enquanto na primeira abordamos conteúdos demasiados, na segunda, já com essa preocupação, diminuímos o número de ferramentas culturais. Isso proporcionou discussões mais elaboradas, tanto dos conceitos macroscópico, quanto dos conceitos microscópico. Estas particularidades permitiram que as elaborações conceituais e as evoluções acontecessem naturalmente.

## REFERÊNCIAS

- AYALA FILHO, Álvaro L. A construção de um perfil para o conceito de referencial em física e os obstáculos epistemológicos a aprendizagem da teoria da relatividade restrita. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.15, n.1, p.155-179, 2010.
- AMARAL, Edênia M. R.; MORTIMER, Eduardo F. Uma metodologia para análise da dinâmica entre zonas de um perfil conceitual no discurso da sala de aula. In: SANTOS, Flávia M. T.; GRECA, Ileana M. **A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2006. p.239-296.
- ANGOTTI, José A. P.; BASTOS, Fábio P.; MION, Rejane A. Educação em Física: discutindo ciência, tecnologia e sociedade. **Ciência & Educação**, Bauru, v.7, n.2, p.183-197, 2001.
- ANDRADE, Rogério R. D.; NASCIMENTO, Robson S.; GERMANO, Marcelo G. Influências da física moderna na obra de Salvador Dalí. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.24, n.3, p.400-423, dez. 2007.
- BAKHTIN, Mikhail. **Estética da criação verbal**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.
- BAKHTIN, Mikhail. (VOLOCHÍNOV). **Marxismo e filosofia da linguagem**. 13. ed. São Paulo: Hucitec, 2009.
- BARROS, Marcos Antonio; BASTOS, Heloisa F. B. N. Investigando o uso do ciclo da experiência kellyana na compreensão do conceito de difração de elétrons. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.24, n.1, p.26-49, abr. 2007.
- BETZ, Michel; LIMA, Ismael; MUSSATO, Gabriel. Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.31, n.3, 2009.
- BRAIT, Beth. Polifonia arquitetada pela citação visual e verbo-visual. **Bakhtiniana. Revista de estudos do discurso**, São Paulo, v.1, n.5, p.183-196, 2011.
- BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ensino Médio. Brasília: Ministério da Educação/ Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2000. 58p. (Parte III)
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002. 144p.
- CARVALHO, Ana Maria P. VANNCCHI, Andréa. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.1, n.1, p.3-19, 1996.
- CARUSO, Francisco; FREITAS, Nilton. Física moderna no Ensino Médio: o espaço tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.26, n.2, p.355-366, ago. 2009.

CAVALCANTI, Lana S. Cotidiano, mediação pedagógica e formação de conceitos: uma contribuição de Vygotsky ao ensino de geografia. **Cadernos Cedes**, Campinas, v.25, n.66, p.185-207, maio/ago. 2005.

CÉSIO 137 – o pesadelo de Goiânia. Direção e roteiro Roberto Pires. Brasil: Grupo Coplaven, 1990. 1 DVD remasterizado (115 min.): DVD, col., son. Port.

CHASSOT, Attico. Raio-X e radioatividade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.2, p.19-22, nov. 1995.

CHIQUETTO, Marcos J.; KRAPAS, Sonia. Examinando exames: análise dos vestibulares que nortearam o livro “Fundamentos da Física”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.29, n.1, p.33-51, abr. 2012.

CORDEIRO, Marinês D.; PEDUZZI, Luiz O. Q. As conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.27, n.3, p.473-514, dez. 2010.

CORDEIRO, Marinês D.; PEDUZZI, Luiz O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.33, n.3, 2011.

COSTA, Lorena S. O. **Análise da elaboração conceitual nos processos de ensino-aprendizagem em aulas de química para jovens e adultos: por uma formação integrada**. 2010. 99f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

DOMINGUINI, Lucas. Física Moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.34, n.2, 2012.

ENGELS, Friedrich. **O papel do trabalho na transformação do macaco em homem**. 2. ed. Brasília: Centelha Cultural, 2010.

FANARO, Maria A.; ARLEGO, Marcelo; OTERO, Maria R. El método de caminos múltiples de Feynman como referencia para introducir los conceptos fundamentales de la mecánica cuántica en la escuela secundaria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.24, n.2, p.233-260, ago. 2007.

FANARO, Maria A.; OTERO, Maria R.; ARLEGO, Marcelo. Teaching the foundations of quantum mechanics in secondary school: a proposed conceptual structure. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.14, n.1, p.37-64, 2009.

FARIAS, Robson Fernandes. Química do tempo: Carbono-14. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n.16, p.6-8, nov. 2002.

FERRARI, Paulo C.; ANGOTTI, José André P.; TRAGTENBERG, Marcelo Henrique R. Educação problematizadora a distância para a inserção de temas contemporâneos na formação docente: uma introdução à Teoria do Caos. **Ciência & Educação**, Bauru, v.15, n.1, p.85-104, 2009.

FLÔR, Cristhiane C. A história da síntese de elementos transurânicos e extensão da tabela periódica numa perspectiva Fleckiana. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v.31, n.4, p.246-250, nov. 2009.

GIORDAN, Marcelo. A internet vai à escola: domínio e apropriação de ferramentas culturais. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v.31, n.1, p.57-78, jan. 2005.

GIORDAN, Marcelo. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências**. Ijuí: Editora UNIJUÍ, 2008.

GÓES, Maria Cecília R.; CRUZ, Maria Nazaré. Sentido, significado e conceito: notas sobre as contribuições de Lev Vigotski. **Pró-posições**, v.17, n.2(50), p.31-45, maio 2006.

GOMES, Roberto Alcântara. Radiação de fundo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.7, n.40 (suplemento), mar. 1988.

GUERRA, Andreia; BRAGA, Marcos; REIS, José C. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.29, n.4, p.575-583, 2007.

GUERRA, Andreia; REIS, José C.; BRAGA, Marcos. Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n.3, p.568-583, dez. 2010.

JUNIOR, Mikael F. R.; CRUZ, Frederico F. S. Física moderna e contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência & Educação**, Bauru, v.15, n.2, p.305-321, 2009.

JUNIOR, Juvenal Z. A circulação de textos midiáticos entre alunos da escola pública básica. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v.36, n.1, p.297-310, jan/abr 2010.

KARAM, Ricardo; PIETROCOLA, Maurício. Formalização matemática x física moderna no Ensino Médio: é possível solucionar esse impasse? In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008. Curitiba. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/atas/resumos/T0054-1.pdf>> Acesso em: 11 jul. 2012.

LIMA, Rodrigo da S.; PIMENTEL, Luiz C. F.; AFONSO, Júlio C. O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX. **Química Nova na Escola**. São Paulo, vol.33, n.2, p.93-99, maio 2011.

MACHADO, Andréa Horta. **Aula de química: discurso e conhecimento**. 2. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2004.

MACHADO, Irene. Gêneros discursivos. In: BRAIT, Beth (org.). **Bakhtin: conceitos-chave**. 4. ed. São Paulo: Contexto, 2010. p. 151-166.

MARX, Karl. **O capital**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1988. vol I.

MEDEIROS, Miguel A.; LOBATO, Anderson C. Contextualizando a abordagem de radiações no ensino de Química. **Ensaio**, Belo Horizonte, v.12, n.3, p. 65-84, 2010.

MELHORATO, Rodrigo L.; NICOLI, Gustavo T. Da física clássica a moderna: o simples toque de uma sirene. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.34, n.3, 2012.

MERCER, Neil. As perspectivas socioculturais e o estudo do discurso em sala de aula. In: COLL, César; EDWARDS, Derek. **Ensino, aprendizagem e discurso em sala de aula: aproximações ao estudo do discurso educacional**. Porto Alegre: ArtMed, 1998. Cap. 1.

MONTEIRO, Maria A.; NARDI, Roberto; FILHO, Jenner B. B. A sistemática incompreensão da Teoria Quântica e as dificuldades dos professores na introdução da física moderna e contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v.15, n.3, p.557-580, 2009.

MONTEIRO, Maria A.; NARDI, Roberto. As abordagens dos livros didáticos acerca da física moderna e contemporânea: algumas marcas da natureza da ciência. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008. Curitiba. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/atas/resumos/T0068-1.pdf>> Acesso em : 11 jul. 2012.

MORTIMER, Eduardo F. Sobre chammas e cristais: a linguagem cotidiana, a linguagem científica e o ensino de ciências. In: CHASSOT, Attico; OLIVEIRA, José Renato (org.). **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 1998.

MORTIMER, Eduardo F. As chammas e os cristais revisitados: estabelecendo diálogos entre a linguagem científica e a linguagem cotidiana no ensino das Ciências da natureza. In: Wildson Luiz P. dos Santos; Otávio Aloisio Maldaner. (Org.). **Ensino de Química em Foco**. 1. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2010. p. 181-207

MORTIMER, Eduardo F.; SCOTT, Phil. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.7, n.3, p.283-306, 2002.

NETO, Jader S.; OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra D. O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia medica a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.33, n.1, 2011.

OLIVEIRA, Marta Kohl. **Vygotsky: aprendizagem e desenvolvimento, um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1995.

OLIVEIRA, Fábio F.; VIANNA, Deise M.; GERBASSI, Reuber S. Física moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.29, n.3, p. 447-454, 2007.

OLIVEIRA, Denny M. Uma proposta para o ensino de teoria quântica de campos na graduação: a eletrodinâmica de Maxwell-Chern-Simons como motivação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.33, n.3, 2011.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marcos A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.23-48, 2000.

OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra D.; RICCI, Trieste S. F. Investigando a aprendizagem de professores de física acerca do fenômeno da interferência quântica. **Ciência & Educação**, Bauru, v.14, n.1, p.35-54, 2008.

PAULO, Iramaia J. C.; MOREIRA, Marcos A. O problema da linguagem e o ensino da Mecânica Quântica no nível médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v.17, n.2, p.421-434, 2011.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.14, n.3, p.393-420, 2009.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. A aproximação sociocultural à mente, de James V. Wertsch, e implicações para a educação em Ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v.18, n.1, p.23-39, 2012a.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio J. H. Um exemplo de “distribuição social da mente” em uma aula de Física Quântica. **Ciência & Educação**, Bauru, v.18, n.2, p.257-270, 2012b.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. Recursos e restrições nas explicações de futuros professores de física sobre mecânica quântica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, São Paulo, v.12, n.2, p.9-28, 2012c.

PEREIRA, Alexsandro P.; JÚNIOR, Osvaldo P.; CAVALCANTI, Cláudio J. H; OSTERMANN, Fernanda. Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da Física Quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.29, n. Especial 2, p.831-863, out. 2012d.

PINO, Angel. O conceito de mediação em Vygotsky e seu papel na explicação do psiquismo humano. In: GÓES, Maria Cecília; PINO, Angel (org.). **Caderno Cedes 24 – Pensamento e linguagem: estudos na perspectiva da psicologia soviética**. 1. ed. Campinas, SP: Papirus, 1991. p. 32-43.

PINO, Angel. O social e o cultural na obra de Vigotski. **Educação & Sociedade**, Campinas, n.71, p.45-78, jul. 2000.

PINO, Angel. O biológico e o cultural nos processos cognitivos. In: MORTIMER, Eduardo F.; SMOLKA, Ana Luiza B. (org.). **Linguagem, cultura e cognição: reflexões para o ensino e a sala de aula**. Belo Horizonte: Autêntica, 2001. p.21-50.

POSSO, Adriana S. **A produção de significados em um ambiente virtual de aprendizagem**: utilizando a teoria da ação mediada para caracterizar a significação dos conceitos relacionados à solubilidade dos materiais. 2010. 183 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ROSA, Cleci W.; ROSA, Álvaro B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v.4, n.1, 2005.

RICCI, Trieste F.; OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra D. O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.29, n.1, p.79-88, 2007.

SALES, Gilvandenys L.; VASCONCELOS, Francisco H. L.; FILHO, José A. C.; PEQUENO, Mauro C. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.30, n.3, 2008.

SILVA, Luciana A.; ANDRADE, Jailson B. Química a serviço da humanidade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.5, p.3-6, nov. 2003.

SILVA, André C.; ALMEIDA, Maria José P. M. Física quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.28, n.3, p.624-652, dez. 2011.

SILVA, Nelson C. Laboratório virtual de física moderna: atenuação da radiação pela matéria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.39, n.3, p.1206-1231, dez. 2012.

SILVA, Luciene F.; ASSIS, Alice. Física moderna no ensino médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.29, n.2, p.313-324, ago. 2012.

SORPRESO, Thirza P.; ALMEIDA, Maria José P. M. Aspectos do imaginário de licenciandos em física numa situação envolvendo a resolução de problemas e a questão nuclear. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.25, n.1, p.77-98, abr. 2008.

SORPRESO, Thirza P.; ALMEIDA, Maria José P. M. Discursos de licenciandos em física sobre a questão nuclear no ensino médio: foco na abordagem histórica. **Ciência & Educação**, Bauru, v.16, n.1, p.37-60, 2010.

SOUZA, M. A. M.; DANTAS, J. D. Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.27, n.1, p.136-158, abr. 2010.

TRIVIÑOS, Augusto Nibaldo S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

VASCONCELOS, Flávia C. G. C.; LEÃO, Marcelo B. C. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia *Flexquest* sobre radioatividade. **Investigação em Ensino de Ciências**, v.17, n.1, p.37-58, 2012.

VIGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S.; LURIA, A. R. **Estudos sobre a história do comportamento**: o macaco, o primitivo e a criança. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

WELLS, Gordon. Da adivinhação à previsão: discurso progressivo no ensino e na aprendizagem de ciências. In: COLL, César; EDWARDS, Derek. **Ensino, aprendizagem e discurso em sala de aula**: aproximações ao estudo do discurso educacional. Porto Alegre: ArtMed, 1998. Cap. 5.

WERTSCH, James V. **Voces de la mente** – un enfoque sociocultural para el estudio de la Acción Mediada. Madri: Visor, 1991.

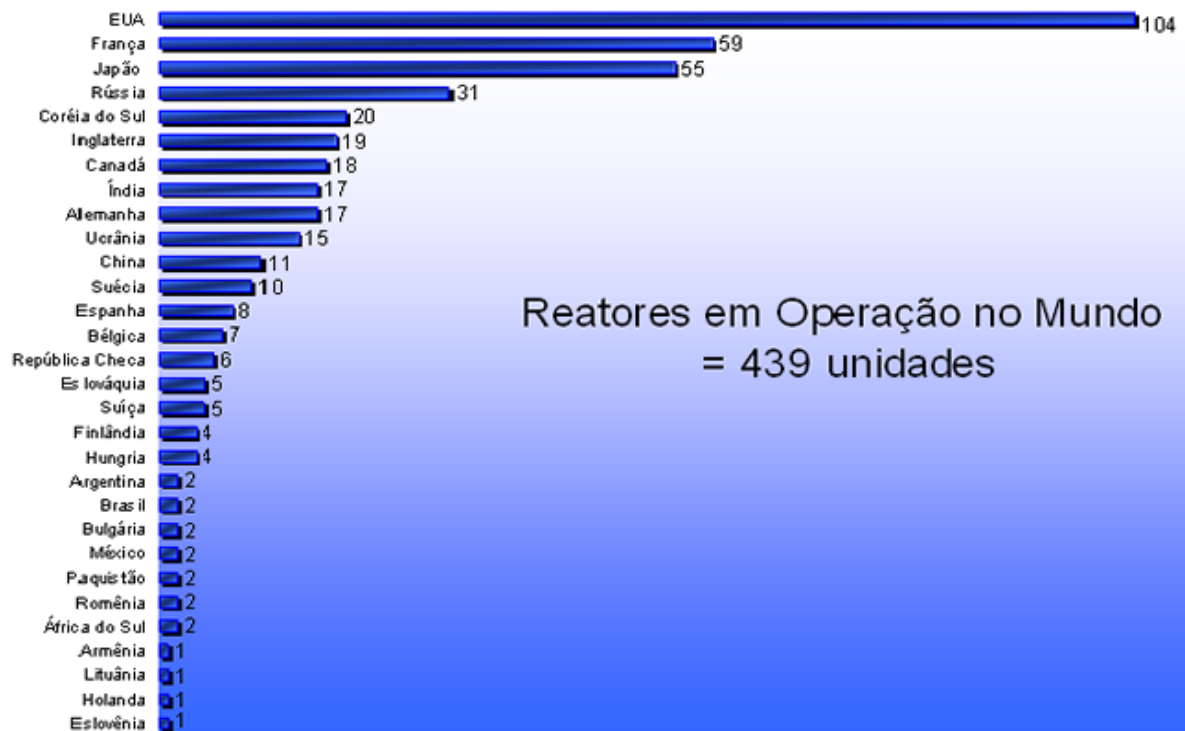
WERTSCH, James V. A necessidade da ação na pesquisa sociocultural. In: WERTSCH, James V.; RÍO, Pablo Del; ALVAREZ, Amelia. **Estudos socioculturais da mente**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 1998. Cap. 2.

WERTSCH, James V. **La mente en acción**. 1. ed. Buenos Aires: Aique, 1999.

## ANEXO A – Ferramentas culturais utilizadas na sequência didática

### Texto 1

#### Usinas nucleares no mundo



#### Número de Reatores Nucleares no Mundo

|               | Geração Nucleoelétrica 2007 |      | Reatores em Operação Outubro de 2008 |        | Reatores em Construção Outubro de 2008 |       | Reatores Planejados Outubro de 2008 |       | Reatores Propostos Outubro de 2008 |       | Demanda de Urânio - 2008 |
|---------------|-----------------------------|------|--------------------------------------|--------|----------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|--------------------------|
|               | bilhões kWh                 | %    | Nº                                   | MWe    | Nº                                     | MWe   | Nº                                  | MWe   | Nº                                 | MWe   | t U                      |
| África do Sul | 12,6                        | 5,5  | 2                                    | 1.842  | 0                                      | 0     | 1                                   | 165   | 24                                 | 4.000 | 303                      |
| Alemanha      | 133,2                       | 26   | 17                                   | 20.339 | 0                                      | 0     | 0                                   | 0     | 0                                  | 0     | 3.332                    |
| Argentina     | 6,7                         | 6,2  | 2                                    | 935    | 1                                      | 692   | 1                                   | 740   | 1                                  | 740   | 123                      |
| Armênia       | 2,35                        | 43,5 | 1                                    | 376    | 0                                      | 0     | 0                                   | 0     | 1                                  | 1.000 | 51                       |
| Bangladesh    | 0                           | 0    | 0                                    | 0      | 0                                      | 0     | 0                                   | 0     | 2                                  | 2.000 | 0                        |
| Belarus       | 0                           | 0    | 0                                    | 0      | 0                                      | 0     | 2                                   | 2.000 | 0                                  | 0     | 0                        |
| Bélgica       | 46                          | 54   | 7                                    | 5.728  | 0                                      | 0     | 0                                   | 0     | 0                                  | 0     | 1.011                    |
| Brasil        | 11,7                        | 2,8  | 2                                    | 1.901  | 0                                      | 0     | 1                                   | 1.245 | 4                                  | 4.000 | 303                      |
| Bulgária      | 13,7                        | 32   | 2                                    | 1.906  | 0                                      | 0     | 2                                   | 1.900 | 0                                  | 0     | 261                      |
| Canadá        | 88,2                        | 14,7 | 18                                   | 12.652 | 2                                      | 1.500 | 3                                   | 3.300 | 4                                  | 4.400 | 1.665                    |

|                        | Geração Nucleoelétrica 2007 |           | Reatores em Operação Outubro de 2008 |                | Reatores em Construção Outubro de 2008 |               | Reatores Planejados Outubro de 2008 |                | Reatores Propostos Outubro de 2008 |                | Demanda de Urânio - 2008 |
|------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------------|----------------|----------------------------------------|---------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
|                        | bilhões kWh                 | %         | Nº                                   | MWe            | Nº                                     | MWe           | Nº                                  | MWe            | Nº                                 | MWe            | t U                      |
| <b>Cazaquistão</b>     | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 2                                  | 600            | 0                        |
| <b>China</b>           | 59,3                        | 1,9       | 11                                   | 8.587          | 7                                      | 6.700         | 26                                  | 27.620         | 76                                 | 62.600         | 1.396                    |
| <b>Coréia do Norte</b> | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 1                                   | 950            | 0                                  | 0              | 0                        |
| <b>Coréia do Sul</b>   | 136,6                       | 35,3      | 20                                   | 17.533         | 3                                      | 3.000         | 5                                   | 6.600          | 2                                  | 2.700          | 3.109                    |
| <b>Egito</b>           | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 1                                  | 1.000          | 0                        |
| <b>Eslováquia</b>      | 14,2                        | 54        | 5                                    | 2.094          | 2                                      | 840           | 0                                   | 0              | 1                                  | 1.200          | 313                      |
| <b>Eslovênia</b>       | 5,4                         | 42        | 1                                    | 696            | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 1                                  | 1.000          | 141                      |
| <b>Espanha</b>         | 52,7                        | 17,4      | 8                                    | 7.448          | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 0                                  | 0              | 1.398                    |
| <b>EUA</b>             | 806,6                       | 19,4      | 104                                  | 100.599        | 0                                      | 0             | 12                                  | 15.000         | 20                                 | 2.6000         | 18.918                   |
| <b>Finlândia</b>       | 22,5                        | 29        | 4                                    | 2.696          | 1                                      | 1.600         | 0                                   | 0              | 1                                  | 1.000          | 1.051                    |
| <b>França</b>          | 420,1                       | 77        | 59                                   | 63.473         | 1                                      | 1.630         | 0                                   | 0              | 1                                  | 1.600          | 10.527                   |
| <b>Hungria</b>         | 13,9                        | 37        | 4                                    | 1.826          | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 2                                  | 2.000          | 271                      |
| <b>Índia</b>           | 15,8                        | 2,5       | 17                                   | 3.779          | 6                                      | 2.976         | 10                                  | 9.760          | 15                                 | 11.200         | 978                      |
| <b>Indonésia</b>       | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 2                                   | 2.000          | 2                                  | 2.000          | 0                        |
| <b>Inglaterra</b>      | 57,5                        | 15        | 19                                   | 11.035         | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 6                                  | 9.600          | 2.199                    |
| <b>Irã</b>             | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 1                                      | 915           | 2                                   | 1.900          | 1                                  | 300            | 143                      |
| <b>Israel</b>          | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 1                                  | 1.200          | 0                        |
| <b>Japão</b>           | 267                         | 27,5      | 55                                   | 47.577         | 2                                      | 2.285         | 11                                  | 14.945         | 1                                  | 1.100          | 7.569                    |
| <b>Lituânia</b>        | 9,1                         | 64,4      | 1                                    | 1.185          | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 2                                  | 3.400          | 225                      |
| <b>México</b>          | 9,95                        | 4,6       | 2                                    | 1.310          | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 2                                  | 2.000          | 246                      |
| <b>Holanda</b>         | 4,0                         | 4,1       | 1                                    | 485            | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 0                                  | 0              | 98                       |
| <b>Paquistão</b>       | 2,3                         | 2,34      | 2                                    | 400            | 1                                      | 300           | 2                                   | 600            | 2                                  | 2.000          | 65                       |
| <b>Republica Checa</b> | 24,6                        | 30,3      | 6                                    | 3.472          | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 2                                  | 3.400          | 619                      |
| <b>Romênia</b>         | 7,1                         | 13        | 2                                    | 1.310          | 0                                      | 0             | 2                                   | 1.310          | 1                                  | 655            | 174                      |
| <b>Rússia</b>          | 148                         | 16        | 31                                   | 21.743         | 7                                      | 4.810         | 12                                  | 14.340         | 25                                 | 22.280         | 3.365                    |
| <b>Suécia</b>          | 64,3                        | 46        | 10                                   | 9.016          | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 0                                  | 0              | 1.418                    |
| <b>Suíça</b>           | 26,5                        | 43        | 5                                    | 3.220          | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 3                                  | 4.000          | 537                      |
| <b>Tailândia</b>       | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 4                                  | 4.000          | 0                        |
| <b>Turquia</b>         | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 2                                   | 2.400          | 1                                  | 1.200          | 0                        |
| <b>Ucrânia</b>         | 87,2                        | 48        | 15                                   | 13.168         | 0                                      | 0             | 2                                   | 1.900          | 20                                 | 2.7000         | 1.974                    |
| <b>Vietnam</b>         | 0                           | 0         | 0                                    | 0              | 0                                      | 0             | 0                                   | 0              | 2                                  | 2.000          | 0                        |
| <b>MUNDO*</b>          | <b>2.608</b>                | <b>15</b> | <b>439</b>                           | <b>373.247</b> | <b>36</b>                              | <b>29.848</b> | <b>99</b>                           | <b>108.675</b> | <b>232</b>                         | <b>211.575</b> | <b>64.615</b>            |

Reactor data: WNA to 30/09/08 - Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA.

Em Operação = Conectado ao sistema elétrico.

Em Construção = Iniciada a construção.

Planejado = Proposta aprovada.

Proposto = Clara intenção, mas ainda não incluso no planejamento.

TWh = Terawatt-hora (bilhões de kilowatt-hora), MWe = Megawatt bruto, kWh = kilowatt-hora.

64,615 tU = 76,200 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

Fonte: [http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/interna2.aspx?secao\\_id=76](http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/interna2.aspx?secao_id=76) (Último acesso 05/07/2012)

## Texto 2

### Energia e desenvolvimento do Brasil

#### Angra 3

Com apenas 30% do seu território prospectado, o Brasil abriga atualmente a sexta maior reserva de urânio do mundo, estimada em 309 mil toneladas. Trata-se de uma quantidade suficiente para alimentar 32 usinas nucleares como Angra 3 durante toda sua vida útil, de acordo com estimativas da INB - Indústrias Nucleares do Brasil, única empresa responsável pelo beneficiamento do minério e pela fabricação do combustível nuclear no País. As maiores ocorrências do mineral estão localizadas na Bahia e no Ceará, apresentando ainda importantes jazidas em Minas Gerais e no Paraná.

De todas as fontes térmicas comerciais atualmente disponíveis para a geração de energia elétrica em grande escala, o urânio se destaca por possuir o maior conteúdo energético específico (60.000kWh / Kg), considerando-se as usinas equipadas com reator do tipo PWR (à base de água leve pressurizada) como é o caso de Angra 1 e 2 e, no futuro, de Angra 3.

No Brasil, a grande disponibilidade de urânio como combustível é um dos principais fatores a favor da construção da usina de Angra 3, possibilitando a geração confiável de um tipo de energia ambientalmente limpa, que não libera CO<sub>2</sub> ou quaisquer outros efluentes para a atmosfera.

Outra grande vantagem é a localização estratégica da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, no município de Angra dos Reis, próxima aos grandes centros consumidores: a 220km de São Paulo, 130km do Rio de Janeiro e 350km de Belo Horizonte. Esta característica das usinas nucleares, que podem ser instaladas em regiões circunvizinhas a grandes pólos consumidores. Assim evitam a construção de extensas linhas de transmissão entres os centros de geração e consumo, minimizando a perda de energia na transmissão a longas distâncias.

#### ***Custo da tarifa é competitivo***

Além de contribuir com as necessidades do Sistema Elétrico Nacional para atender ao aumento da demanda, a energia gerada pelas usinas da Central Nuclear de Angra dos Reis possibilita ao Brasil diversificar as fontes de sua matriz energética - estratégia governamental e tendência verificada em todo o mundo -, com maior nível de segurança no fornecimento.

Outro aspecto relevante no tocante à geração nuclear é a competitividade que esta apresenta quando comparada com outras fontes térmicas. No caso de Angra 3, a tarifa balizadora projetada pelo MME – Ministério de Minas e Energia, em dezembro de 2008, era de cerca de R\$ 148,00/MWh, valor próximo dos R\$ 146,00/MWh apresentados pelas usinas térmicas vencedoras do leilão de “energia nova”, realizado pelo governo em setembro de 2008.

### ***Segurança no abastecimento.***

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017, traçado pelo MME prevê Angra 3, a terceira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, similar à Angra 2. A unidade terá uma potência bruta de 1.405 MWe, sendo capaz de gerar cerca de 10,9 milhões de MWh por ano - o equivalente a um terço do consumo do Estado do Rio de Janeiro.

Para atender ao aumento da demanda por energia elétrica, estudos da Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica, o País requer um incremento de geração entre 3.000 MW e 4.000 MW, em média, por ano, até 2015. Angra 3 apresenta plenas condições de começar a operar efetivamente em 6 anos, atendendo às necessidades do Sistema Elétrico Nacional.

### **Novas centrais nucleares**

Em julho de 2008, o Governo Federal criou o Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro. A função do Comitê é fixar diretrizes e metas para o desenvolvimento do Programa e supervisionar sua execução.

Para atender ao **Plano Decenal de Energia - PDE 2007/2016**, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a Usina Angra 3, com capacidade de produzir 1.405 MWe, deverá entrar em operação em 2015, concluindo assim a implantação da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro.

Já o **Plano Nacional de Energia (PNE 2030)** que subsidia o Governo na formulação de sua estratégia para a expansão da oferta de energia até 2030 aponta a necessidade de o sistema elétrico brasileiro ter mais 4.000 MW de origem nuclear até 2025.

O Comitê, então, apresentou a necessidade da construção de mais quatro usinas nucleares com capacidade de 1.000 MW cada, sendo duas no Nordeste e outras duas no Sudeste. Conforme a evolução futura da necessidade de expansão da oferta de eletricidade existe a possibilidade de construção de mais usinas.

Para marcar o início deste processo de expansão do Programa Nuclear, a Eletronuclear inaugurou em agosto de 2009 um escritório em Recife para facilitar o envolvimento com as organizações públicas e regulatórias, requisito fundamental no processo de seleção do sítio da central nuclear do Nordeste.

Em agosto de 2010, a Eletrobras Eletronuclear e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) firmaram um Acordo de Cooperação Técnica para o desenvolvimento de estudos preliminares de seleção de sítios para a instalação de usinas nucleares nas regiões Sudeste, Sul e parte do Centro-Oeste. Os estados pesquisados serão Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul.

Em setembro do mesmo ano, a empresa assinou um Termo de Cooperação com a Secretaria de Assuntos Estratégico (SAE/PR), para dar início ao estudo preliminar de seleção de sítios nucleares na região Norte e Nordeste. Neste estudo serão selecionadas áreas candidatas e sítios potenciais nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia, Tocantins, Mato Grosso, Maranhão, Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Piauí.

### ***Cronograma da Central Nuclear do Nordeste:***

2008: início da seleção de local para a Central Nuclear do Nordeste

2019: início da operação da primeira usina Central Nuclear do Nordeste

2021: início da operação da segunda usina da Central Nuclear do Nordeste

Fontes:

[http://eletronuclear.gov.br/hotsites/angra3/home/index.php?menu=porque&idSecao=99&idCategoria=101&nome\\_menu=Por%20que%20construir%20Angra%203](http://eletronuclear.gov.br/hotsites/angra3/home/index.php?menu=porque&idSecao=99&idCategoria=101&nome_menu=Por%20que%20construir%20Angra%203)? (Adaptado; último acesso 05/07/2012)

<http://cnn.eletronuclear.gov.br/conteudos/visualizar/novas-centrais-nucleares> (Adaptado; último acesso 05/07/2012)

### Texto 3

#### Perspectivas nucleares após desastre em Fukushima

*The Economist Intelligence Unit* 14 de abril de 2011 às 9:19h



Apesar da preocupação com segurança, a energia nuclear parece ser ainda a principal alternativa aos combustíveis fósseis. Foto: Johannes Eisele/AFP

O desastre na Usina Nuclear de Fukushima Daiichi no nordeste do Japão chamou mais uma vez a atenção sobre a segurança da energia nuclear. O desastre irá criar reações em diferentes graus, de critérios mais severos de segurança (que subirão os preços de construção e diminuirão a aprovação de usinas) até mais resistência política e pública para o uso da energia nuclear. Mesmo assim, a energia nuclear aparenta continuar como uma parte significativa do total global de produção energética, uma vez que as alternativas com maior viabilidade fazem com que a dependência em relação a combustíveis fósseis poluentes cresça. A China, em particular, está preparada para expandir sua indústria nuclear de forma massiva na próxima década. Ainda que a escala desses planos não pareça realista, em termos do conjunto global, o crescimento do poder nuclear na China irá, parcial ou integralmente, equivaler aos fechamentos e suspensões de usinas nos outros lugares.

Antes de acontecer o desastre japonês, a energia nuclear parecia prestes a um renascimento cauteloso. O setor é responsável por perto de 14% da geração global de energia. Suas principais vantagens são que esse tipo de usina possibilita uma energia mais barata quando estão construídas e funcionando (tirando os altos custos iniciais) e não produz emissões de carbono. A energia nuclear é atraente também para países altamente dependentes da importação de hidrocarbonetos, e para aqueles com demanda de potência com crescimento acelerado e que não são inteiramente abastecidas com a energia fóssil, apenas. Japão e Coreia do Sul, ambas consumidores entusiastas da energia nuclear, caíram na primeira categoria. Antes do desastre de 11 de março invalidar os reatores de Fukushima Daiichi e forçar o desligamento de tantos outros, o Japão tinha 54 usinas operáveis de acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), atrás somente dos Estados Unidos (com 104) e da França, com 58. Esse tipo de energia foi responsável por 27% do total da energia gerada pelo Japão em 2010. A Coreia do Sul tem menos usinas em operação – 21 no total – mas isso gerou 33% da eletricidade do país ano passado.

A segunda categoria de países para os quais a energia nuclear manteve sua atratividade é daqueles de crescimento e desenvolvimento acelerado como China e Índia. Em ambos, a combinação de fatores, como uma população massiva, crescimento econômico acelerado e uma grande dependência em carvão, fez com que as autoridades encarassem a

energia nuclear como uma maneira de elevar a segurança energética e combater a poluição do ar. O carvão continua sendo o principal combustível em ambos os países, mas reduzir sua parcela na geração de potência surgiu como um elemento-chave para políticas energéticas. Ambos os países tem planos ambiciosos para construção de usinas nas próximas décadas.

Por alguns cálculos, a China deve ter sua capacidade de geração de energia nuclear expandida para 70 gigawatts (gw) em 2020, um crescimento de sete vezes da capacidade atual, e para monstruosos 400 gw em 2050. Outros 27 reatores estão em construção de acordo com dados da AIEA, e, perto de 2020, o país deve ter 75 reatores operando, número bastante superior em relação aos 13 atuais. A Índia, enquanto isso, planeja crescimento de 4,6 gw em 2009 para 40 gw em 2030. O capital político que o governo de Manmohan Singh, primeiro ministro indiano, investiu ao assegurar pacto de cooperação com os EUA em 2008, sublinha a determinação do governo em desenvolver o setor nuclear. A Índia já tem 20 reatores nucleares em operação e o acordo (que abre caminho para o crescimento de negócios atômicos com outros países aprovados) possibilita o acesso da Índia a tecnologias e materiais indispensáveis para seus planos de expansão.

### *Saída global*

O que exatamente os recentes eventos no Japão significarão para a indústria global permanece sem clareza. O esperado era que aumentasse a visibilidade e foco na questão da segurança, mas no mundo em desenvolvimento em particular a necessidade causada pela crescente demanda de energia ultimamente parece superar tais preocupações. A China, por exemplo, foi rápida em fazer simbólicas manifestações sobre a sua necessidade de se aproximar devagar e cuidadosamente da aprovação e construção de suas estações nucleares. The Economist acredita que isso não altera a, acima de tudo expansiva, política chinesa. Um comunicado oficial do Conselho de Eletricidade Chinês anunciou no final de março que a meta de 2020 será abaixada em 10 gw. Como a China irá batalhar para alcançar a meta de qualquer maneira, isso não fará muita diferença. As principais dificuldades da expansão nuclear chinesa são relativas à capacidade técnica, assim como aumentar as reservas de urânio, encontrar engenheiros competentes suficientes e simplesmente administrar um número tão alto de projetos complexos. Os problemas no Japão acabaram fornecendo às autoridades chinesas uma justificativa conveniente para abaixar suas expectativas para um nível mais atingível.

Em outras partes do mundo, o impacto do incidente de Fukushima Daiichi nas perspectivas da indústria nuclear parecem estar misturados. O Japão está, seguramente, na posição mais difícil. Isso não só porque o desastre desligou usinas térmicas e nucleares que significavam uma porcentagem grande da capacidade de geração total. Também foi porque as opções de energia não nuclear são muito limitadas. A habilidade japonesa de produzir sua própria energia será muito diminuída na ausência da produção atômica. Ironicamente, a crise em Fukushima Daiichi pode dificultar politicamente a aprovação para novos reatores que o país precisa, agora mais do que nunca. Maior importação de carvão e óleo, em particular, será necessária para acertar a questão energética até que a situação nuclear se torne mais clara.

A maioria dos grandes usuários da energia nuclear – Estados Unidos, França, Rússia e Reino Unido – estão se agarrando, de diferentes maneiras, com o mesmo problema essencial de possuir reatores velhos que precisam ser substituídos. A extensão de quais precauções com segurança representarão um obstáculo para o processo de melhoramento parece variar. A França anunciou uma revisão da segurança, mas o país seguramente está muito comprometido com a energia nuclear, que representa 77% da geração, para mudar de curso dramaticamente. Também há um consenso antigo de todos partidos políticos em apoiar a energia nuclear. A crise japonesa pode até mesmo ter um efeito de consolidação para a

indústria nuclear francesa, uma vez que mais compradores se disporão a pagar mais pela última geração de reatores, desenhada com mais acessórios de segurança. A Rússia, da mesma forma, parece pouco perturbada pelos eventos de Fukushima. Ela acaba de anunciar um acordo de US\$ 9 bilhões para construir uma usina nova em Belarus e permanece como um destacado apoiador da energia nuclear. A própria Rússia planeja construir pelo menos 14 novas usinas nos próximos 20 anos. Pode parecer contraditório, dadas as grandes reservas de gás e petróleo que o país possui, mas o crescimento da participação da energia nuclear no total da eletricidade de 16% para 20% irá livrar o país para exportar mais combustíveis fósseis.

A oposição à geração nuclear de energia irá, de toda forma, crescer em muitos países, sobretudo no Oeste. Campanhas anti-nucleares utilizaram o incidente de Fukushima Daiichi como ilustração dos perigos da energia nuclear. A Alemanha, que possui um movimento ambiental forte, respondeu ao desastre no Japão suspendendo prontamente a operação de sete reatores. A Alemanha está tentando tornar-se mais aberta à energia nuclear novamente, mas planos para estender a vida operacional dos reatores mais velhos estão estagnados. Isso suscita questões sobre como a habilidade futura do país para alcançar as metas da União Européia de emissão de carbono – recentemente negociadas com grande esforço – e por extensão a credibilidade de toda estrutura de emissões da UE.

Atritios naturais também serão fatores-chave. De acordo com cálculos da The Economist, a Alemanha e o Reino Unido são os dois países que verão o maior declínio no número de reatores nucleares entre agora e 2020, incluindo a desativação de reatores mais velhos. Em 2023, apenas um entre os 19 reatores do Reino Unido existentes deverá estar funcionando. O último governo trabalhador da Inglaterra aprovou uma nova geração de usinas nucleares, mas ninguém sabe se politicamente será viável seguir com esse plano. O governo dos Estados Unidos, da mesma forma, sob a presidência de Barack Obama, se tornou apoiador da energia nuclear como forma alternativa dos combustíveis fósseis. Mas assim como na Inglaterra, a construção das usinas ocorreu há muitas décadas e há muitos anos não ocorre essencialmente nada de novo. Isso reflete tanto o prolongado processo de aprovação e (relativa) a dificuldade em encontrar financiamento seguro para projetos nucleares. Não menos importante, com mais de 100 reatores que representam 30% da energia nuclear gerada em 2010, o Estados Unidos permanece como o maior protagonista da indústria.

#### *Rebalanceando*

A resistência pública e política para a construção de novas usinas, ou a extensão das licenças de operação das usinas existentes, se prova significativamente forte como um resultado dos recentes eventos no Japão e, pelos nosso cálculos, o rebalanceamento parcial da capacidade nuclear do mundo em relação aos países em desenvolvimento que já era esperado, deve acelerar. Em 2010, segundo nossas estimativas, China e Índia juntas significaram 3,5% da geração de energia nuclear. Em nossas mais recentes projeções, esse valor pode subir para 13,6% em 2020.

Em geral, preocupações intensas sobre a segurança nuclear parecem ser deixadas para a revisão de estruturas reguladoras e no interesse crescente por outras fontes. Ambos são problemáticos. Regras de segurança nuclear mais rígidas – necessárias em muitos casos que enfrentam pouca transparência na regulação e fraca separação entre os reguladores e industriais – se somam aos altos custos iniciais e no longo tempo envolvido na construção de novas usinas. Isso pode enfraquecer a viabilidade econômica da energia nuclear. As alternativas incluem um melhor uso do gás natural, combustíveis fósseis não convencionais e renováveis. Mas o gás, ainda que mais barato e abundante do que o carvão e o petróleo, pode significar problemas em termos de emissão de carbono se ele substituir toda geração nuclear. O interesse em renováveis parece crescer, mas há limites para sua escalada. A não ser que

essa imagem mude dramaticamente, qualquer abandono da energia nuclear irá criar mais problemas que soluções.

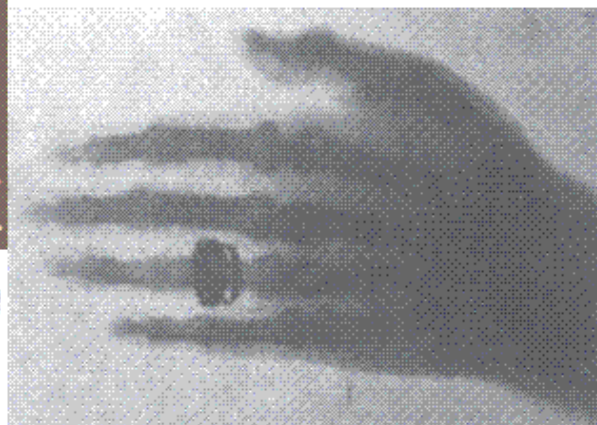
Fonte: <http://www.cartacapital.com.br/internacional/perspectivas-nucleares-apos-desastre-em-fukushima/> (Adaptado; último acesso 05/07/2012)

# Texto 4

HISTÓRIA  
da  
QUÍMICA

## Raios X e Radioatividade

Attico Chassot



Primeira radiografia realizada no mundo, mostrando a mão de uma senhora de 79 anos. Note o anel no dedo anular.

A seção “História da química” traz artigos sobre a história da construção do conhecimento científico. Em nosso primeiro encontro, quando falamos da história da ciência e, mais particularmente, da história da química, buscamos mostrar o quanto estava distante o início de nossa caminhada. Hoje vamos comentar duas descobertas muito próximas: os raios X e a radioatividade, mistérios que fizeram revelações no ocaso do século passado.

► raios X, radioatividade, Becquerel, Röntgen, ciência no final do século XIX ◀

19

Em “Alquimiando a química” (QNE, nº 1, 1995), referi-me que poderíamos considerar entre as primeiras conquistas da física a descoberta de um ancestral nosso (talvez ainda mais próximo do macaco do que o homem) ao verificar que com uma vara poderia alcançar um fruto mais alto em uma árvore. Vimos que, muito provavelmente, as primeiras descobertas da química relacionam-se à conservação de alimentos; à extração, produção e tratamento de metais; à produção de pomadas, óleos aromáticos e venenos; a técnicas de mumificação; à produção de esmalte e corantes. O fantástico domínio do fogo, entre muitas alternativas, ofereceu oportunidades para o fabrico de utensílios de cerâmica, vidro, porcelana e metal e para a produção de materiais de construção, como argamassa, tijolos, ladrilhos.

Vamos nos deter, aqui, em tempos menos remotos, um tempo de magníficas descobertas de que não somos apenas espectadores. Com nossos alunos, somos participantes das

transformações que modificam nosso mundo. É recomendável que nós — professoras e professores de química — colaborem para que estas modificações visem uma melhoria de vida.

Uma sugestão importante é que mostremos a nossos alunos o quanto é importante seu papel nos avanços da ciência nos dias atuais. É recomendável olhar com eles as modificações que a ciência faz a cada dia em nosso mundo. Se há dois anos vocês vissem alguém falando em um telefone celular, provavelmente o olhariam

com desconfiança, e se há cinco anos alguém lhes contasse que uma mensagem, com desenhos e fotografias, poderia ser mandada quase instantaneamente por fax para o Japão, talvez dissessem se tratar de ficção científica. Ou se alguém, há dez anos, lhes mostrasse um CD e dissesse que o mesmo continha mais músicas e com melhor qualidade de reprodução que

um enorme disco de vinil, isso seria quase incrível, como ainda nos parece impossível que apenas um CD possa conter mais informações (e com muito mais recursos visuais e sonoros) que uma enciclopédia de dezenas de volumes.

**O que pensar se há dez anos atrás nos mostrassem um CD dizendo que ele poderia conter uma enciclopédia com dezenas de volumes? Sugira aos alunos imaginarem como será o mundo do futuro**

Talvez seja importante mostrar que quando seus alunos nasceram o fato de serem meninas ou meninos já não era surpresa para aqueles que os esperavam, mas quando os pais deles nasceram os avós ficaram sabendo o sexo do filho

ou da filha no dia do nascimento... Quando e como tudo isso aconteceu? Uma sugestão importante é que nossos alunos perguntem aos pais ou avós como era o mundo em que eles viviam quando tinham a idade deles — por exemplo, como eram feitos os diagnósticos médicos quando ainda não eram usados os raios X. Com isso, poderão entender um pouco como



Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923)

acontecem essas modificações, tão constantes a menos de 50 meses do ano 2000. Sugira a seus alunos que procurem imaginar como será o mundo do futuro.

Esta véspera de um novo século e de um novo milênio nos enseja perguntas: Como foram os tempos que antecederam a última virada de século? Que descobertas ocorreram então? Vocês sabem, por exemplo, que há cem anos não havia aviões, e que mesmo os automóveis eram vistos com espanto, pois era inconcebível uma caruagem que andasse com a inacreditável velocidade de 20 km por hora e ainda por cima sem nenhum cavá-lo a puxá-la? Há um século, praticamente não havia telefones e a principal forma de

comunicação era o correio, tanto dentro das cidades como entre lugares distantes. Por exemplo: Paris tinha um sistema bastante rápido de correio pneumático: uma rede de tubos em que as cartas eram impulsionadas por ar comprimido. Então, as ruas eram iluminadas a gás, pois a eletricidade mal começava a ser usada.

As descobertas dos raios X e da radioatividade foram acontecimentos que marcaram o ocaso do século passado. Neste texto vamos oferecer alguns subsídios sobre essas duas grandes descobertas — ocorridas há cem anos, mas ainda significativas para nós —, para que vocês possam recordar esses dois centenários em suas aulas.

Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) espantou o mundo ao anunciar, no final de 1895, a descoberta de "um novo tipo de raio" e demonstrar que com esses raios se podia 'ver' dentro do corpo humano. Henri Becquerel acreditou inicialmente serem os raios descobertos por Röntgen os que percebia nos sais de urânio que estudava, mas em 9 de março de 1896 anunciava a descoberta de novas radiações.

Röntgen, na noite de 8 de novembro de 1895, trabalhava com uma válvula com a qual estudava a condutividade de gases<sup>1</sup>. A sala estava totalmente às escuras. A

certa distância da válvula havia uma folha de papel, usada como tela, tratada com platinocianeto de bário. Röntgen viu, com espanto, a tela

brilhar, emitindo luz. A válvula estava coberta por uma cartolina negra, e nenhuma luz ou raio catódico poderia ter vindo dela. Surpreso, fez várias investigações. Virou a tela, expondo o lado sem o revestimento de platino-cianeto de bário, e esta continuava a brilhar. Colocando diversos objetos entre a válvula e a tela, viu que todos pareciam transparentes. Não demorou a ter a surpresa maior: viu na tela os ossos de sua mão.

**Raio-X é radiação eletromagnética com comprimento de onda no intervalo de  $10^{-11}$  a  $10^{-8}$  m (0,1 a 100 Å), resultante da colisão de elétrons produzidos em um catodo aquecido contra elétrons de anodo metálico**

Intrigado com sua descoberta, Röntgen trabalhava sozinho, fazendo novas investigações. Sua mulher notou suas inquietações e ele lhe disse apenas que trabalhava em algo importante, mas confessava-se incrédulo e precisava convencer-se de sua descoberta. Registrou em chapas fotográficas suas observações, e só então teve certeza do que estava descobrindo. Anunciou que, com sua descoberta, se poderia pela primeira vez ver *dentro* do corpo humano sem precisar abri-lo. É fácil imaginar a surpresa de muitos, pois ainda havia quem desaconselhasse certas cirurgias porque o bisturi poderia cortar a alma.

Em 28 de dezembro de 1895, Röntgen entregou à Sociedade Físico-Médica de Würzburg, Alemanha, um relatório preliminar de sua descoberta, descrevendo as pesquisas 'secretas' que fizera nas sete semanas anteriores: os objetos tornavam-se transparentes diante dos novos raios, que por serem desconhecidos chamou de raios X. As chapas fotográficas eram sensíveis aos raios X; não se podia ver qualquer reflexo ou refração dignos de nota ao se desviá-los com um campo

magnético. Os raios X se originavam na área da ampola de descarga onde os raios catódicos colidem com a parede de vidro.

Em janeiro de 1896, era enorme a comoção em todo o mundo com a notícia da descoberta dos raios X. É fácil imaginar o deslumbramento com a novidade, pois esses raios tornavam quase tudo transparente, e com eles se podiam ver os próprios ossos. Podiam-se ver os dedos sem os músculos, mas com anéis, ou uma bala que estivesse alojada no corpo. A medicina debruçou-se de imediato sobre as possibilidades da descoberta. Podemos avaliar as repercussões disso num momento em que se começava a buscar explicações sobre a natureza da matéria.

Em 23 de janeiro, Röntgen fez seu único pronunciamento público sobre a descoberta e foi aplaudidíssimo. Físicos e estudiosos ligados à medicina começaram a investigar os novos raios. No ano de 1896 já havia mais de mil trabalhos publicados sobre o assunto, mas por pelo menos 16 anos não houve dados convincentes para se explicar a natureza dos raios X. Por fim, os trabalhos de Max von Laue e de Friedrich e Knipping esclareceram que os raios misteriosos eram resultado da colisão de raios catódicos (elétrons) contra os elétrons do cátodo.

Atualmente, são considerados raios X as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda no intervalo aproximado de  $10^{-11}$  a  $10^{-8}$  m (0,1 a 100 Å), resultantes da colisão de elétrons produzidos em um cátodo aquecido (ocorre uma emissão termoiônica) contra elétrons de um ânodo metálico. Ao contrário, portanto, das radiações, originadas nos núcleos atômicos, com as quais se assemelham em intensidade, os raios X têm origem extra-nuclear.

Em 1901, Röntgen foi laureado com o primeiro Prêmio Nobel de Física. Em 1914, assinou com outros cientistas alemães um documento de solidariedade a uma Alemanha belicista.

Posteriormente, arrependeu-se muito por esta adesão ao militarismo, sofrendo com o envolvimento de seu país na Primeira Guerra Mundial. Faleceu em Munique, em 10 de fevereiro de 1923, com 78 anos.

Uma outra descoberta revolucionária as concepções sobre a natureza da matéria: a radioatividade. Entre os cientistas que se surpreenderam com as descobertas de Röntgen estava o matemático francês Henri Poincaré. Em 20 de janeiro de 1896, ele mostrava a seus colegas da Academia de Ciências da França as fotografias que Röntgen lhe enviara. Um deles, Henri Becquerel, perguntou-lhe de que parte da válvula emergiam os raios, e Poincaré respondeu que estes provavelmente eram emitidos da área da válvula oposta ao cátodo, a área em que o vidro se tornava fluorescente. Becquerel imediatamente procurou uma relação entre raios X e fluorescência, e já no dia seguinte iniciou suas próprias experiências a respeito.

Membro de uma família de quatro gerações de físicos de renome, Henri Becquerel tinha interesse pela fluorescência e pela fluorescência, e a descoberta de Röntgen o levou a fazer observações para verificar se substâncias fosfores-

centes ou fluorescentes emitiam raios X. Os primeiros resultados foram negativos.

Eis parte do relatório (SEGRÉ, 1987, p. 29) que ele fez à Academia em 24 de fevereiro de 1896, após experiências com um sal de urânio:

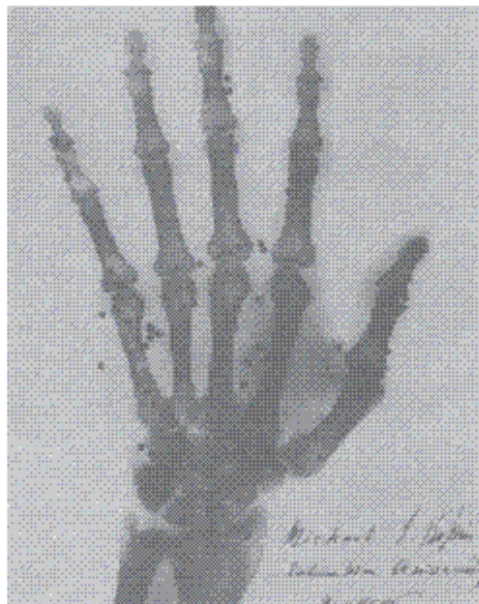
"Cobri uma chapa fotográfica com duas folhas de papel negro grosso, tão grosso que a chapa não ficou manchada ao ser exposta ao sol um dia inteiro. Coloquei sobre o papel uma camada de substância fosforescente e expus tudo ao sol por várias horas. Quando revelei a cha-

pa fotográfica, percebi a silhueta da substância fosforescente sobre o negativo... A mesma experiência pode ser feita com uma lâmina de vidro fina colocada entre a substância fosforescente e o papel, o que exclui a possibilidade de uma ação química resultante dos vapores que poderiam emanar da substância quando aquecida pelos raios solares. Portanto, podemos concluir dessas experiências que a substância fosforescente em questão emite radiações que penetram no papel opaco à luz..."

Era como se os raios X fossem emitidos pelo composto de urânio. Quando a Academia voltou a se reunir, em 2 de março, Becquerel já tinha outros resultados. Como o tempo mudara em Paris e nos dias 26 e 27 de fevereiro houvesse muito pouco sol, ele colocou as chapas fotográficas em um gaveta escura, deixando sobre elas o sal de urânio, envolto em papel. Extraída da mesma fonte antes citada, eis aqui uma parte de seu relatório à Academia:



Antoine Henri Becquerel



22

Apenas um mês após Roentgen tirar a primeira radiografia, o professor Michael I. Pupin, da Universidade de Columbia, radiografou a mão de um caçador que sofrera um acidente com sua espingarda. As bolinhas negras representam cerca de 40 pedaços de chumbo que estavam ali alojadas.

o panorama da ciência na última virada do século. Primeiro, pesquisaram os 'raios de Becquerel' em outros elementos além do urânio, descobrindo então o polônio e o rádio, modificando completamente a nova ciência da radioatividade. As descobertas mostraram que, diferente dos raios X, as radiações descobertas por Becquerel eram de origem nuclear. As descobertas de Becquerel — evidenciando que alguns átomos eram instáveis e emitiam diferentes partículas e radiações — exigiram, então, novas propostas de modelos para os átomos, que não mais podiam ser considerados indivi-

veis.

Essas grandes modificações que ocorreram e ainda ocorrem na ciência provavelmente serão assunto para outros números de *Química Nova na Escola*.

**Attico I. Chassot**, licenciado em química e doutor em educação, é professor do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) - São Leopoldo, RS.

### Nota

1. A descoberta do elétron — assunto que será abordado no número 3 de QNE — e muitos outros estudos do final do século passado estão relacionados com esse terceiro tipo de condutor de eletricidade (os outros são os metais e as soluções eletrolíticas). Para estudar esse tipo de condução elétrica construíam-se tubos de vidro com pressões muito baixas, próximas ao vácuo (pressão inferior à pressão atmosférica) e depois se estabeleciam diferenças de potenciais entre eletrodos para verificar a condução da corrente elétrica pelos gases dos tubos, nas diferentes condições de baixas pressões.

"Como o sol não voltou a aparecer durante vários dias, revelei as chapas fotográficas a 1ª de março, na expectativa de encontrar imagens muito deficientes. Ocorreu o oposto: as silhuetas apareceram com grande nitidez. Pensei imediatamente que a ação poderia ocorrer no escuro."

Este é um relato em que o acaso e a perspicácia foram decisivos. Becquerel creditou méritos dessa descoberta a seu pai e a seu avô, que trabalharam com o mesmo assunto. Mas ele, no momento propício, fez uma descoberta muito importante, que não teve a princípio, no entanto, a repercussão do trabalho de Röntgen. Já em 9 de março de 1896, Becquerel descobriu que a radiação emitida pelo urânio não apenas escurecia as chapas fotográficas, mas também ionizava gases, transformando-os em condutores.

Dois anos depois da descoberta de Becquerel, Pierre e Marie Curie entram em cena nos eventos que modificaram

### Referência bibliográfica

SEGRÉ, Emilio. Dos raios X aos quarks. *Físicos modernos e suas descobertas*. Brasília: Editora da UnB, 1987.

### Para saber mais

❑ O livro de Emilio Segré — Prêmio Nobel de Física em 1959 — acima referido traça um agradável panorama da ciência no final do século XIX, mostrando o quanto, por exemplo, as descobertas dos raios X e da radioatividade determinaram alterações na física que atingiram de imediato a biologia (e nesta, a genética em particular), a geologia, a medicina e a química.

❑ O capítulo 10 de *A ciência através dos tempos*, de Attico Chassot — resenhado no nº 1 de QNE —, trata das modificações havidas na ciência por ocasião da última virada de século e complementa o texto acima. Nesse capítulo, apresenta um pouco da biografia de Pierre e Marie Curie.

❑ Uma recomendação para quem quiser conhecer uma história marcada pelo amor entre marido e mulher e pelo amor à ciência: é conhecer um pouco

mais a biografia de Pierre e Marie Curie. Entre as várias biografias do casal Curie existe uma escrita por uma das filhas do casal, Eva Curie — a outra, Irene, casou-se com Frederic Joliot, com quem ganhou o Prêmio Nobel de Química em 1935 —, publicada pela Biblioteca de Seleções em 1962. Existe também um excelente filme, que tem passado nos canais por assinatura: *Madame Curie* (USA, 1944, 117 min).

❑ Sugira a seus alunos e alunas pesquisar sobre a contribuição do brasileiro Manuel Abreu para a radiologia e qual a importância da abreugrafia.

❑ Outra sugestão é procurar conhecer, também, quais são os perigos provocados pelas radiações, tanto as dos raios X quanto as emitidas por substâncias radioativas. Organize em sala de aula uma discussão sobre os cuidados que se deve ter com as radiações e particularmente com os raios X. Convide um profissional da área de radiologia para discutir esses assuntos em classe, mostrando também os cuidados que se deve ter com as radiações produzidas pelos aparelhos de televisão.

## Texto 5

### HISTÓRIA DA QUÍMICA



Rodrigo da Silva Lima, Luiz Cláudio Ferreira Pimentel e Júlio Carlos Afonso

Este trabalho apresenta um resumo do impacto da radioatividade na vida cotidiana no início do século XX. O rádio foi considerado uma fantástica fonte de energia e de cura de doenças, tendo papel central no início da história da radioatividade. Muitos produtos com radioatividade adicionada e práticas médicas a envolvendo foram lançados. Decorridos cerca de 30 anos após a descoberta da radioatividade, a visão do ser humano acerca desta já era bastante diferente daquela do início do século XX.

► radioatividade, rádio, produtos com radioatividade adicionada ◀

► Recebido em 02/12/09, aceito em 14/02/2011 ◀

93

Os últimos anos do século XIX e os primeiros do XX foram marcados pela descoberta dos raios-x e da radioatividade, que viriam a revolucionar as teorias atômicas. Tais descobertas também estimularam desde aquela época inúmeras pesquisas, visando não só entender aqueles novos fenômenos como também propor aplicações destes.

Os primeiros relatos sobre a radioatividade, devidos a Antoine-Henri Becquerel<sup>1</sup> (1852-1908), foram feitos apenas alguns meses após a divulgação da existência dos raios-x, feita por Wilhem Conrad Roentgen<sup>1</sup> (1845-1923). A população e a mídia podiam perceber de imediato os efeitos desses últimos. Por exemplo, eles permitiam a visão interior do corpo humano por meio das radiografias, causando um impacto maior que a radioatividade, que não podia ser vista pelas pessoas.

Os trabalhos do casal Curie tiveram crucial importância na mudança de rumo que tomaria a radioatividade. A partir das primeiras observações de

Marie Curie (1867-1934)<sup>1</sup>, em abril de 1898, quando constatou que havia algum componente mais ativo que o urânio em seus minerais naturais, o casal isolou o rádio em 1902, após três anos de trabalhos exaustivos (Hahn, 1950). Em 1903, Pierre Curie (1859-1906)<sup>1</sup> e Albert Laborde (1878-1968) publicaram uma nota, citando que o rádio estava sempre em temperatura maior que a do ambiente que o circundava. Ernest Rutherford<sup>1</sup> (1871-1937) e seu assistente Howard T. Barnes (1873-1950) notaram que a energia cinética das partículas  $\alpha$  oriundas da desintegração do rádio era convertida em energia térmica após as colisões (Rutherford, 1905). Essa fonte de calor era uma novidade no meio científico (Hahn, 1950).

O impacto da descoberta do rádio e dos primeiros relatos sobre a natureza da radioatividade pode ser atestado pela concessão de diversos prêmios Nobel aos pioneiros que os estudaram<sup>2</sup>. Este trabalho mostra como a sociedade daquela época recebeu as notícias acerca da radioatividade

e seus desdobramentos e a relação entre as pessoas e o emprego do novo fenômeno.

#### A repercussão do rádio

Frederick Soddy (1877-1956), que realizou importantes pesquisas sobre as substâncias radioativas e a natureza dos isótopos, afirmava em diversas conferências proferidas ao longo de 1908 que "a energia liberada na desintegração do rádio é quase que um milhão de vezes maior do que aquela obtida por uma mesma massa de matéria submetida a qualquer uma das transformações conhecidas anteriormente à descoberta da radioatividade" (Soddy, 1909). Isso levou a uma onda desenfreada de entusiasmo e de esperança acerca desse elemento como a energia do futuro: iluminação, combustível para mover as máquinas das indústrias e a nascente frota automobilística e aquecimento eram exemplos de aplicações imaginadas para o rádio (Tilden, 1926). A divulgação da descoberta do rádio e de suas propriedades (as manchetes relativas a ele geralmente ocupavam a página de rosto dos jornais, tal como já ocorrera com os raios-x anos antes) fez com que

Esta seção contempla a história da Química como parte da história da ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído.

as pessoas, já fascinadas quando do surgimento dos raios-x, passassem a vê-la como um novo e encantador fenômeno (Frame e Kolb, 1989). Os jovens eram particularmente envolvidos por aquela sensacional era da ciência, que não conhecera precedentes no século XIX (Cramp, 1936). Viviam-se então a *belle époque* na Europa, onde a ciência ocupava lugar de destaque: as novas invenções ou aquelas que se popularizaram (telefone, cinema, automóvel, avião, rádio etc.) revolucionavam o modo de ver, pensar e viver o cotidiano. Uma palavra sintetiza bem aquele novo e vigoroso estado de espírito: o progresso. Comentar sobre um novo fenômeno, para o qual não se tinha nenhum termo de comparação, suscitava a imaginação popular (Frame e Kolb, 1989). A sociedade norte-americana também foi extremamente receptiva às últimas novidades envolvendo a radioatividade, até mesmo se dizia que “o rádio é aceito pelo corpo humano assim como a luz solar pelas plantas” (Tilden, 1926). Tudo isso explica o papel dominante desse elemento na fase inicial da história da radioatividade.

Como a radioatividade era um fenômeno diverso daqueles já descritos pela ciência, especulava-se que ela seria capaz de prover respostas a questões aparentemente insolúveis. Chegou-se a atribuir ao rádio poderes como a capacidade de ser o responsável pela geração da vida, curar doenças tidas como irreversíveis e ainda embelezar a pele (Figura 1)<sup>3</sup>. Os jornais onde eram veiculadas tais notícias iam desde os de circulação local até os de expressão nacional<sup>3</sup>.

A partir de cerca de 1910, começaram a circular revistas e informativos científicos na Europa e nos Estados Unidos destinados particularmente

a jovens. Nessas publicações, os grandes feitos com base no progresso científico eram explicados em detalhe e em linguagem acessível a esse público-alvo<sup>4</sup>. A radioatividade ocupava espaço privilegiado em muitas de suas edições, tendo como foco o rádio e suas aplicações comerciais da época (medicina e manufatura de tintas luminosas) e possíveis novos usos (por exemplo, fonte de energia e combustível). A linguagem sempre buscava envolver o leitor, entusiasmando-o com o bem-estar promovido pelas descobertas da ciência.

Em 1904, em Los Angeles, um jornal local publicava em sua 1ª página: “Um empresário apareceu em Los Angeles com certificados de minas com a garantia de produção do novo metal [rádio] que simplesmente eletrizou o mundo deste início de século, e parece valer a soma inacreditavelmente fabulosa de US\$ 2.000.000,00 o grama!”<sup>5</sup>. Para a exploração das minas, era preciso recrutar muita mão-de-obra, atraída por promessas de ganhos fáceis e um futuro tranquilo. Os anúncios de recrutamento de mineiros realçavam o rádio como o “elemento do futuro”.

A primeira planta industrial para a produção de rádio data de 1906, em Joachimsthal, região da Boêmia, então parte integrante do Império Austro-Húngaro, e o processo de extração era baseado no método desenvolvido pelo casal Curie. A segunda planta europeia iniciou suas atividades na França em 1907, e a terceira, nos Estados Unidos em 1914 (Vdovenko et al., 1975).

#### Produtos com radioatividade adicionada

O grande interesse suscitado pela radioatividade levou ao aparecimento de “teorias” que visavam justificar a

aplicação de terapias e a oferta dos mais diversos produtos com radioatividade adicionada, prometendo ao consumidor a satisfação de “haurir proveito da nova maravilha da ciência” (Hering, 1924). As aplicações se baseavam nos efeitos fisiológicos dos materiais radioativos ou se valiam dos efeitos terapêuticos (como no tratamento dos tumores). Talvez a maneira que mais simbolizou essa prática eram os anúncios entusiásticos sobre a eficácia terapêutica do rádio, qualificando-o como uma “solução mágica da medicina” (Chase, 1921) com inacreditáveis poderes curativos, capaz de “restaurar a saúde a milhares de pessoas” (Bardwell, 1926). Trata-se de um dos grandes fenômenos mercadológicos das três primeiras décadas do século XX na Europa e nos Estados Unidos (Frame e Kolb, 1989).

#### Águas radioativas

Em 1903, Joseph John Thompson (1856-1940) escreveu um artigo na revista *Nature*, relatando a presença de radioatividade em águas minerais medicinais (Frame, 1989). Essa radioatividade provinha do radônio, gerado pela decomposição do rádio presente nas rochas por onde a água passava: “O radônio estava para a água assim como o oxigênio para o ar” (Perrin, 1921). Spas e centros de tratamento foram construídos para atender especialmente a idosos e doentes.

Nem todos dispunham de tempo e de dinheiro para ir a esses locais, mas a água engarrafada nas fontes perdia logo as “propriedades terapêuticas”, pois ou o radônio escapava da água ou logo se desintegrava (o isótopo  $^{222}\text{Rn}$  tem a meia-vida mais longa: 3,823 dias). Como resolver esse impasse? A solução foi oferecer água adicionada de radioatividade, capaz de manter um “suprimento constante” de radônio a ela. Assim, nas duas primeiras décadas do século XX, houve uma profusão de propagandas de água radioativa com o intuito de “fazer a pessoa se sentir bem em caso de doença e evitar que fique doente caso esteja bem de saúde” (Bardwell, 1926).

Talhas e filtros continham minerais radioativos que “carregavam” a água com radioatividade. A justificativa para

### 1. SECRET OF SEX FOUND IN RADIUM 2. RADIUM MAKES BLIND GIRL SEE 3. RADIUM AND X-RAY USED TO BEAUTIFY

Figura 1: Reproduções de manchetes de jornal (1903) que atribuíam ao rádio poderes como gerar vida, devolver a visão a uma pessoa cega ou promover embelezamento da pele. Adaptados de William J. Hammer Collection, Archives Center, National Museum of American History, Behring Center, Smithsonian Institution.

tal procedimento era que a água de consumo humano era “desnaturada” pela falta de um componente essencial a ela: a radioatividade, eliminada durante o tratamento da água (Hering, 1924). A propaganda de um famoso produto desse tipo dizia: “Mais doenças são causadas pelo consumo de água imprópria, mais do que por qualquer outra razão, e basicamente porque a água para consumo perdeu toda a radioatividade original”. Assim, esses produtos pretendiam restaurar o “vigor natural da água pelo acréscimo do gás do vigor [radônio]<sup>6</sup> ou do elemento do vigor [rádio]<sup>6</sup>, tão necessário quanto o oxigênio e o hidrogênio que constituem a água” (Chase, 1921). Os benefícios aclamados eram: aumento do número de hemácias, eliminação de venenos do sangue e uma melhor digestão dos alimentos (Macklis, 1990).

#### Produtos de beleza

A beleza feminina foi um grande mercado para a radioatividade como exemplificado numa propaganda de um jornal de época, destinada às mulheres ávidas por beleza permanente<sup>7</sup> (Figura 2). Em toda a linha de produtos – cremes, sabões, xampus, compressas, sais de banho... – garantia-se a presença de rádio autêntico e legítimo: “a maior ajuda da natureza para a beleza da mulher”. Esses produtos tinham a propriedade de “rejuvenescer e revitalizar a pele”. A propaganda do *Radior* garantia reembolso de US\$ 5.000,00 para as consumidoras insatisfeitas com o produto (Bardwell, 1926). Havia tratamentos faciais para eliminação de rugas, acne, cravos, branqueamento da pele... a preços normalmente elevados, o que restringia seu amplo uso pela população (Hering, 1924).

#### Produtos médico-farmacêuticos

Esses produtos refletem o desejo constante da humanidade em encontrar a cura ou a prevenção definitiva de inúmeras enfermidades. O conjunto desses produtos era conhecido como a “terapia suave do rádio”, pois não teria efeitos colaterais (Frame, 1989).

Nos anos 1920, foram muito comuns propagandas de compressas e almofadas radioativas (Figura 3) destinadas ao tratamento de artrite,



Figura 2: “Radio e Beleza”, propaganda de produtos radioativos de beleza para mulheres, prometendo felicidade e satisfação às consumidoras. Reproduzido sob permissão de Duke University, copyright ©1918

neurite, asma, bronquite, insônia... Esses produtos ainda tinham a característica de permitir “que as propriedades curativas do rádio estejam ao alcance de todos” dado o baixo preço destes (Tilden 1926). Alguns fabricantes recomendavam que o produto fosse exposto ao sol por alguns minutos para “ativar suas propriedades terapêuticas” (Cramp, 1936).

Tônicos e revigorantes destinavam-se a manter ou recuperar os vigores

físico, mental e sexual. Lançado em 1925 nos Estados Unidos, *Radithor* continha 2 mCi (74 kBq) dos isótopos <sup>226</sup>Ra e <sup>228</sup>Ra. Ele era prescrito contra nada menos do que 150 enfermidades endocrinológicas (Cramp, 1936). O slogan era “a cura para os mortos-vivos”. Calcula-se que cerca de 400.000 frascos foram vendidos entre 1925 e 1931 (Frame e Kolb, 1989). Nos final dos anos 1920, surgiu o *Vita Radium*, supositório destinado a combater a fraqueza de memória e a impotência sexual masculina<sup>8</sup> (Figura 4). A duração do tratamento era de 15 dias. Na bula, afirmava-se que, em até três dias, o rádio seria eliminado do corpo. A propaganda veiculada desse produto realçava os efeitos sobre o desempenho geral do consumidor.

A Tabela 1 mostra outros exemplos de produtos com radioatividade adicionada. Havia até propostas curiosas como a de fazendeiros norte-americanos que, com base na liberação de calor pelo rádio, propuseram que se misturassem seus sais com ração para galinhas a fim de gerar ovos que incubassem ou mesmo fritassem por



Figura 3: Compressa radioativa “Cosmos Radioactive Pad” (1928). Reproduzido sob permissão de Oak Ridge Associated Universities, copyright ©1998



"Oh pobres homens fracassados  
Imprestáveis para as alegrias da vida,  
Seus problemas acabaram,  
Vita Radium é a solução!"  
"O homem está num mau caminho caso  
esteja satisfeito em viver sem os prazeres  
que lhe são de direito!... Experimente-o e  
veja que bons resultados obterá!"

Figura 4: Supositório "Vita Radium" (ca. 1930), e suas propagandas associadas. Reproduzido sob permissão de Oak Ridge Associated Universities, copyright ©1998

eles mesmos (Frame e Kolb, 1989).

#### Produtos fraudulentos

Era comum que muitos anúncios enfatizassem que os produtos continham "níveis de radioatividade garantidos" (Frame e Kolb, 1989; Vdovenko et al., 1975). Na prática, nem sempre foi assim. Por exemplo, por volta de 1905, surgiu um produto que pretendia combater reumatismo, lumbago, dor de dente, garganta inflamada, dor de ouvido e outras trinta enfermidades: o *Radium Radia*<sup>9</sup> (Figura 5). Seus slogans eram "nunca jamais falhou" e "é

o maior vencedor da dor em todo o mundo". As análises mostraram que não havia radioatividade alguma nele. O caso escandalizou a opinião pública norte-americana. Esse produto foi lançado antes de o rádio começar a ser produzido nos Estados Unidos (1914) e na Europa (1906).

As águas radioativas eram os produtos mais fraudados pela facilidade de prepará-las. Outros produtos bastante visados eram as compressas e almofadas radioativas (Cramp, 1936). No início dos anos 1910, empresas foram fechadas nos Estados Unidos por essa prática (Frame e Kolb, 1989). Muitos donos dessas empresas foram presos (Tilden 1926), outros desmascarados (Hering, 1924) e agredidos por consumidores revoltados (Frame, 1989).

Nos anos 1920, era comum a oferta de produtos com níveis de radioatividade maiores do que aqueles vendidos legalmente sob o argumento de que teriam um efeito mais rápido sobre o usuário (Cramp, 1936). Isso era o caso de tônicos como o *Radithor*. Os fabricantes desses produtos estavam sujeitos a receber doses elevadas de radiação (Harvie, 1999).



Figura 5: "Radium Radia" (1905), água contendo radioatividade adicionada. Contudo, tratava-se de uma fraude. Reproduzido sob permissão de Oak Ridge Associated Universities, copyright ©1998

#### O perigo oculto da radioatividade

No início do século XX, a publicação na mídia das novas descobertas incentivava práticas médicas e a oferta de produtos contendo material radioativo (Vdovenko et al., 1975). Com a utilização repetida da radiação por médicos e cientistas, os efeitos observados foram irritações e descamações cutâneas, queimaduras, cegueira e até mesmo formas cancerosas (Frame, 1989). O desejo de resultados imediatos (como acontecia com os raios-x) sobrepujava eventuais efeitos adversos com o tempo (Hoffman, 1925). É curioso que, dentre tantas notícias entusiásticas sobre o rádio e a radioatividade, há uma reportagem<sup>10</sup>, publicada em 1903, na qual Thomas Alva Edison (1847-1931) tinha uma opinião diferente sobre esta. Ele afirmava que, a despeito dos resultados positivos obtidos com a radiação, devido também ao aparecimento de relatos acerca de seus efeitos indesejáveis, ele criticava "o culto ao rádio e à infame radioatividade". Naquela época, a série de descobertas científicas passava a imagem para grande parte da população de que elas somente trariam benefícios à humanidade (Cramp, 1936). Em geral, os pesquisadores encaravam os efeitos colaterais devidos à radioatividade como acidentes (Tilden, 1926; Frame, 1989).

O acúmulo de relatos se intensificou após o fim da I Guerra Mundial, e o emprego do rádio em produtos com radioatividade adicionada atingiu o ápice na década de 1920 (Macklis, 1990).

Tabela 1: Produtos com radioatividade adicionada e suas finalidades

| Produto                                          | Emprego                                                                                                     |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coquetel fluorescente para bailes e festas       | Impressionar os convidados com os efeitos luminosos                                                         |
| Pasta de dentes                                  | Combater queda prematura de dentes, cáries, ativar a digestão bucal e tornar o esmalte brilhante e luminoso |
| Roleta de cassino fluorescente                   | Dificultar fraudes                                                                                          |
| Cigarros                                         | Prevenir enfermidades pulmonares                                                                            |
| Protetor auricular                               | Manter a higiene e esterilizar o canal auditivo                                                             |
| Sabões                                           | Aumentar a eficiência da lavagem dos tecidos                                                                |
| Lâminas de barbear                               | Remoção mais confortável dos pelos, amaciando e reduzindo a irritação da pele                               |
| Alimentos como cerveja, manteiga, chocolate etc. | Abrir o apetite, aumentando a ação digestiva do estômago                                                    |
| Contraceptivos                                   | Matar espermatozoides e esterilizar a vagina, evitando doenças sexualmente transmissíveis                   |
| Goma de amido                                    | Aditivo ao sabão, deixar roupas brancas mais brilhantes                                                     |
| Baralho                                          | Tornar o jogo mais emocionante e divertido                                                                  |
| Pomada para calçados                             | Maior durabilidade do brilho                                                                                |

Diversos consumidores apresentaram efeitos indesejáveis devido ao uso desses produtos. Por exemplo, muitas usuárias do *Rádior* (Figura 3) tiveram queimaduras, úlceras e câncer de pele, e mesmo o reembolso de US\$ 5.000,00 não cobria as despesas médicas (Frame, 1989). Uma pesquisa publicada em 1925 na revista médica de maior circulação nos Estados Unidos criticava a terapia da água com radioatividade adicionada. Sob o título *Radium ore revigator – capitalizando-se sobre a ignorância do público em geral sobre a radioatividade e o rádio*, ela mostrava que a base sobre a qual se assentava esse produto e seus similares não tinha fundamento científico<sup>11</sup> (Schlundt e Fulton, 1933).

Nos anos 1920, a propaganda se sofisticou em relação às décadas anteriores: resultados de estudos supostamente científicos, testemunhos de usuários e busca de novos consumidores eram táticas para manter esse mercado ativo.

Em meados dos anos 1920, realizaram-se os primeiros congressos internacionais de radiologia, movidos pela necessidade de estabelecer um padrão internacional de medida e de controle da radiação. A troca de experiências entre os congressistas; a divulgação dos primeiros estudos científicos sobre a saúde ocupacional daqueles que manipulavam materiais radioativos; os efeitos da radiação sobre a genética; e ainda as primeiras regulamentações trabalhistas na Alemanha, na então Tchecoslováquia e nos Estados Unidos, indicavam que o emprego da radiação passava a ter uma visão diferente daquela do início do século XX (Frame, 1989). Em 1929, os sais de rádio foram retirados da farmacopeia norte-americana (eles haviam sido incluídos em 1915) devido aos riscos decorrentes da ingestão do elemento (Vdovenko et al., 1975). Em fins desse mesmo ano, o multimilionário e atleta Eben M. Byers, após uma contusão no braço durante um jogo de futebol americano, tornou-se um ávido consumidor de *Radithor*, tomando três frascos ao dia por cerca de um ano e meio. Sua morte, em 31/03/1931, traumatizou a sociedade norte-americana<sup>12</sup>, abalando a crença na “terapia suave do

rádio” nos Estados Unidos. Na Europa, ainda houve lançamentos de produtos radioativos (especialmente cosméticos e alimentos) até próximo do início da II Guerra Mundial (Frame, 1989).

### Conclusões

O emprego da radioatividade em seus primeiros tempos é um exemplo no qual a aplicação e a receptividade iniciais de uma descoberta científica precederam o reconhecimento dos perigos a ela associados. Decorridos cerca de 30 anos após os primeiros relatos sobre a radioatividade, os primeiros congressos de radiologia, os primeiros estudos científicos e as primeiras legislações trabalhistas mostravam uma nova forma de trabalhar com a radiação, traduzindo-se também no abandono paulatino das aplicações e práticas propostas no início do século XX.

### Notas

1. Os seguintes cientistas têm suas biografias constantes na obra *Dicionário de Biografias Científicas* (BENJAMIN, C. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007): Antoine-Henri Becquerel (vol. I, p. 199-202); Marie Curie (vol. I, p. 551-557); Pierre Curie (vol. I, p. 557-563); Wilhem Conrad Roentgen (vol. III, p. 2368-2371); Ernest Rutherford (vol. III, p. 2382-2393).

2. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/), acessada em ago. 2010. Wilhem Conrad Roentgen recebeu o primeiro prêmio Nobel de Física em 1901 pela descoberta dos raios-x. Em 1903, Marie Curie, Pierre Curie e Antoine-Henri Becquerel dividiram o Prêmio Nobel de Física pelos seus trabalhos com radioatividade. Em 1911, Marie Curie recebeu o Prêmio Nobel de Química pela descoberta dos elementos polônio e rádio, por isolar esse último em sua forma metálica e por estudar seus compostos. Frederick Soddy recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1921 pela contribuição ao conhecimento sobre a química das substâncias radioativas e suas investigações sobre a origem e a natureza dos isótopos. Ernest Rutherford recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1908 pelos estudos da desintegração de elementos e a química das substân-

cias radioativas.

3. Os jornais, donde provêm as manchetes da Figura 1, são: The New York Times (notícia 1, publicada em 1903; notícia 2, publicada em 12/11/1903); e Newark Evening Journal (Nova Jérsei; notícia 3, publicada em 24/08/1903).

4. Por exemplo, as revistas *Modern Mechanics – Inventions Magazine* (seis números sobre radioatividade entre 1925 e 1936); *Popular Mechanics Magazine* (três números entre 1918 e 1925); *Science and Invention* (doze números entre 1920 e 1934); *Science Wonder Histories* (sete números entre 1915 e 1922); *Merveilles de la Science* (dez números entre 1908 e 1914).

5. Anúncio publicado no jornal The Los Angeles Daily Times, edição de 06/02/1904.

6. O radônio era conhecido na ocasião como emanção (emanção do rádio,  $^{222}\text{Rn}$ ; emanção do actínio,  $^{219}\text{Rn}$ ; emanção do tório,  $^{220}\text{Rn}$ ). O isótopo  $^{226}\text{Ra}$  era conhecido como rádio, enquanto que o isótopo  $^{226}\text{Ra}$  era chamado radiotório (RdTh).

7. Anúncio publicado no jornal New York Tribune, edição de 10/11/1918.

8. Propaganda publicada no jornal The Washington Post, edição de 02/01/1930.

9. Propaganda publicada no jornal The Washington Post, edição de 01/06/1906.

10. Nota publicada no jornal The New York Journal, edição de 12/04/1903.

11. Publicada no Journal of American Medical Association, edição de 30/11/1925.

12. Manchete de 1ª página do jornal The New York Times, edição de 01/04/1931.

**Rodrigo da Silva Lima**, graduado em Licenciatura em Química pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, trabalha na operação do reator nuclear de Angra II, no Município de Angra dos Reis (RJ). **Luiz Cláudio Ferreira Pimentel**, graduado em Licenciatura em Química e mestre em Ciências em Química pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), trabalha no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IRD/CNEN). **Julio Carlos Afonso** (julio@iq.ufrj.br), graduado em Química e Engenharia Química e doutor em Engenharia Química pelo IREC/CNRS (França), é professor associado do Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da UFRJ.

## Referências

BARDWELL, D.C. Radium. *Journal of Chemical Education*, n. 3, p. 623-627, 1926.

CHASE, C. American Literature on Radium and Radium Therapy prior to 1906. *American Journal of Radiology*, n. 2, p. 29-34, 1921.

CRAMP, A.J. *Nostrums and quackery and pseudomedicine*, v. III. Chicago: The American Medical Association, 1936.

FRAME, P. *Radioactive curative devices and spas*. Oak Ridge: Oak Ridge Associated Universities, 1989.

FRAME, P. e KOLB, W. *Living with radiation, the first hundred years*. Oak Ridge:

Oak Ridge Associated Universities, 1989.

HAHN, O. *New atoms*. Nova Iorque: Elsevier, 1950.

HARVIE, D.I. The radium century. *Endeavour*, n. 23, p. 100-105, 1999.

HERING, D.W. *Foibles and fallacies of science*. Nova Iorque: Van Nostrand, 1924.

HOFFMAN, F.L. Radium (mesothorium) necrosis. *Journal of the American Medical Association*, edição de 26 de setembro, p. 961-965, 1925.

MACKLIS, R.M. Radithor and the era of mild radium therapy. *Journal of the American Medical Association*, n. 264, p. 614-618, 1990.

PERRIN, J. *Les atomes*. Paris: Felix Alcan, 1921.

RUTHERFORD, E. *Radioactivity*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1905.

SCHLUNDT, H.; FULTON, R.G. e BRUNER, F. Radium-water generators. *Journal of Chemical Education*, n. 10, p. 185-189, 1933.

SODDY, F. *The interpretation of radium*. Londres: John Murray, 1909.

TILDEN, W.A. *Chemical discovery and invention in the XXth century*. 5. ed. Nova Iorque: Dutton, 1926.

VDOVENKO, V.M. e DUBASOV, V.U. *Analytical chemistry of radium*. Jerusalém: Keter, 1975.

**Abstract:** THE STATUS OF THE RADIOACTIVITY AT THE BEGINNING OF THE XXth CENTURY This work presents a summary of the impact of radioactivity in everyday life at the beginning of the XXth century. Radium was regarded as a fantastic source of energy and cure for many diseases. It played a central role in the early history of radioactivity. Many radioactive-added products and medical procedures were proposed. After about 30 years of the discovery of radioactivity, the understanding of this phenomenon by man was very different from the one at the beginning of the XXth century.

**Keywords:** radioactivity; radium; radioactive-added products.

Texto 6

# RADIAÇÃO DE FUNDO

Roberto Alcântara Gomes

Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

A vida na Terra apareceu e evoluiu sob constante bombardeio de radiações, algumas oriundas do espaço (raios cósmicos), outras provenientes de substâncias radioativas do planeta. A partir do século XIX, às fontes naturais de radiação somaram-se as produzidas pelo homem, tais como os raios X, as inúmeras aplicações médicas e industriais de radioisótopos e os contaminantes ambientais gerados pelas explosões nucleares. Assim, os seres humanos estão permanentemente expostos a uma radiação de fundo, que é a soma da radiação natural com a artificial. Ela corresponde, em média, a uma dose equivalente de quase 2,5 mSv por ano, como se vê na figura.

As radiações cósmicas primárias são constituídas de prótons (85%), partículas alfa (14%) e núcleos de números atômicos entre 3 e 26. Quando estes raios cósmicos primários, dotados de energias extremamente altas, interagem com os átomos existentes nas camadas mais elevadas da atmosfera, produzem-se outras radiações — raios cósmicos secundários. A dose oriunda dos raios cósmicos é muito influenciada pela altitude: em relação à observada no nível do mar, ela triplica a 2.000 m; é multiplicada por 160 a 10.000 m (altitude de cruzeiro da maioria dos jatos comerciais) e por 450 a cerca de 20.000 m (altitude dos vãos supersônicos). As doses variam também com a latitude — são maiores nos pólos que na zona equatorial —, pois os raios cósmicos são desviados pelo campo magnético da Terra.

Nas rochas que compõem a crosta terrestre, há diversos radionuclídeos, como o potássio-40 ( $^{40}\text{K}$ ), o rubídio-87

( $^{87}\text{Rb}$ ) ou os átomos radioativos pertencentes às famílias do urânio-238 ( $^{238}\text{U}$ ) e do tório-232 ( $^{232}\text{Th}$ ). As doses de radiação provenientes desses radionuclídeos variam de local para local, dependendo da composição do solo; em geral, não ultrapassam 0,6 mSv/ano. Mas em algumas zonas da Terra as doses recebidas pela população são mais elevadas. É o que acontece na região de Guarapari (ES), onde, em razão da grande quantidade de areia monazítica (rica em tório), a dose pode atingir algumas dezenas de milisieverts por ano.

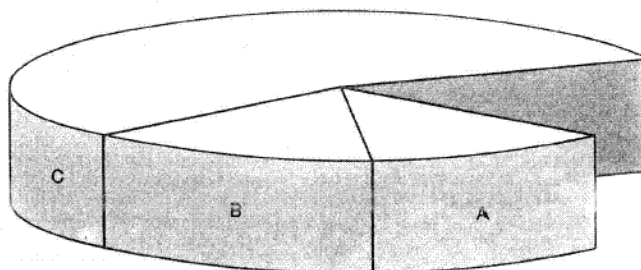
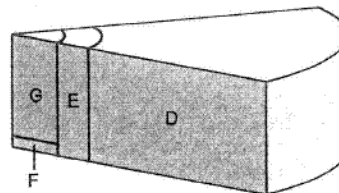
Como mostra a figura, os radionuclídeos situados no interior do organismo são a principal fonte de radiação de fundo. Entre eles, encontram-se o  $^{40}\text{K}$ , o hidrogênio-3 ( $^3\text{H}$ ), o carbono-14 ( $^{14}\text{C}$ ) e, principalmente, alguns isótopos das famílias do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ , que podem penetrar no corpo através do ar inspirado, da água e dos alimentos ingeridos. Nos últimos anos, particular atenção tem sido dada às doses provocadas pelo gás radônio — um radionuclídeo da família do  $^{238}\text{U}$  ou do  $^{232}\text{Th}$ . Existente em diversos materiais de construção e no solo, esse gás é progressivamente liberado; em ambiente mal ventilado, como acontece em países frios durante o in-

verno, a inalação do gás radioativo aumenta substancialmente. O radônio dissolvido na água também é liberado, razão pela qual sua concentração no ar de um banheiro, por exemplo, pode ser dezenas de vezes maior que em um quarto. Deve-se ao radônio metade da dose proveniente de fontes naturais recebida pelos seres humanos (cerca de 1 mSv/ano).

As aplicações médicas de radioisótopos e de raios X são responsáveis pela quase totalidade da dose de radiação artificial à qual o homem está exposto. Na radioterapia, as doses utilizadas são muito elevadas, mas, como o número de pessoas submetidas a essa prática médica é relativamente reduzido, sua contribuição para a dose global recebida pela população não é muito grande.

A partir de 1945, centenas de ensaios com bombas de fissão (atômicas) e de fusão (hidrogênio) liberaram na atmosfera muitos tipos de radionuclídeos — entre eles o  $^{14}\text{C}$ , o  $^{137}\text{Cs}$ , o zircônio-95 ( $^{95}\text{Zr}$ ) e o estrôncio-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) —, que contribuíram e ainda contribuem para a radiação de fundo.

A produção de energia elétrica em reatores nucleares constitui outra causa de disseminação de material radioativo. Existem hoje cerca de 350 reatores operando em quase 30 países. Eles são responsáveis pela produção de 15% da energia elétrica consumida no mundo. A obtenção do combustível, a liberação



Dose equivalente anual média à qual os seres humanos estão expostos

|                                                                     |              |            |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|------------|
| Origem natural                                                      |              |            |
| (A) radiação cósmica                                                | 0,3          | mSv        |
| (B) fontes radioativas terrestres                                   | 0,35         | mSv        |
| (C) radioisótopos existentes no organismo                           | 1,35         | mSv        |
| Origem artificial                                                   |              |            |
| (D) radiações utilizadas por motivos médicos                        | 0,4          | mSv        |
| (E) radioisótopos gerados em explosões nucleares                    | 0,02         | mSv        |
| (F) radioisótopos gerados para fins de produção de energia elétrica | 0,001        | mSv        |
| (G) outras fontes                                                   | 0,01         | mSv        |
| <b>Total</b>                                                        | <b>2,431</b> | <b>mSv</b> |

de detritos durante o funcionamento e a produção de rejeitos radioativos redundam em doses adicionais recebidas pelos seres humanos.

O acidente ocorrido no reator nuclear de Tchernobyl, na União Soviética, liberou dezenas de milhões de curies de isótopos radioativos, especialmente o iodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ) e o  $^{137}\text{Cs}$ , provocando acréscimo da radiação de fundo (ver "Tchernobyl um ano depois: o que houve, afinal?", em *Ciência Hoje* nº 32).

Alguns tipos de relógios luminosos, de detectores de fumaça e de pára-raios, além de aparelhos de televisão a cores, são outras fontes de radiação artificial com que convivemos em nosso dia-a-dia. Mostradores e ponteiros de relógios luminosos são freqüentemente pintados com tintas que contêm radionuclídeos, como o rádio — o que pode acarretar doses bem superiores às provenientes, por exemplo, dos reatores nucleares utilizados para a produção de energia elé-

trica. Detectores de fumaça e pára-raios podem conter amerício-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), um emissor de partículas alfa, mas só oferecem riscos sérios se forem violados. Os aparelhos de televisão a cores mais modernos produzem doses muito reduzidas de raios X, quando utilizados em condições normais e submetidos a uma manutenção adequada. Alguns modelos mais antigos, no entanto, podiam provocar exposições mais significativas em seus usuários. □

Texto 7



Robson Fernandes de Farias

Uma visão geral sobre a técnica de datação de objetos através de medidas do decaimento radioativo do isótopo com número de massa 14 do carbono é apresentada, resumindo-se os princípios e fundamentos da técnica, bem como sua importância para a sociedade, como técnica de grande utilidade na pesquisa histórica.

► carbono-14, isótopos, arqueologia ◀

Submetido em 17/05/01; aceito em 19/02/02

6

**E**m 1998, o chamado "Sudário de Turim", supostamente o santo sudário (ver figuras), o manto que teria sido utilizado para cobrir o corpo de Cristo após a crucificação, foi analisado através da técnica do isótopo com número de massa 14 do carbono (carbono-14, radioativo). Os resultados mostraram que o linho utilizado na confecção do sudário cresceu entre os anos 1260 e 1390. Assim, ficou demonstrado que o Sudário de Turim não podia ser o santo sudário, tratando-se portanto de uma fraude.

#### A técnica de datação através do carbono-14

Em certos casos, a idade de um dado material pode ser determinada com base na taxa de decaimento de um isótopo radioativo. O melhor exemplo da aplicação desse tipo de fenômeno é a datação de materiais através da medida do decaimento do carbono-14. A técnica do radio-carbono é hoje largamente utilizada em arqueologia e antropologia, para a determinação da idade aproximada dos mais diversos artefatos.

A técnica de datação através da medida do decaimento radioativo do

carbono-14 foi desenvolvida por Willard Frank Libby (1908-1980), em 1946, o que lhe valeu o Prêmio Nobel de Química de 1960.

A maior parte do carbono presente na Terra é composta de uma mistura de dois isótopos estáveis: 98,9% de carbono-12 e 1,1% de carbono-13. Contudo, amostras naturais de carbono sempre contêm traços de um terceiro isótopo, o carbono-14, radioativo, o qual emite radiação  $\beta^-$  e possui um tempo de meia vida de 5.730 anos. O carbono-14 está presente na Terra numa proporção de um para cada  $10^{12}$  átomos, sendo que 1 g de carbono apresenta aproximadamente 14 dpm (desintegrações por minuto), uma quantidade ínfima de radiação, que, contudo, pode ser facilmente detectada utilizando-se técnicas modernas.

Libby desenvolveu a técnica de datação através do carbono-14 utilizando contadores Geiger muito sensíveis, que ele mesmo desenvolveu, nos

quais media-se a radiação  $\beta^-$  emitida pela amostra, requerendo-se quantidades relativamente grandes da mesma. Contudo, na versão moderna da técnica, utiliza-se um espectrômetro de massas como equipamento, no qual os átomos de carbono são convertidos em íons  $C^+$ , mediante bombardeio da amostra com átomos de césio. Os números de átomos de carbono com as diversas massas são assim determinados, obtendo-se a relação  $^{14}C/^{12}C$ , que diminui com o tempo.

Utilizando-se o espectrômetro de massas, necessita-se de poucos miligramas de amostra para efetuar-se uma análise.

#### O ciclo do carbono-14

Uma vez que o tempo de meia vida do carbono-14 é de "apenas" 5.730 anos,

seria válido perguntarmos como ainda existe algum carbono-14 presente na Terra, tendo-se em vista os bilhões de anos de idade do planeta. A resposta é que há uma renovação constante da quantidade de carbono-14 em nosso

A técnica do carbono-14 é largamente utilizada em arqueologia e antropologia, para a determinação da idade aproximada dos mais diversos artefatos. Ela foi desenvolvida por Willard Frank Libby (1908-1980), em 1946, o que lhe valeu o prêmio Nobel de Química de 1960.

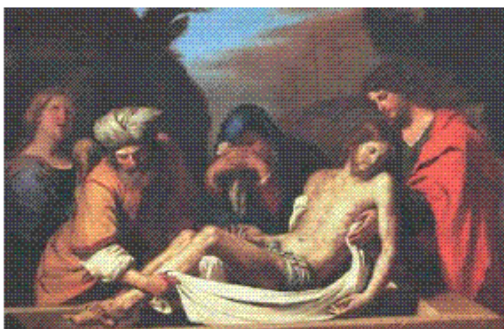


Figura 1: O sepultamento de Cristo, Guercino (Giovanni Francesco Barbieri), óleo sobre tela, 1656. Instituto de Arte de Chicago, EUA.

planeta, de acordo com a reação:



a qual ocorre nas camadas mais altas da atmosfera, com a participação dos chamados raios cósmicos que, após colidirem com núcleos presentes no ar, geram nêutrons, que então colidem com o isótopo com número de massa 14 do nitrogênio, formando o carbono-14. Estima-se que 7,5 kg de carbono-14 são produzidos a cada ano a partir da radiação cósmica.

Uma vez formado, o carbono-14 é oxidado a  $^{14}\text{CO}_2$ , tornando-se parte do chamado ciclo do carbono, o que faz que circule pelo mundo todo, através da atmosfera, oceanos e biosfera. Assim, a quantidade de carbono-14 no planeta é aproximadamente constante, estando relacionada ao seu tempo de formação e decaimento.

#### O carbono-14 na biosfera

Através da fotossíntese, as plantas absorvem o carbono-14 presente na atmosfera ( $\text{CO}_2$ ), convertendo-o em compostos orgânicos, incorporando-o assim a tecidos vivos (ciclo de Calvin e ciclo de Calvin-Benson). À medida que a planta cresce, mais aumenta a quantidade de carbono-14 por ela incorporada, até que se estabeleça um equilíbrio, com a quantidade de C-14 na planta tomando-se igual à presente na atmosfera, cerca de 14 dpm  $\text{g}^{-1}$ . Contudo, uma vez que a planta tenha morrido, não ocorrerá mais a incorporação de carbono-14 aos seus tecidos e, assim, tendo-se em vista o decai-

mento radioativo do isótopo, sua quantidade diminuirá progressivamente, até tornar-se praticamente nula. Ou seja, é como se, uma vez morto o organismo vivo, um cronômetro fosse disparado. Tendo-se em vista o tempo de meia vida do isótopo, após 5.730 anos sua atividade

cairá de 14 dpm  $\text{g}^{-1}$  para 7 dpm  $\text{g}^{-1}$  e, após 11.460 anos, cairá para apenas 3,5 dpm  $\text{g}^{-1}$ , e assim por diante. Uma vez que se conhece o tempo de meia vida do carbono-14, basta medir sua atividade para saber quando a planta morreu.

Através das plantas, o carbono-14 termina sendo incorporado pelos animais vegetarianos e, através destes, pelos carnívoros, terminando assim por ser assimilado por seres vivos de todos os níveis tróficos.

#### Limitações da técnica

A técnica de datação através do carbono-14 do carbono tem, contudo, suas limitações. Uma delas é a consideração de que a quantidade total de carbono-14 na atmosfera permaneceu constante ao longo do tempo (milhares de anos), o que pode não ser totalmente verdadeiro. Além disso, um objeto com "apenas" cem anos de idade não poderia ser convenientemente datado,

uma vez que, nesse período de tempo, a quantidade de radiação emitida terá diminuído muito pouco para ser detectada alguma diferença. Assim, a incerteza na medida efetuada será de  $\pm 100$  anos. Além disso, objetos com mais de 40.000 anos (ou, seja, aproximadamente, sete "meias-vidas"), também não podem ser datados com grande segurança, uma vez que, após esse lapso de tempo, a radiação emitida terá sido reduzida a praticamente zero. Logo, a técnica aplica-se com boa margem de segurança para objetos que tenham entre 100 e 40.000 anos de idade.

#### Um exemplo: os manuscritos do Mar Morto

Em 1947, um pastor chamado Mohamed Adh-Dhib perdeu uma cabra, que fugiu, subindo um conjunto de rochas escarpadas. Após procurá-la sem êxito, Adh-Dhib sentou-se para descansar e acabou descobrindo uma caverna estreita de onde, no dia seguinte, com a ajuda de um amigo,

7



Figura 2: Sudário de Turim - detalhe.

retirou um conjunto de pergaminhos de viriam a ser conhecidos como os "Manuscritos do Mar Morto". O local do achado dista uma milha de Khlrbert Qumram (ruínas de Qumram).

A coleção de manuscritos é realmente grande, tendo sido encontrados fragmentos de todos os livros da Bíblia Hebraica (Velho Testamento), com exceção única do livro de Ester.

Uma vez provada a autenticidade dos pergaminhos, a questão de sua datação tornou-se fundamental, tendo-se utilizado o método do carbono-14 (o próprio Libby ficou encarregado das análises). A atividade do carbono-14 nos manuscritos era de aproximadamente 11 dpm g<sup>-1</sup>. Assim, a idade dos mesmos pôde ser calculada através da equação:

$$\ln(N/N_0) = -kt$$

onde  $N$  é a atividade radioativa do car-

bono-14 na amostra quando da realização da análise,  $N_0$  é a atividade radioativa do carbono-14 no tecido vivo (que é a mesma da atmosfera, ou seja, 14 dpm g<sup>-1</sup>) e  $k$  é a constante de velocidade do decaimento radioativo. Como o decaimento radioativo é uma reação de primeira ordem,  $k = 0,693/t_{1/2}$ . Neste caso,

$$k = 0,693/5,73 \times 10^3 = 1,21 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$$

Logo,  $\ln(11/14) = -(1,21 \times 10^{-4})t$  e, assim,  $t = 2,0 \times 10^3$  anos, ou seja, dois mil anos, comprovando-se que os manuscritos do Mar Morto remontam ao tempo da vida e pregação de Cristo.

**Robson Fernandes de Farias** (robdefarias@bol.com.br), licenciado e mestre em Físico-Química pela UFRN, doutor em Química Inorgânica pela Unicamp, é docente do Departamento de Química da UFRN e Secretário Regional da SBQ.

#### Referências bibliográficas

- ATKINS, P. e JONES, L. *Chemistry*. Nova Iorque: W.H. Freeman, 1997.  
 GARRET, R.H. e GRISHAM, C.M. *Biochemistry*. Nova Iorque: Saunders College Publishing, 1995.  
 JAMES, L.K. (Ed.). *Nobel laureates in chemistry 1901-1992*. Salem: American Chemical Society and The Chemical Heritage Foundation, 1993.  
 KOTZ, J.C. e TREICHEL Jr., P. *Chemistry & chemical reactivity*. Nova Iorque: Saunders College Publishing, 1999.  
 RITTER, P. *Biochemistry*. Nova Iorque: Brooks/Cole Publishing Company, 1996.  
 SERWAY, R.A. *Physics*. Nova Iorque: Saunders College Publishing, 1996.

#### Para saber mais

- ATKINS, P.W. *O reino periódico*. Trad. A. Tort. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.  
 IHDE, A. J. *The development of modern chemistry*. Nova Iorque: Dover, 1984.  
 LANGFORD, C.H. e BEEBE, R. A. *The development of chemical principles*. Nova Iorque: Dover, 1995.



**Abstract:** The Chemistry of Time: Carbon-14 - A general overview of the dating of objects through measurements of the radioactive decay of the carbon isotope of mass number 14 is presented, summarizing the principles and fundamentals of the technique, as well as its importance for society, as a very useful technique in historical research.  
**Keywords:** carbon-14, isotopes, archaeology

Texto 8

# Química

## a serviço da HUMANIDADE

Luciana Almeida Silva e Jailson B. de Andrade

Este texto discute o papel da Química na melhoria da qualidade de vida e conforto da população e estabelece ligações entre o primeiro Caderno Temático dedicado à Química Ambiental, publicado em 2001, e este volume. Os temas abordados são relevantes à compreensão das constantes transformações que ocorrem no planeta, envolvendo um ciclo que abrange os três grandes compartimentos do globo terrestre: atmosfera, hidrosfera e litosfera.

► química, qualidade de vida, cadernos temáticos ◀

3

A Química, de forma ampla, pode ser definida como o ramo da ciência dedicado à **observação, transformação e construção**, pois o trabalho do Químico geralmente inclui a observação e/ou determinação da estrutura ou composição de espécies químicas presentes nos seres vivos, no ambiente e nos materiais, bem como a transformação e construção de novas moléculas.

Tradicionalmente, a Química compreende quatro divisões didáticas: Química Analítica, Química Inorgânica, Química Orgânica e Físico-Química que, atualmente, estão em crescente desuso. Novas sub-áreas temáticas estão emergindo e representam de forma ampla os principais focos atuais da Química. Por exemplo, a Química dos Materiais, Química Medicinal e Química Ambiental são divisões interdisciplinares, bastante abrangentes, e englobam, majoritariamente, os diversos campos de estudo e os desafios contemporâneos da química.

No Quadro 1 estão representadas

algumas das principais missões da Química, que demonstram a importância desta área do conhecimento para a humanidade. O século passado presenciou o maior aumento na expectativa de vida do ser humano, que saltou de cerca de 40 anos para aproximadamente 70 anos, e parte significativa deste salto foi devido aos avanços da química. Entretanto, uma parcela significativa dos atuais seis bilhões de habitantes do planeta não têm acesso a alimentos em quantidade e qualidade adequadas. Também, cerca de 1 bilhão de pessoas não têm acesso a água potável de boa qualidade e 1,3 bilhão vivem em locais em que a qualidade do ar é imprópria. Vale ressaltar que os danos ao ambiente e a preocupação com a questão ambiental não são tão atuais. Na Roma Antiga, atividades como curtumes, matadouros, lavande-

rias e fabricação de azeite, só eram permitidas em locais desabitados e, na Grécia Antiga, era exigida autorização especial para a construção de curtumes e fundições de prata.

A química ambiental é uma das áreas da ciência que mais tem crescido nas últimas décadas. Ela procura entender a composição e o comportamento do solo, da água e do ar, quais as interações complexas entre esses sistemas, como eles são influenciados pelas atividades humanas e quais são as suas consequências. Os conhecimentos acumulados com esses estudos têm contribuído de forma significativa na prevenção e correção de problemas ambientais,

por exemplo, pela produção de plásticos (usados em embalagens e utensílios) que se degradam facilmente no ambiente, a descoberta de produtos usados como propelentes e em sistemas de refrigeração que não danificam

A Química, de forma ampla, pode ser definida como o ramo da ciência dedicado à **observação, transformação e construção**.

## Química a Serviço da Humanidade



4

a camada de ozônio e a reciclagem de materiais como metais, plásticos, papel e borrachas. Esses novos procedimentos e iniciativas, comumente chamados de "Química Verde", têm como foco desenhar produtos e processos que reduzam ou eliminem o uso e a produção de substâncias danosas ou perigosas à saúde humana e ao ambiente. Os conhecimentos gerados também podem servir de guia para mudanças no comportamento humano, esclarecendo a sociedade sobre os riscos ambientais que certos produtos e atitudes oferecem e a possibilidade de substituí-los por outros menos nocivos.

Entretanto, a segurança do ambiente não é um problema local ou pontual e exige esforços concentrados de todo o planeta. A geoquímica tem feito muitos progressos no entendimento da química da terra e seus componentes, incluindo rios, lagos e oceanos. Muitos desses envolvem teorias fundamentais como a termodinâmica, mas em escala muito maior que a

Novas sub-áreas temáticas estão emergindo e representam de forma ampla os principais focos atuais da Química.

molecular. A química da atmosfera tem, também, contribuído bastante para elucidar com detalhes várias questões ambientais, como a depleção da camada de ozônio, o aquecimento global e o "sequestro" do carbono. Na década de 1970 surgiu a primeira pista de que os compostos genericamente denominados

de CFCs (do inglês chlorine-fluorine-carbon) podiam estar destruindo a camada de ozônio, localizada na estratosfera, e que protege a Terra dos raios solares ultravioleta que, entre outras ações, são cancerígenos. Por ironia, os CFCs foram especialmente escolhidos pelos cientistas da Du Pont™, para uso em refrigeração e como propelentes, por serem inertes. Entretanto, esses gases são levados à estratosfera superior e, nessa altitude, a intensa luz ultravioleta do sol pro-

move a quebra de ligações liberando os átomos de cloro, que atuam como iniciadores de reações em cadeia. Esse processo foi elucidado por Paul Crutzen, Mario Molina e Sherwood Rowland que, em 1995, receberam o Prêmio Nobel de Química. Embora os Estados Unidos tivessem banido o uso desses compostos desde 1976, o mundo precisou de mais de uma década para abrir os olhos para este problema, quando, em 1985, cientistas descobriram um buraco potencialmente catastrófico na camada de ozônio. Essas descobertas levaram a Organização das Nações Unidas (ONU) a re-

digir o Protocolo de Montreal, em 1987, com ajustes e emendas posteriores, adotando medidas preventivas para regulamentar o total das emissões mundiais de substâncias (CFCs e halons) que deterioram a camada de ozônio, em função da evolução

dos conhecimentos científicos e tendo em conta considerações técnicas

Química Verde tem como foco desenhar produtos e processos que reduzam ou eliminem o uso e a produção de substâncias danosas ou perigosas à saúde humana e ao ambiente.

e econômicas. O objetivo era reduzir em 50% a produção e consumo dessas substâncias até 1999, em relação aos níveis calculados de produção e consumo de 1986, com o objetivo final de eliminá-las, o que de fato ocorreu.

A interação de gases como o  $\text{CO}_2$ , com a terra e a água também é objeto de estudos da química do ambiente. O dióxido de carbono produzido principalmente pela respiração de plantas e animais e queima de combustíveis também é fixado no processo de fotossíntese. Embora a molécula de  $\text{CO}_2$  seja aparentemente inofensiva, os níveis crescentes desse e de outros gases em nível de traços na atmosfera têm provocado um aumento global da temperatura, conhecido como efeito estufa. A temperatura da superfície da Terra é governada pelo balanço da luz solar incidente que é refletida de volta ao espaço e a que é retida pela conversão em energia térmica. Os gases estufa absorvem parte da radiação infravermelha e impedem sua transmissão de volta ao espaço, o que provoca mudanças neste balanço e pode afetar a temperatura global. Outros gases, como o vapor d'água, também contribuem para o efeito estufa, mas o  $\text{CO}_2$  é particularmente importante porque o aumento dos níveis deste gás na atmosfera está relacionado à atividade humana. Na Conferência da ONU sobre mudanças climáticas, realizada em Quioto, Japão, em dezembro de 1997, 39 países desenvolvidos firmaram o compromisso de adotar um protocolo segundo o qual os países industrializados reduziriam suas emissões combinadas de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos, hexafluoreto de enxofre) em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990, até o período entre 2008 e 2012. Ficou acordado que cada Parte do Protocolo deveria adotar políticas nacionais e medidas correspondentes para atenuar

a mudança do clima, limitando suas emissões antrópicas, protegendo e aumentando os sumidouros e reservatórios desses gases. O Protocolo prevê também a criação de MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo), que consiste na possibilidade de um país industrializado financiar projetos ambientais em países em desenvolvi-

mento, como forma de cumprir parte de sua meta de redução de emissões. O compromisso promete reverter a tendência histórica de crescimento das emissões nesses países, iniciada há 150 anos. No entanto, o Protocolo de Quioto teve metas muito mais

modestas que o Protocolo de Montreal. Enquanto o Protocolo de Montreal previa proibição total da produção dos CFCs, o Protocolo de Quioto pedia apenas a estabilização, ou cortes relativamente pequenos, das emissões dos gases estufa, que não foi acatado pelos principais responsáveis por essas emissões, como os Estados Unidos.

É muito pouco provável que a maior parte da produção de energia nas próximas décadas seja outra senão a queima de combustíveis fósseis. O "sequestro" de carbono, que é uma tentativa de reter o dióxido de carbono depois da combustão em um lugar seguro, talvez seja uma das alternativas para contornar os problemas causados pelo excesso de emissões.

Os Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola abordam temas atuais da Química com o objetivo de permitir o acesso dos professores que atuam nos níveis de ensino fundamental e médio, a bibliografia atualizada em língua portuguesa sobre temas selecionados. A primeira série de Cadernos produzida em 2001, abordou te-

mas relacionados com os materiais, a vida e o ambiente.

O primeiro número da série de Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola dedicado à química ambiental contém cinco artigos que abordam temas relevantes à compreensão das inúmeras transformações pelas quais a Terra vem passando, ao longo dos aproximados 4,5 bilhões de anos de existência, e os impactos decorrentes do surgimento da vida no nosso planeta, principalmente aqueles resultantes de atividades antrópicas, agravados nas últimas décadas.

No artigo "A evolução da atmosfera terrestre", W. F. Jardim fez um paralelo entre a termodinâmica e o conceito de vida. Dentro de uma concepção química abrangente de vida, planetas vizinhos à Terra, como Marte e Vênus, são considerados estéréis por conta de suas atmosferas encontrarem-se em equilíbrio termodinâmico; ao passo que a atmosfera terrestre está muito distante deste equilíbrio, coexistindo espécies oxidantes poderosas com um elevado número de espécies reduzidas em constantes transformações. Ambas as formas resultam principalmente de processos biológicos, ou seja, da vida. E foi o surgimento da vida que desencadeou um dos maiores impactos ambientais

ocorridos na Terra, a mudança da atmosfera redutora para uma atmosfera altamente oxidante, forçando os organismos vivos que habitavam o planeta a uma readaptação.

Embora o processo de evolução tenha durado bilhões de anos, nas últimas décadas, mudanças significativas na composição da

atmosfera terrestre vêm acontecendo, principalmente, na concentração de gases minoritários com importantes papéis na química da atmosfera. A. A. Mozeto, no artigo "Química atmosférica: a química sobre as nossas cabeças", discutiu a estrutura (divisão em camadas) e composição atual da atmosfera terrestre de uma forma deta-

Em 1985, cientistas descobriram um buraco potencialmente catastrófico na camada de ozônio. Essas descobertas levaram a ONU a redigir o Protocolo de Montreal, em 1987.

Na Conferência da ONU sobre mudanças climáticas, realizada em Quioto, Japão, 39 países desenvolvidos firmaram o compromisso de adotar um protocolo segundo o qual os países industrializados reduziriam suas emissões combinadas de gases de efeito estufa.

lhada e bastante didática, destacando suas funções vitais e as transformações decorrentes de reações químicas e fotoquímicas, com efeitos benéficos de proteção das diversas formas de vida na Terra, além dos efeitos deletérios como o buraco na camada de ozônio e a potencialização do efeito estufa.

Um dos maiores desafios na atualidade é o atendimento à demanda por água de boa qualidade. M. T. Grassi chamou atenção para esta questão no artigo "As águas do planeta terra", advertindo que, embora cerca de 71% da superfície do planeta seja coberta por água, apenas 0,77% são de água doce disponível, distribuídos em diversos compartimentos. A qualidade dessa água doce disponível vem se deteriorando de forma crescente, especialmente nos últimos 50 anos, fruto de um conjunto de atividades humanas. Para contornar este problema, discute-se duas estratégias adotadas no controle da poluição aquática: (1) redução na fonte; (2) tratamento dos resíduos para remover os contaminantes ou convertê-los em formas menos nocivas. A discussão deixa evidente que o uso sustentável da água é vital para a sobrevivência no planeta, uma vez que a vida floresceu na água e é impossível concebê-la sem este recurso fundamental.

Muito embora indispensável à vida, a água com a qualidade comprometida é um dos principais vetores na transmissão de doenças. Estima-se que 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos no Brasil (dados do BNDES, 1998) estão associadas à falta de saneamento básico. Diante deste quadro alarmante, J. R. Guimarães e E. A. A. Nour traçaram um perfil da situação atual de tratamen-

Este volume, dedicado à química ambiental, fecha um ciclo que envolve os três grandes compartimentos do globo terrestre: atmosfera, hidrosfera e litosfera.

Os Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola abordam temas atuais da Química.

Só o uso adequado da química poderá contribuir para mitigar a fome, melhorar a qualidade de vida e conforto da população.

to de águas residuais no Brasil e os principais processos de tratamento, envolvendo os físico-químicos e os biológicos, no artigo "Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza".

Além da preocupação com o destino e tratamento de águas residuais, um outro aspecto relevante abordado no primeiro Caderno Temático dedicado à química ambiental é o grande volume de resíduos sólidos gerados pela explosão demográfica nas últimas décadas. P. S. Fadini e A. A. B. Fadini, no artigo "Lixo: desafios e compromissos" discutiram os aspectos químicos e biológicos relacionados ao lixo e propõem um conjunto de soluções que concilie desenvolvimento associado à sustentabilidade ambiental e qualidade de vida.

No entanto, para melhor compreender a dinâmica do planeta e o impacto global decorrente das mudanças ocorridas ao longo de bilhões de anos de evolução e as ocorridas mais recentemente, é necessária uma avaliação num contexto mais amplo. Este volume, dedicado à química ambiental, fecha um ciclo que envolve os três grandes compartimentos do globo ter-

restre: atmosfera, hidrosfera e litosfera. Embora muitas vezes tratados separadamente por questões didáticas, percebe-se claramente as suas inter-relações nos artigos discutidos anteriormente e nos três outros artigos deste caderno temático: "Aspectos relevantes da biogeoquímica da hidrosfera", "Fluxos de matéria e energia no reservatório solo: da origem à importância para a vida" e "Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: A Importância na Química da Atmosfera".

Nesse contexto, vale ressaltar que, só o uso adequado da química pode-

rá contribuir para mitigar a fome, melhorar a qualidade de vida e conforto da população, construir uma indústria sustentável, bem como preservar o ambiente e o patrimônio artístico e cultural. Sem a Química seria impossível manter a qualidade de vida da humanidade com alimentos, segurança ambiental, longevidade e conforto.

**Luciana Almeida Silva** é Doutora em Química e Professora Adjunta do Departamento de Química Geral e Inorgânica do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia. **Jailson B. de Andrade** é Professor Titular do Departamento de Química Geral e Inorgânica do Instituto de Química da UFBA, Coordenador do Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento em Química (LPQ) e Editor do *Journal of the Brazilian Chemical Society*. [jailsong@ufba.br](mailto:jailsong@ufba.br).

#### Para saber mais

Protocolo de Montreal: [http://inweb18.worldbank.org/ESSD/envext.nsf/\(49ByDocName/MontrealProtocol\)](http://inweb18.worldbank.org/ESSD/envext.nsf/(49ByDocName/MontrealProtocol))

Protocolo de Quioto: <http://www.mct.gov.br/clima/quioto/protocolo.htm>

JARDIM, W. F. A. evolução da atmosfera terrestre. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola – Química Ambiental*, n. 1, p. 5 – 8, 2001.

FADINI, S. P. e FADINI, A. A. B. Lixo: desafios e compromissos. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola – Química Ambiental*, n. 1, p. 9 – 18, 2001.

GUIMARÃES, J. R. e ABDUL NOUR, E. A. Tratando nossos esgotos: processos que imitam a vida. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola – Química Ambiental*, n. 1, p. 19 – 30, 2001.

GRASSI, M. A. As águas do planeta terra. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola – Química Ambiental*, n. 1, p. 31 – 40, 2001.

MOZETO, A. A. Química atmosférica: a química sobre as nossas cabeças. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola – Química Ambiental*, n. 1, p. 41 – 49, 2001.

DE ANDRADE, J. B.; CADORE, S.; VIEIRA, P. C. e PINTO, A. C. Eixos Mobilizadores em Química. *Química Nova*, n. 26(3) p. 445-451, 2003.

**Vídeo 1**

Three Miles Island: “Acidente Nuclear nos EUA”  
(<http://www.youtube.com/watch?v=awGlX6arnXo>)

**Vídeo 2**

“Acidente Nuclear de Chernobyl”  
(<http://www.youtube.com/watch?v=EyDmwCka1Vw&feature=related>)

**Vídeo 3**

“Visita a Chernobyl”  
(<http://www.youtube.com/watch?v=BygxeniXsOY&feature=related>)

**Vídeo 4**

CÉSIO 137 – o pesadelo de Goiânia. Direção e roteiro Roberto Pires. Brasil: Grupo Coplaven, 1990. 1 DVD remasterizado (115 min.): DVD, col., son. Port.

**Vídeo 5**

“Região evacuada em Fukushima”  
(<http://www.youtube.com/watch?v=qKBBnlAUD9c>)

## ANEXO B - Mapa de atividades das aulas – Segunda intervenção

### Aula 01 (2º horário) do dia 06/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                                                                             | <b>Principais conteúdos</b>                                                                                                                 | <b>Ações dos participantes</b>                                        | <b>Comentários</b>                                                                      |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 5'                 | <b>P</b> se apresenta e interroga sobre a escola de origem dos alunos.                                                                                      | _____                                                                                                                                       | <b>A</b> respondem a pergunta sem delonga.                            | _____                                                                                   |
| 15'                | <b>P</b> revisa conteúdos de Química estudados no Ensino Fundamental.                                                                                       | Tabela periódica; elementos químicos.                                                                                                       | <b>A</b> participam timidamente.                                      | _____                                                                                   |
| 30'                | <b>P</b> dialoga com os alunos na intenção de caracterizar a Química como ciências dos materiais e entrega uma atividade para <b>A</b> responderem em casa. | Desenvolvimento histórico da Química; distinção entre os vários significados que a palavra química possui (material químico e não químico). | <b>A</b> participam e respondem várias perguntas feitas pelo <b>P</b> | <b>P</b> busca o diálogo e incentiva a participação dos <b>A</b> por meio de perguntas. |

### Aula 02 (5º horário) do dia 06/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                                                                                                                             | <b>Principais conteúdos</b>                             | <b>Ações dos participantes</b>             | <b>Comentários</b>                                                                          |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10'                | <b>P</b> faz uma breve revisão da discussão da aula anterior.                                                                                                                                               | Significados da palavra química.                        | <b>A</b> participam pouco.                 | <b>A</b> muito dispersos.                                                                   |
| 10'                | <b>P</b> retoma a discussão sobre o desenvolvimento da Química, não finalizada antes.                                                                                                                       | Desenvolvimento da Química na história.                 | _____                                      | _____                                                                                       |
| 30'                | <b>P</b> distribui entre os alunos vários produtos (frutas, verduras, sabonete, creme dental, perfume etc). A discussão passa a se desenvolver a partir da questão: “Quais destes objetos são sintéticos?”. | Matéria/materiais; material sintético/material natural. | <b>A</b> participam bastante da discussão. | Apesar da boa participação, os <b>A</b> muitas vezes se dispersam com os objetos entregues. |

## Aula 03 do dia 09/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                             | <b>Principais conteúdos</b>                                         | <b>Ações dos participantes</b>             | <b>Comentários</b>                     |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| 40'                | Leitura coletiva do texto “Química a serviço da humanidade” | Relações entre a Química e a indústria, saúde, o meio ambiente etc. | A leem e tiram dúvidas relativas ao texto. | _____                                  |
| 10'                | Entrega do texto “Raio-X e radioatividade”.                 | _____                                                               | _____                                      | P entrega texto para ser lido em casa. |

## Aula 04 (2º horário) do dia 13/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                            | <b>Principais conteúdos</b>                                              | <b>Ações dos participantes</b>                          | <b>Comentários</b>                                                         |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 8'                 | P organiza a sala e faz algumas considerações sobre a participação.                                        | _____                                                                    | A ouvem atentamente.                                    | A aula inicia atrasada.                                                    |
| 8'                 | P faz uma breve revisão das aulas anteriores.                                                              | Desenvolvimento da Química e sua importância para a sociedade.           | A participam da discussão.                              | Alguns poucos A se dispersam.                                              |
| 5'                 | P mostra alguns objetos (Lp, Cd, pen drive) e fala a respeito deles.                                       | Relação entre a Química e o desenvolvimento tecnológico.                 | A prestam atenção.                                      | Neste momento a aula se torna mais expositiva.                             |
| 12'                | P guia uma nova discussão a partir das perguntas: “O que é matéria”, “Água é matéria?”; “O ar é matéria?”. | Unidades estruturais da matéria: átomos e moléculas.                     | A participam da discussão.                              | P inicia uma nova discussão que vai caracterizar a segunda metade da aula. |
| 7'                 | P utiliza peças plásticas para representar algumas moléculas                                               | Átomos e moléculas.<br>Características das moléculas de metano e etanol. | A prestam atenção no modelo de plástico montado pelo P. | _____                                                                      |
| 10'                | P discute o conceito de radiação*.                                                                         | Materiais radioativos.                                                   | A participam de maneira limitada.                       | Grande parte dos A não leu o texto.                                        |

\* Nesta aula os alunos não leram o texto indicado, “Raio-X e radioatividade”, portanto na aula 05 a leitura foi coletiva em sala.

## Aula 05 (5º horário) do dia 13/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                           | <b>Principais conteúdos</b>                 | <b>Ações dos participantes</b>          | <b>Comentários</b>                                                                              |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7'                 | <b>P</b> organiza a sala e faz uma breve revisão do que foi discutido no final da aula anterior.          | Materiais radioativos.                      | <b>A</b> ouvem atentamente.             | _____                                                                                           |
| 6'                 | <b>P</b> dá continuidade a discussão e explica a origem de algumas radiações.                             | Regiões do átomo: núcleo e eletrosfera.     | <b>A</b> participam timidamente.        | <b>P</b> fala a maior parte do tempo.                                                           |
| 35'                | <b>P</b> propõe uma leitura coletiva do texto e faz breves interrupções para explicações.                 | Leitura do texto: “Raio-X e radioatividade” | <b>A</b> se revezam na leitura do texto | <b>A</b> aproveitam as interrupções para expor dúvidas.                                         |
| 2'                 | <b>P</b> cessa a leitura, pede para que os <b>A</b> terminarem a leitura em casa e entrega um novo texto. | _____                                       | _____                                   | <b>A</b> aguardam o fim da leitura do parágrafo e a entrega do texto para se retirarem da sala. |

## Aula 06 do dia 16/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                 | <b>Principais conteúdos</b>                                                                                          | <b>Ações dos participantes</b>     | <b>Comentários</b>                                                                               |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7'                 | <b>P</b> organiza a sala e dá avisos.                                                           | _____                                                                                                                | _____                              | <b>A</b> dispersos.                                                                              |
| 7'                 | <b>P</b> retoma a discussão relacionada ao texto da aula anterior.                              | Origem e aplicações da radioatividade.                                                                               | <b>A</b> participam da discussão.  | <b>A</b> aparentemente terminaram em casa a leitura do texto anterior e participam da discussão. |
| 32'                | <b>P</b> inicia a discussão do texto “O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX”. | Descoberta dos primeiros elementos radioativos.<br><br>Questões sócio-econômicas relacionadas à descoberta do rádio. | <b>A</b> participam da discussão.  | _____                                                                                            |
| 4'                 | <b>P</b> interrompe a discussão com o término da aula e                                         | _____                                                                                                                | <b>A</b> levantam apressadamente e | <b>P</b> não conclui a discussão.                                                                |

|  |                                                             |  |               |  |
|--|-------------------------------------------------------------|--|---------------|--|
|  | entrega “Lista de atividades I” para A responderem em casa. |  | saem da sala. |  |
|--|-------------------------------------------------------------|--|---------------|--|

## Aula 07 (2º horário) do dia 27/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                   | <b>Principais conteúdos</b>                      | <b>Ações dos participantes</b>      | <b>Comentários</b>                                 |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 14’                | P organiza a sala e fala dos assuntos que serão discutidos na aula.                               | _____                                            | A ouvem atentamente.                | Aula começa atrasada.                              |
| 20’                | P faz alguns experimentos demonstrativos (mistura em alguns tubos de ensaio diferentes soluções). | Processos químicos e processos físicos.          | A prestam atenção nos experimentos. | A fazem algumas perguntas.                         |
| 8’                 | P inicia discussão sobre emissões radioativas (alfa, beta e gama).                                | Processos radioativos.                           | A participam timidamente.           | _____                                              |
| 7’                 | P faz uma revisão breve de química geral.                                                         | Átomos, elementos químicos, núcleo, eletrosfera. | A interrompe a discussão.           | A tem dificuldade em compreender alguns conceitos. |
| 1’                 | P interrompe a revisão com o término da aula.                                                     | _____                                            | A saem apressadamente.              | P não conclui a discussão.                         |

## Aula 08 (5º horário) do dia 27/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                       | <b>Principais conteúdos</b> | <b>Ações dos participantes</b> | <b>Comentários</b>                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 5’                 | P retoma brevemente a discussão interrompida no final da última aula. | Radioatividade.             | _____                          | _____                                                            |
| 5’                 | P contextualiza o acidente do Césio 137 ocorrido em Goiânia.          | _____                       | A participam da discussão.     | _____                                                            |
| 40’                | Exibição do filme “Césio 137 – o pesadelo de Goiânia”.                | _____                       | _____                          | Surgem alguns problemas técnicos no início da exibição do filme. |

## Aula 09 (6º horário) do dia 27/02/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                       | <b>Principais conteúdos</b> | <b>Ações dos participantes</b> | <b>Comentários</b> |
|--------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 50'                | Exibição do filme “Césio 137 - o pesadelo de Goiânia” | _____                       | _____                          | _____              |

## Aula 10 (2º horário) do dia 05/03/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                              | <b>Principais conteúdos</b>                                                                                                        | <b>Ações dos participantes</b>                             | <b>Comentários</b>                        |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 14'                | <b>P</b> inicia discussão sobre o filme exibido.                                             | _____                                                                                                                              | <b>A</b> prestam atenção.                                  | Aula começa atrasada.                     |
| 34'                | <b>P</b> fomenta a discussão sobre os conceitos científicos envolvidos na história do filme. | Radiações eletromagnéticas e decaimentos radioativos.<br><br>Questões sócio-político-econômicas envolvidas no acidente em Goiânia. | <b>A</b> participam da discussão e fazem várias perguntas. | <b>A</b> em alguns momentos se dispersam. |
| 2'                 | <b>P</b> interrompe a discussão devido ao término da aula.                                   | _____                                                                                                                              | <b>A</b> saem apressadamente.                              | <b>P</b> não conclui a discussão.         |

## Aula 11 (5º horário) do dia 05/03/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                      | <b>Principais conteúdos</b>                                                                                           | <b>Ações dos participantes</b>                             | <b>Comentários</b>                        |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 5'                 | <b>P</b> retoma a discussão do final da última aula.                                                 | _____                                                                                                                 | <b>A</b> participam da discussão.                          | _____                                     |
| 36'                | <b>P</b> continua a fomentar a discussão sobre os conceitos científicos envolvidos no filme exibido. | Emissões radioativas.<br><br>Biofísica e radiações de fundo.<br><br>Questões sociopolíticas envolvidas no acidente de | <b>A</b> participam da discussão e fazem várias perguntas. | <b>A</b> se dispersam em vários momentos. |

|    |                                                                                     |                                                        |                                  |                                                                     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                     | Goiânia.                                               |                                  |                                                                     |
| 8' | <b>P</b> relaciona o acidente de Fukushima à discussão.                             | Perigos e benefícios da utilização da energia nuclear. | <b>A</b> continuam participando. | <b>A</b> se posicionam a respeito da utilização da energia nuclear. |
| 1' | <b>P</b> interrompe a discussão com o término da aula e passa uma tarefa para casa. | _____                                                  | _____                            | <b>P</b> não conclui a discussão.                                   |

## Aula 12 (2º horário) do dia 29/03/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>                                                                                      | <b>Principais conteúdos</b>                                                        | <b>Ações dos participantes</b> | <b>Comentários</b> |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 15'                | Exibição dos vídeos reportagens: “Visita a Chernobyl (2001) – TV Globo”, “Região evacuada em Fukushima – TV Record”. | Acidente radioativo ocorrido nas usinas de Chernobyl, URSS, e de Fukushima, Japão. | _____                          | _____              |
| 35'                | Entrega da “Lista de atividades II” para responder em sala.                                                          | Implicações dos acidentes ocorridos em Chernobyl e Fukushima.                      | _____                          | _____              |

## Aula 13 (5º horário) do dia 29/03/2012

| <b>Tempo (min)</b> | <b>Atividades desenvolvidas</b>            | <b>Principais conteúdos</b> | <b>Ações dos participantes</b> | <b>Comentários</b> |
|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 50'                | Aplicação da “Atividade avaliativa final”. | _____                       | _____                          | _____              |