



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de São José do Rio Preto

Rafael Gombrade

**A interpretação da física das radiações ionizantes
por meio da leitura de textos**

São José do Rio Preto
2018

Rafael Gombrade

**A interpretação da física das radiações ionizantes
por meio da leitura de textos**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino e Processos Formativos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Londero da Silva

São José do Rio Preto
2018

Gombrade, Rafael.

A interpretação da física das radiações ionizantes por meio da
leitura de textos / Rafael Gombrade . -- São José do Rio Preto, 2018
219 f. : il.

Orientador: Leandro Londero da Silva

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio
Preto

1. Física – Estudo e ensino. 2. Análise do discurso. 3. Leitura. 4.
Radiação. I. Título.

CDU – 53(07)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

Rafael Gombrade

**A interpretação da física das radiações ionizantes
por meio da leitura de textos**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino e Processos Formativos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Leandro Londero da Silva
UNESP – Campus de São José do Rio Preto
Orientador

Prof^a. Dr^a. Maria José Pereira Monteiro de Almeida
UNICAMP – Campinas

Prof. Dr. Roberto Nardi
UNESP – Bauru

São José do Rio Preto
3 de agosto de 2018

Dedico este trabalho aos meus pais,
Anita e Vanderlei, por construírem o
alicerce do meu caráter e por me
deixarem como legado o
conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de forma especial ao meu pai, Vanderlei, e à minha mãe, Anita, pelo amor, carinho, paciência e por não medirem esforços para que eu pudesse ter uma educação escolar de qualidade. Obrigado por acreditarem em mim!

Agradeço a minha irmã Bianca pelos bons momentos que compartilhamos; por todas as manhãs em que tínhamos que acordar às cinco da madrugada para irmos até Catanduva estudar; obrigado também pelo carinho, companheirismo e pela amizade.

Agradeço também a minha esposa, Natália, pelos dez anos de namoro (obrigado por ter esperado tanto!), por ter me ajudado a segurar as pontas, por compartilhar bons momentos e por estar ao meu lado durante toda essa jornada.

A todos os meus professores, pelo empenho e dedicação que tiveram comigo durante toda minha trajetória escolar e acadêmica. Cada um de vocês tem uma parte significativa nesse trabalho.

Ao meu orientador, prof. Dr. Leandro Londero, pela orientação, dedicação, paciência, pelo conhecimento que me proporcionou, pela disposição em fornecer os materiais necessários para a realização desse trabalho (principalmente os livros!), por acreditar que esse trabalho seria feito com extrema seriedade e qualidade, e pela amizade construída nesses anos.

À nossa equipe de pesquisa “Susana Lehrer de Souza Barros”, pelas reuniões sempre produtivas, e em especial ao Igor e ao Lucas por auxiliarem na revisão bibliográfica dos trabalhos citados nessa dissertação.

Ao CARP, em especial meus sinceros agradecimentos a Kellén Arado por permitir o desenvolvimento da pesquisa e pelo apoio incondicional e também à Gisélia Casimiro pelo suporte e auxílio na digitalização e fotocópia dos materiais.

À UNESP do campus de São José do Rio Preto, em especial a Simone Taino por contribuir com o suporte técnico com as digitalizações, impressões e fotocópias.

À banca de qualificação, formada pelos professores Fabiana Cristina Komesu e Henrique Cesar da Silva, pelas inúmeras contribuições que trouxeram para esse trabalho.

Aos professores Dra Maria José Pereira Monteiro de Almeida e Dr Roberto Nardi, por participarem da banca de defesa e por darem suas contribuições na versão final deste trabalho.

Finalmente, a Hugo Giazzi Senhorini, pela amizade e pela revisão final deste trabalho.

*Educação não transforma o mundo.
Educação muda as pessoas. Pessoas
transformam o mundo.*

Paulo Freire.

RESUMO

A Física das Radiações é um conteúdo previsto nos currículos escolares. Nota-se, no entanto, que ela não tem sido um item prioritário na prática pedagógica da maioria dos professores da escola básica. A partir da constatação de que o ensino da Física das Radiações constitui um desafio para professores, objetivamos investigar o funcionamento da leitura e da interpretação da Física das Radiações Ionizantes por alunos do ensino médio quando da leitura de textos de divulgação científica. Procuramos encontrar resposta para o seguinte problema: Como acontece e que aspectos marcam o funcionamento da leitura e a interpretação da Física das Radiações Ionizantes por alunos do ensino médio quando da leitura de textos de divulgação científica? Optamos por um modelo de pesquisa de abordagem qualitativa, na qual identificamos livros e textos de divulgação científica que abordam a “Física das Radiações Ionizantes” para a elaboração e implementação de um episódio de ensino. O episódio foi implementado em turmas de 3º ano do Ensino Médio. Como instrumentos de coleta de informações, damos ênfase ao uso de produções textuais e vídeo-gravação. Para a análise dos dados, levamos em consideração os aportes teóricos da Análise de Discurso de linha Francesa, a partir das produções de Michel Pechêux e das obras de Eni Orlandi. As análises indicaram que: a) a leitura de textos de divulgação científica e a utilização de questionários formulados com questões abertas podem favorecer o surgimento de discussões não restritas apenas aos conteúdos da física e aos assuntos abordados no texto; b) houve predomínio de repetições formais (o “dizer com suas palavras”) sucintas e/ou superficiais nas respostas aos primeiros questionários, mas que com o passar das aulas, ainda que houvesse um predomínio de repetições formais, surgiram repetições históricas presentes nos discursos dos alunos; c) os estudantes, em geral, apontaram a unidade de ensino como relevante, uma vez que auxiliou no aprendizado de conceitos que não costumam ser explorados ou mesmo mencionados durante o ciclo básico.

Palavras-chave: Análise de discurso. Ensino de física. Leitura de textos. Radiações ionizantes.

ABSTRACT

Radiation Physics is intended content in school curriculum. On the other hand, it is noteworthy that it has not been a priority item in pedagogical practice of most of the Primary School teachers. Based at basic observation that the teaching of Radiation Physics is a challenge for teachers, we aim to investigate the reading and interpretation of Radiation Physics by high school students when reading scientific texts. According to the proposed objective, we formulated the problem that structures this research and we present it as follows: How and what aspects mark the functioning of the reading and the interpretation of the Physics of Ionizing Radiation by high school students when reading texts of scientific dissemination? We chose a research model with a qualitative approach, in which we identified books and texts of scientific divulgation that approach the "Ionizing Radiation Physics", so that they could be developed with the students. As instruments of information gathering, we emphasize the use of textual productions and video-recording. For the analysis data, we take into account the theoretical contributions of French Discourse Analysis, based on the production by Michel Pechêux, and Eni Orlandi's oeuvre. The reading of texts of scientific dissemination and the use of questionnaires formulated with open questions can favor the emergence of discussions. This being not restricted only to the contents of Physics addressed to in the text. Though there was a predominance of formal repetitions (the "saying with his words"), there were historical repetitions present in the students' discourses more and more as the course continued; and the students, in general, pointed to the teaching unit as relevant, since it assisted on learning concepts that are not usually explored or even mentioned during High School.

Keywords: Discourse Analysis. Ionizing Radiation. Physics teaching. Text reading.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBILCE	Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
PNLL	Plano Nacional do Livro e Leitura
FMC	Física Moderna e Contemporânea
MEC	Ministério da Educação
UNDIME	União dos Dirigentes Municipais de Educação
CONSED	Conselho Nacional de Secretários de Educação
EM	Ensino Médio
UE	Unidade de Ensino
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
TLS	Teaching Learning Sequence
TFC	Teoria da Flexibilidade Cognitiva
PhET	Physics Educational Technology
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
AD	Análise do Discurso

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	15
FIGURA 2: O TRIFÓLIO RADIOATIVO.....	68
FIGURA 3: SÍMBOLO DO RISCO BIOLÓGICO.....	71
FIGURA 4: FORMAS DE AQUISIÇÃO DE LIVROS PELOS BRASILEIROS.....	90
FIGURA 5: GÊNEROS LITERÁRIOS PREFERIDOS DE ACORDO COM A FAIXA ETÁRIA.....	92
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DE ALICE SOBRE A RADIOATIVIDADE.....	105
FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO DE BRUNA SOBRE A RADIOATIVIDADE.....	105
FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DE MIGUEL SOBRE A RADIOATIVIDADE.....	106
FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO DE RAFAELA SOBRE A RADIOATIVIDADE.....	106

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: CONTEÚDOS DE MATÉRIA E RADIAÇÃO DE FÍSICA PARA A 3ª SÉRIE.....	25
QUADRO 02: QUANTITATIVOS ENCONTRADOS NOS PERIÓDICOS REVISADOS.....	30
QUADRO 03: LIVROS DE DIVULGAÇÃO SELECIONADOS PARA A CONSTRUÇÃO DA UNIDADE DE ENSINO.....	63
QUADRO 04: SÍNTESE DA UNIDADE DE ENSINO.....	64
QUADRO 05: COMPETÊNCIAS E HABILIDADES DO ENEM CONTEMPLADAS NA UE.....	68
QUADRO 06: LISTA DE DOSES PARA PACIENTES EM EXAMES RADIOLÓGICOS.....	73

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 1. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	15
1.1. A FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES: DEFINIÇÃO E BREVE DESCRIÇÃO HISTÓRICA	15
1.2. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NOS DOCUMENTOS EDUCACIONAIS BRASILEIROS (PCN, PCN+, ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O ENSINO MÉDIO, BNCC, CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO PAULO)	20
1.3. AS PESQUISAS SOBRE O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	27
1.3.1. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES EM LIVROS E/OU MATERIAIS IMPRESSOS.....	30
1.3.2. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES EM ESPAÇOS NÃO-FORMAIS	32
1.3.3. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA	33
1.3.4. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE PROPOSTAS DE ENSINO E RECURSOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DA FÍSICA DE RADIAÇÕES IONIZANTES	34
CAPÍTULO 2. A LEITURA NO ENSINO DA FÍSICA ESCOLAR	46
2.1. A LEITURA NOS DOCUMENTOS EDUCACIONAIS BRASILEIROS (PCN, PCN+, ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O ENSINO MÉDIO, BNCC, CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO PAULO E PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO DE LEITURA)	46
2.2. AS PESQUISAS SOBRE A LEITURA DE TEXTOS NO ENSINO DE FÍSICA.....	51
2.2.1. A LEITURA NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS/FÍSICA	52
2.2.2. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE PROPOSTAS PARA O ENSINO DA FÍSICA POR MEIO DA LEITURA DE TEXTOS	54
CAPÍTULO 3. A PESQUISA E OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	60
3.1. OBJETIVOS, PROBLEMA, QUESTÕES NORTEADORAS E JUSTIFICATIVAS.....	60
3.2. A NATUREZA DA PESQUISA	61
3.3. AS CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DA PESQUISA	62
3.3.1. A IDENTIFICAÇÃO E REGISTRO DOS TEXTOS	62
3.3.2. UMA UNIDADE DE ENSINO PARA A FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	63
3.3.3. O LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO, OS SUJEITOS E COLETA DE DADOS	76
3.3.4. O REGISTRO DAS INFORMAÇÕES	78
3.4. O TRATAMENTO DOS DADOS: O REFERENCIAL TEÓRICO DE ANÁLISE.....	79
3.4.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE DE DISCURSO.....	79
3.4.2. CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO PARA A LEITURA E INTERPRETAÇÃO DOS TEXTOS.....	85
CAPÍTULO 4. A LEITURA E A INTERPRETAÇÃO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES.....	88
4.1. DISCURSOS SOBRE HÁBITOS DE LEITURA	88
4.2. DISCURSOS SOBRE RADIAÇÃO E RADIOATIVIDADE	93

4.3. OS DISCURSOS DE ALICE, BRUNA, RAFAELA E MIGUEL	97
4.3.1. DISCURSOS SOBRE MEIA-VIDA E EMISSÕES RADIOATIVAS α , β E γ	98
4.3.2. AULA 03, 04 E 05 – RÖNTGEN, BECQUEREL E O CASAL CURIE: SUAS CONTRIBUIÇÕES NOS CAMPOS DA RADIAÇÃO E DA RADIOATIVIDADE	102
4.3.3. AULA 06 E 07 – USINAS NUCLEARES E O LIXO ATÔMICO	109
4.3.4. AULA 08 – ACIDENTES RADIOATIVOS DE CHERNOBYL E GOIÂNIA	113
4.3.5. AULA 09 – EXPERIMENTO TRINITY	117
4.3.6. AULA 10 – APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	120
CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE – A	147
APÊNDICE –B.....	216

INTRODUÇÃO

A presente dissertação, exigida para obtenção do título de mestre em Ensino e Processos Formativos, surgiu de um trabalho realizado anteriormente com o meu orientador, o professor Dr. Leandro Londero. Antes de ingressar na licenciatura em Física do IBILCE, da Unesp, em São José do Rio Preto, concluí o bacharelado em Física Biológica no mesmo campus, no ano de 2013. Após a conclusão do curso e a não admissão na pós-graduação em biofísica molecular, solicitei o reingresso para realizar a licenciatura, com o objetivo de manter vínculo acadêmico e atuar futuramente como professor. Com o passar do tempo, adquiri um profundo interesse e desejo em prosseguir nessa área, realizando contato com os professores e buscando uma linha em que pudesse iniciar uma pesquisa para posteriormente desenvolver meu trabalho de conclusão de curso. Após alguns meses, entrei em contato com o professor Leandro, que se mostrou interessado em dividir comigo seus conhecimentos e em orientar-me no que seria o início de uma parceria de sucesso.

Enquanto aluno de graduação, realizei sob sua orientação uma pesquisa que analisava a maneira pela qual a física das partículas elementares é apresentada nas coleções didáticas do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), triênio 2014-2016. A partir desse trabalho, aprofundei meus conhecimentos dentro dessa área pouco abordada no curso de Física, além de apresentar trabalhos em congressos destinados à área de ensino de Física, como é o caso, por exemplo, do **2nd World Conference on Physics Education**.

Tendo concluído esse trabalho e a licenciatura, discutimos outra temática na qual pudéssemos desenvolver um trabalho que acarretasse em contribuições importantes para o ensino de Física, além da possibilidade de extrair conhecimento teórico, tal qual ocorreu com o estudo anteriormente desenvolvido no tópico de física de partículas elementares. O interesse em realizar o mestrado partiu de duas frentes. A primeira, como possibilidade de abrir uma janela de oportunidades, já que meu objetivo sempre foi atuar em Institutos Federais, os quais já vêm solicitando dos candidatos o grau mínimo de mestre. O segundo motivo foi continuar adquirindo conhecimento dentro da área de ensino, pois já venho atuando há um ano como professor de Física e penso ser extremamente importante estudar e buscar diferentes maneiras de atuar no processo de ensino-aprendizagem junto a meus alunos. Perante isso, meu orientador sugeriu que realizássemos um trabalho com a temática da Física

das Radiações a partir da leitura de livros de divulgação científica e o submetêssemos como parte das avaliações para o ingresso no curso de mestrado do Programa de Pós-graduação em Ensino e Processos Formativos a UNESP/IBILCE. A partir disso, desenvolveu-se esse trabalho até que culminasse nesta dissertação.

A dissertação, conforme se apresenta, é composta por cinco capítulos, os quais passamos a descrever sinteticamente a seguir.

No primeiro capítulo, apresenta-se uma introdução aos conceitos de radiação ionizante e radioatividade, além do panorama histórico acerca das radiações. Iniciamos essa abordagem a partir dos experimentos de Wilhelm Röntgen com tubos de Crookes, partindo de experimentos anteriores sobre raios catódicos, os quais culminaram na descoberta dos raios X. Na sequência, apresentamos Henri Becquerel e seus primeiros trabalhos que investigavam a fluorescência emitida por sais que continham urânio em sua composição. Em seguida, são discutidas as contribuições de Marie e Pierre Curie, que investigaram os efeitos da radioatividade e culminaram na descoberta de dois novos elementos químicos, o Polônio e o Rádio. Finalmente, apresentamos a revisão bibliográfica referente aos estudos que possuem a radiação ionizante como foco central. A revisão foi realizada utilizando o banco de teses e dissertações da CAPES, atas de congressos da área de ensino de ciências e revistas de ensino de ciências.

O segundo capítulo é reservado aos documentos oficiais (PCN, PCN+, Orientações Curriculares para o Ensino Médio, BNCC e Currículo do Estado de São Paulo) e o que eles apresentam sobre a leitura na Educação Básica. Em seguida, apresenta-se uma revisão da literatura de teses, dissertações e artigos científicos que destacam o uso ou a aplicação da leitura como instrumento para o ensino de conteúdos de Física. Os trabalhos selecionados possuem como referencial teórico a Análise do Discurso, o mesmo a ser utilizado em nossa pesquisa, o que auxiliará as análises que realizaremos.

O terceiro capítulo é destinado inicialmente à exposição do objetivo, do problema de pesquisa, das questões de estudo e das justificativas que levaram à realização deste trabalho. Na sequência, discutem-se as condições de produção da Unidade de Ensino e a identificação e registro dos textos que a constituem. Além disso, dissertamos sobre o local de implementação da unidade de ensino, os sujeitos participantes, a coleta e o registro dos dados obtidos. Ao final do capítulo, apresenta-se mais detidamente a Análise de Discurso.

No quarto capítulo, iniciamos a apresentação dos sentidos atribuídos à Física das Radiações Ionizantes pelos alunos, após a implementação da Unidade de Ensino. Aqui, serão apresentados os resultados da pesquisa.

Por fim, no quinto capítulo, apresentam-se as conclusões do estudo, as considerações finais e, também, possíveis questões a serem discutidas e respondidas em um trabalho futuro.

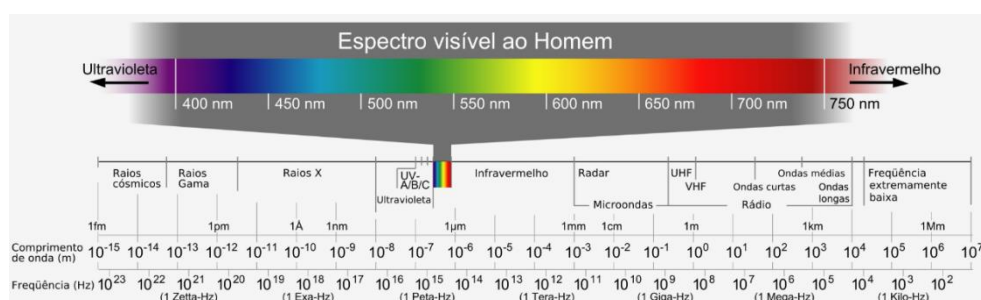
CAPÍTULO 1. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

1.1. A FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES: DEFINIÇÃO E BREVE DESCRIÇÃO HISTÓRICA

De acordo com Okuno (2007, p. 11) a radiação é definida como “uma forma de energia, emitida por uma fonte e que se propaga de um ponto a outro sob forma de partículas com ou sem carga elétrica, ou ainda sob a forma de ondas eletromagnéticas”. Para Lima (2007), o termo radiação refere-se tanto a partículas quanto a ondas eletromagnéticas. A radiação constituída de partículas elementares é denominada radiação corpuscular. No que diz respeito à origem destas partículas, algumas têm origem em processos de desintegração nuclear (elétrons, pósitrons, partículas alfa, neutrinos) e outras são obtidas através de processos de fissão nuclear (nêutrons, múons, mésons).

Já a radiação eletromagnética, também denominada energia eletromagnética ou energia ionizante, é constituída de ondas eletromagnéticas, que são campos elétricos e magnéticos oscilantes (perpendiculares entre si), que se propagam no vácuo com a velocidade da luz ($c = 3.10^8$ m/s) e são dispostos em um espectro eletromagnético (figura 1) de acordo com seu comprimento de onda ou sua frequência.

Figura 1: O espectro eletromagnético



Fonte: <http://www.antonioguilherme.web.br.com/blog/wp-content/uploads/2015/02/espectro_eletromagnetico.jpg>. Acesso em: 5 jul. 2018.

Durante vários séculos houve muita polêmica quanto à natureza da luz, se ela era uma onda ou se era constituída de partículas. No início do século XX, com os experimentos de Max Planck, realizados com o aquecimento extremo de materiais, este concluiu que “A radiação é absorvida ou emitida por um corpo aquecido não sob a forma de ondas, mas por meio de pequenos ‘pacotes’ de energia”. Cada um destes

pacotes foi denominado **quantum**, atualmente conhecido como **fóton**, e isso reforçou a teoria de que a luz teria um caráter corpuscular. Albert Einstein propôs que, quando a luz é absorvida ou emitida por um corpo, em alguns casos ocorre o fenômeno fotoelétrico, em que elétrons são arrancados de seus átomos devido ao choque com os fótons.

Com as conclusões de Einstein sobre o efeito fotoelétrico, de que ondas luminosas possuem características de partícula, Louis de Broglie teve a ideia oposta, ou seja, a de que a matéria poderia possuir características ondulatórias. De Broglie conseguiu relacionar comprimento de onda com massa, sendo grandezas inversamente proporcionais, por isso, o caráter ondulatório de objetos que vemos no dia a dia é desprezível, porém, o de partículas subatômicas como fótons e elétrons é evidente, o que satisfaz a experiência de Young e ao mesmo tempo a ideia do quantum.

A energia E de cada fóton (partícula) é calculada a partir da equação (1) que correlaciona o caráter de partícula com o de onda:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34}$ J·s;

c é a velocidade da luz;

ν é a frequência da onda eletromagnética;

λ é o comprimento de onda.

A energia, geração e forma de interação com a matéria caracterizam cada tipo de radiação, que pode ser classificada em dois tipos: a) radiação ionizante (conhecidas como radiações de alta energia) e b) radiação não-ionizante (radiações de baixa energia).

Este trabalho tem como foco as radiações ionizantes e o fenômeno da radioatividade. Perante isso, não entraremos em detalhes acerca das radiações não-ionizantes.

O termo **radiação ionizante** é utilizado para designar a radiação que tem energia suficiente para remover elétrons de átomos ou moléculas, possuindo a

capacidade de criar íons livres, num processo conhecido como ionização. Como resultado, esses átomos ou moléculas tornam-se eletricamente carregados.

Por sua vez, o conceito de **radioatividade** é definido como o processo de desintegração espontânea do núcleo atômico de determinados elementos com emissão de partículas ou radiação eletromagnética, em geral, partículas alfa, beta ou radiação gama. A radioatividade pode ocorrer de forma natural, como é encontrado em alguns materiais, e também ser induzida artificialmente, um processo realizado principalmente em laboratórios de pesquisa.

Ao fim do século XIX, surgiram fenômenos que estremeceram as bases da ciência até então conhecida. Com o advento do elétron, da radiação X e da radioatividade, os cientistas imediatamente devotaram imensos esforços para compreendê-los. Como a Física Clássica não conseguia responder as questões que esses eventos suscitavam, uma nova ciência passou a ser construída: a Física das Radiações.

De acordo com Martins (2012), os primeiros trabalhos que abordaram a temática “radiações” foram realizados por Wilhelm Röntgen em oito de novembro de 1895, partindo de pesquisas anteriores com raios catódicos realizadas por Heinrich Hertz e Phillip Lenard. Nas palavras de Röntgen:

Eu havia seguido suas pesquisas e as de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro. Eu já estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo (RÖNTGEN apud MARTINS, 2012, p. 20).

Röntgen não tinha ideia da descoberta que havia feito. Algum tipo desconhecido de radiação que o fascinara emanava do tubo de raios catódicos e não era apenas invisível, como também permitia ver através dos objetos; não era luz, não era eletricidade.

Por seis semanas, o físico viveu em seu laboratório buscando entender que acontecimento era aquele e o que podia explicá-lo. No dia vinte e dois de dezembro daquele ano, o professor alemão conseguiu que a radiação atravessasse por 15 minutos a mão de sua mulher, Bertha, atingindo, do outro lado, uma chapa fotográfica. Ao revelar a chapa, podiam ser vistas as sombras dos ossos de Bertha, sendo essa a primeira radiografia da história. Na visão de Strathern (2000, p. 31), “perplexo quanto à natureza daqueles raios misteriosos, Röntgen atribui-lhes o símbolo matemático para uma quantidade desconhecida – e chamou-os de Raios X”.

Em 1901, Röntgen atinge o ápice de sua carreira como pesquisador ao ser agraciado com o primeiro prêmio Nobel de Física devido às suas contribuições nos estudos das radiações. De acordo com o comitê do Nobel, o prêmio lhe foi outorgado “em reconhecimento pelos extraordinários serviços que prestou com a descoberta dos raios incomuns que levam seu nome” (NOBEL, tradução livre), uma vez que os raios X também ficaram conhecidos como raios Röntgen.

A radioatividade, apesar de não ter essa designação, passou a atrair olhares de todas as partes, inclusive por Henri Becquerel logo após a descoberta de Röntgen. Segundo Martins (2012, p. 105), “a primeira pesquisa de Becquerel sobre a relação entre os raios X e luminescência foi apresentada à Academia de Ciências no dia 24 de fevereiro de 1896”. Em seu primeiro artigo, Becquerel aceita que os corpos luminescentes emitem raios X e ainda cita que esse fenômeno já havia sido previamente descrito por Charles Henry e Niewenglowski.

Ainda de acordo com Martins (2012), o segundo artigo publicado por Becquerel foi ainda mais importante, pois nele o cientista descreveu novas observações realizadas a partir da emissão de radiação de cristais de sulfato duplo de urânio e potássio. O passo seguinte foi comparar essa radiação com as radiações produzidas por tubos de raios X, comparação por meio da qual ele observou que havia distinções entre o poder de penetração de cada radiação.

Por fim, Martins (2012, p. 131) nos mostra que, “até o início de 1898 – quando foi encontrada a emissão de radiação pelo Tório – não se deu muita atenção à pesquisa de Becquerel”. Essa citação apresentada pelo autor é de suma importância, uma vez que o trabalho de Becquerel era apenas mais um em meio à vastidão de pesquisas realizadas num curto intervalo de tempo sobre as radiações, mostrando ao leitor que Becquerel não foi o único a trabalhar com a radioatividade; termo esse que só seria criado posteriormente.

O passo seguinte nessa nova revolução veio por meio do casal mais famoso da área científica: Marie e Pierre Curie. De acordo com Strathern (2000, p. 38), “Marie Curie havia acompanhado as descobertas de Röntgene Becquerel com grande interesse, discutindo-as com Pierre como sempre”. Em dezembro de 1897, Marie iniciou seus trabalhos estudando a radiação emitida por sulfato de potássio urânio, realizando uma réplica do experimento de Becquerel. Em seguida, começou a estudar diferentes compostos de urânio, entre eles alguns sais de Urânio e a pechblenda (forma mineral do óxido de urânio).

Ao longo de seus experimentos, Marie Curie notou que só uma coisa afetava a quantidade de radioatividade: a quantidade de urânio presente na amostra. Nas palavras de Strathern (2000, p. 40), “a fonte da radioatividade não eram compostos de urânio: essa propriedade pertencia aos próprios átomos de urânio”. A partir dessa constatação, surgiu uma nova dúvida: seria essa propriedade exclusiva do urânio? Para responder essa questão, Marie recorreu a sais de elementos que possuíam peso atômico próximo do urânio, como o tório. Ao reproduzir o mesmo experimento com o óxido de tório, Marie não teve dúvidas: o tório também era radioativo.

Essa descoberta (emissão de radiação do tório) provocou o interesse de Marie Curie que, junto com o marido Pierre Curie, descobriu novos elementos químicos naturalmente radioativos (polônio e o rádio), permitindo elucidar a natureza complexa da radiação nuclear. A partir de então, esse fenômeno passou a ser denominado de radioatividade. Pelo trabalho desenvolvido junto com Becquerel, Marie e Pierre foram laureados com o prêmio Nobel de Física em 1903. Becquerel foi agraciado com o prêmio pela sua descoberta da radioatividade espontânea e o casal Curie, em reconhecimento pelas pesquisas conjuntas sobre os fenômenos da radiação descobertos pelo professor Henri Becquerel.

Strathern (2000) apresenta as dificuldades de analisar o rádio devido às condições para a produção desse elemento. De acordo com o autor:

Os Curie estavam decididos a examinar as propriedades desse novo notável elemento (o rádio), que parecia emitir um fluxo contínuo de intensa energia, sem com isso se reduzir. Para examinar o rádio, porém, iriam precisar de uma grande quantidade de pechblenda. Só começando com quantidades quase industriais desse minério teriam condições de produzir rádio em quantidades suficientes para lhes permitir determinar seu peso atômico e analisá-lo (STRATHERN, 2000, p. 45).

Dessa maneira, os Curie conseguiram acesso a uma mina em St. Joachimsthal, na Boêmia (hoje na República Tcheca), a qual produzia prata e urânio, porém havia entre os resíduos a pechblenda, minério que apresenta traços do recém descoberto rádio.

No galpão desativado, localizado no terreno onde se localizava a Escola de Física e Química Industriais de Paris, Marie Curie deu início a sua jornada de reduzir toneladas de pechblenda a minúsculas quantidades de rádio. Ainda de acordo com Strathern (2000, p. 52), “Marie assumiu o papel de químico para fazer a extração de rádio, ao passo que Pierre usava a física para investigar a natureza da radioatividade desse elemento”. A partir de suas análises, Pierre descobriu, dentre outras coisas,

que os raios beta possuíam carga negativa – ao passo que Rutherford detectou as características de cargas das radiações alfa (positiva) e gama (neutras).

Por fim, Strathern (2000) expõe que no início de 1902 Marie Curie havia finalmente conseguido produzir um décimo de grama de rádio. Para tanto, havia sido necessário processar mais de uma tonelada (mil quilos) de refugo de pechblenda à razão de 20 quilos por vez. Nas palavras do autor:

Essa quantidade minúscula havia sido suficiente para permitir a Demarçay identificar o espectro do rádio e determinar seu peso atômico — dissipando assim, de uma vez por todas, qualquer dúvida que ainda pairasse de que o rádio era realmente um elemento. No fim das contas, Marie processou quase dez toneladas de refugo de pechblenda em seu hangar — das quais conseguiu finalmente extrair um grama inteiro de rádio. (STRATHERN, 2000, p. 61).

Graças a seus esforços, Marie foi novamente agraciada com o prêmio Nobel, agora em química, no ano de 1911. De acordo com o comitê do Nobel, o segundo prêmio lhe foi outorgado “em reconhecimento dos seus serviços para o avanço da química com a descoberta dos elementos rádio e polônio, pelo isolamento do rádio e o estudo da natureza dos compostos deste elemento notável”.

Marie Curie é, até hoje, a única mulher a receber o prêmio Nobel em duas ocasiões (1903 e 1911). Além disso, também é a única pessoa que foi condecorada em duas áreas científicas distintas. Esse gigantesco sucesso faz dela uma das cientistas – senão “a cientista” – mais importante da história da ciência moderna.

A radioatividade conduziu a ciência para uma nova era. A partir dos trabalhos e esforços desses e de outros cientistas foi possível realizar grandes avanços tecnológicos, daí a preocupação e a necessidade de um ensino sobre radiações mais eficaz.

1.2. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NOS DOCUMENTOS EDUCACIONAIS BRASILEIROS (PCN, PCN+, ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O ENSINO MÉDIO, BNCC, CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO PAULO)

Apesar de pouco explorado no Ensino Médio, o ensino das radiações segue previsto nos currículos como um dos conteúdos de Física Moderna que deveria ser abordado, pois se trata de um assunto com diferentes aplicações práticas, podendo ser ministrado no contexto de uma abordagem interdisciplinar. O tema radioatividade é parte integrante dos currículos do Ensino Médio e superior de Física no Brasil; é um

tema atual, sendo recomendado pelos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN e, mais recentemente, nas Orientações Curriculares Nacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio PCN+, para a elaboração de práticas pedagógicas que possibilitem o desenvolvimento de competências diversas, como representação e comunicação, investigação e compreensão, contextualização sociocultural.

No que diz respeito aos PCNs, o início da elaboração desse documento se deu em 1995, sendo que ao final daquele mesmo ano já havia a versão preliminar, a qual foi exposta a diferentes instituições e especialistas, reunidos pela Secretaria do MEC para, em seguida, ser encaminhada para análise por especialistas de universidades e secretarias de educação municipais e estaduais. A produção da versão final dos PCNs foi aprovada pelo Conselho Federal de Educação em 1997 para 1ª a 4ª série, sendo, posteriormente, transformados num conjunto de dez livros, cujo lançamento ocorreu no Dia do Professor, em 15 de outubro de 1997.

Os PCNs são apresentados não como um currículo, mas sim como subsídio para apoiar o projeto da escola na elaboração do seu programa curricular. A grande novidade presente nesse documento estava nos Temas Transversais, como, por exemplo, o Meio Ambiente. Dessa forma, os PCNs trazem orientações para o ensino das disciplinas que formam a base nacional, e mais cinco temas transversais que permeiam todas as disciplinas, com o objetivo de auxiliar a escola a cumprir seu papel constitucional de fortalecimento da cidadania.

Esses parâmetros têm por finalidade apresentar uma proposta para a maneira de selecionar os conteúdos que auxiliem no desenvolvimento das habilidades e competências de modo contextualizado e interdisciplinar, a fim de estruturar a prática pedagógica e contribuir para um aprendizado significativo dos conceitos físicos por parte dos estudantes.

Em virtude das críticas feitas a este primeiro documento, uma versão mais detalhada foi constituída no ano de 2002, denominada Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). De acordo com essa nova proposta,

A ideia central expressa na nova Lei, e que orienta a transformação, estabelece o Ensino Médio como etapa conclusiva da educação básica de toda a população estudantil – e não mais somente uma preparação para outra etapa escolar ou para o exercício profissional. Isso desafia a comunidade educacional a pôr em prática propostas que superem as limitações do antigo Ensino Médio, organizado em duas principais tradições formativas, a pré-universitária e a profissionalizante (BRASIL, 2002, p. 8).

Dentre os seis temas estruturadores presentes no PCN+ (1- Movimentos: variações e conservações; 2- Calor, ambiente e usos de energia; 3- Som, imagem e informação; 4- Equipamentos elétricos e telecomunicações; 5- Matéria e radiação e 6- Universo, Terra e Vida), o tema cinco, *Matéria e radiação* apresenta-se como uma possibilidade real de inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) dentro do Ensino Médio, auxiliando no desenvolvimento das competências e habilidades. De acordo com o documento, o conteúdo de FMC apresenta-se fundamental na compreensão, tanto da constituição da matéria quanto da natureza do mundo microscópico, pois

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e *lasers* presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo da **matéria e radiação** indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico (BRASIL, 2002, p. 19; grifo nosso).

Dessa maneira, os PCN+ orientam a inserção da FMC como uma exigência que cada vez mais se faz necessária, devido ao avanço das novas tecnologias e ao consequente surgimento de discussões ao redor de temáticas que envolvam os conceitos de Física Moderna, como as radiações, uma vez que

Introduzir esses assuntos no Ensino Médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática (BRASIL, 2002, p. 28).

Como a maior parte dos fenômenos discutidos depende da interação da radiação com a matéria, torna-se adequado atribuir uma perspectiva no sentido de discutir os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes, além de caracterizar as radiações que compõem o espectro eletromagnético, por meio de suas diferentes formas de interagir com a matéria.

Já as Orientações Curriculares para o Ensino Médio foram inicialmente elaboradas em 2004. Desde então, definiu-se um andamento que garantisse a articulação de representações da universidade, das Secretarias Estaduais de Educação e dos professores para alcançar uma produção final que correspondesse às necessidades reais das relações de ensino-aprendizagem.

Em 2006, a partir de ampla discussão com as equipes técnicas dos Sistemas Estaduais de Educação, professores e alunos da rede pública e representantes da comunidade acadêmica, as Orientações Curriculares enfim estavam concluídas. O documento tem como objetivo contribuir para o diálogo entre professor e escola sobre a prática docente, uma vez que a qualidade da escola é condição essencial de inclusão e democratização das oportunidades no Brasil, e o desafio de oferecer uma educação básica de qualidade para a inserção do aluno, o desenvolvimento do país e a consolidação da cidadania é tarefa de todos. De acordo com as orientações,

A proposta foi desenvolvida a partir da necessidade expressa em encontros e debates com os gestores das Secretarias Estaduais de Educação e aqueles que, nas universidades, vêm pesquisando e discutindo questões relativas ao ensino das diferentes disciplinas. A demanda era pela retomada da discussão dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, não só no sentido de aprofundar a compreensão sobre pontos que mereciam esclarecimentos, como também, de apontar e desenvolver indicativos que pudessem oferecer alternativas didático-pedagógicas para a organização do trabalho pedagógico, com a finalidade de atender às necessidades e às expectativas das escolas e dos professores no que diz respeito a estruturação do currículo para o Ensino Médio (BRASIL, 2006, p. 8).

Para tanto, as Orientações Curriculares apontam que os métodos de ensino devem ser modificados, de forma a capacitar o aluno a desenvolver uma atitude reflexiva e autocrítica diante dos possíveis erros, com o propósito de aperfeiçoar o processo de aprendizagem do estudante, como, por exemplo, propor atividades de elaboração de hipóteses e construção de modelos.

O documento, no que diz respeito aos conhecimentos de Física no Ensino Médio, destaca a importância das **competências e dos saberes escolares** na relação didática, uma vez que a formação crítica do aluno exige a capacidade de discutir abertamente questões que devem estar amparadas em sólida formação científica e tecnológica; a importância do **projeto de ensino**, o qual passa pela relação didática estabelecida na escola quando há um projeto de ensino com intenção de aprendizagem (essa relação é construída por um conjunto de regras que determinam as obrigações e as responsabilidades que ocorrem entre professor e aluno); **a contextualização**, por meio da qual se busca problematizar essa relação entre o que

se pretende ensinar e as explicações e concepções que o aluno já possui, pois a natureza faz parte tanto do mundo cotidiano como do mundo científico; por fim, o documento destaca a importância da **interdisciplinaridade**, por meio da qual um determinado assunto não se insere em uma única disciplina, já que seu objeto de investigação é mais complexo. De acordo com as Orientações Curriculares,

Não basta uma justaposição de várias disciplinas para atingir a competência crítico-analítica mencionada. Trata-se da construção de um novo saber a respeito da realidade, recorrendo-se aos saberes disciplinares e explorando ao máximo os limites e as potencialidades de cada área do conhecimento (BRASIL, 2006, p. 52).

No caso do estado de São Paulo, para apoiar o trabalho realizado nas cinco mil escolas, a Secretaria Estadual de Educação desenvolveu, em 2008, por meio da Coordenadoria de Gestão da Educação Básica, um currículo para os níveis de ensino Fundamental – Ciclo II e Médio. O Currículo do Estado de São Paulo apresenta os princípios orientadores para uma escola capaz de promover as competências indispensáveis ao enfrentamento dos desafios sociais, culturais e profissionais do mundo contemporâneo.

Com essa medida, a Secretaria de Educação objetivou fornecer uma base comum de conhecimentos e competências que, utilizadas por professores e gestores das mais de cinco mil escolas estaduais paulistas, permitisse que essas unidades funcionassem, de fato, como uma rede articulada e pautada pelos mesmos objetivos. Segundo o documento estadual;

O documento aborda algumas das principais características da **sociedade do conhecimento** e das pressões que a contemporaneidade exerce sobre os jovens cidadãos, propondo princípios orientadores para a prática educativa, a fim de que as escolas possam se tornar aptas a preparar seus alunos para esse novo tempo. Priorizando a competência de leitura e escrita, esta proposta define a escola como espaço de cultura e de articulação de competências e conteúdos disciplinares (SÃO PAULO, 2008, p. 8).

No que diz respeito aos conteúdos de FMC, o currículo estadual apresenta o tema **Matéria e Radiação**, que tem como finalidade aproximar os estudantes do Ensino Médio dos desenvolvimentos recentes da Física. Assim,

Nesse tema, será tratada a organização microscópica da matéria e sua relação com as propriedades macroscópicas conhecidas, a exemplo das condutividades térmica e elétrica. A radiação e as formas de emití-la e absorvê-la são responsáveis por parte importante das tecnologias modernas e seus benefícios, como em certas lâmpadas e equipamentos de tratamento e diagnóstico médico e com os perigos de que é preciso ter consciência (SÃO PAULO, 2008, p. 48).

No quadro 01, reproduzimos a disposição dos conteúdos do tema Matéria e radiação no Currículo de Física a ser desenvolvido na 3ª Série.

Conteúdos gerais	Conteúdos específicos
Matéria: suas propriedades e organização	• Modelos atômicos e de organização de átomos e moléculas na constituição da matéria para explicação das características macroscópicas observáveis; • Constituição e organização da matéria viva, suas especificidades e suas relações com os modelos físicos estudados; • Os modelos atômicos de matéria (Rutherford, Bohr).
Átomo: emissão e absorção da radiação	• A quantização da energia para explicar a absorção e a emissão da radiação pela matéria; • O problema da dualidade onda-partícula; • Sistematização das radiações no espectro eletromagnético e sua utilização pelas tecnologias a elas associadas (por exemplo, em laser, emissão e absorção de luz, fluorescência e fosforescência etc.).
Núcleo atômico e radioatividade	• Transformações nucleares que dão origem à radioatividade e o reconhecimento de sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; • A natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar o seu uso (por exemplo, em indústria e medicina); • Radioatividade e radiações ionizantes e não-ionizantes: efeitos biológicos, ambientais e medidas de proteção.

Quadro 01 – Disposição dos conteúdos do tema Matéria e Radiação, do Currículo de Física a ser desenvolvido na 3ª Série (SÃO PAULO, 2008, p. 59)

De acordo com a proposta, a disciplina de Física, bem como seus tópicos, deve garantir o estudo de diferentes campos de fenômenos e diferentes formas de abordagem, privilegiando a construção de um olhar investigativo sobre o mundo real, privilegiando assim uma aprendizagem significativa.

Por sua vez, mais recentemente, no ano de 2015, o governo federal brasileiro anunciou a criação de um documento para servir de base para a elaboração dos currículos de todas as escolas de educação básica do Brasil, denominado Base Nacional Curricular Comum (BNCC), a qual já estava prevista no Plano Nacional de Educação (PNE). A primeira versão do documento, instaurada em 2015, foi disponibilizada para consulta pública entre outubro de 2015 e março de 2016, recebendo mais de 12 milhões de contribuições individuais, de organizações, de

associações científicas, de membros da comunidade científica e de redes de educação de todo o País.

Em maio de 2016, o MEC publicou a segunda versão da BNCC, a qual foi submetida a um comitê que, de acordo com o documento, foi composto por

[...] professores universitários, atuantes na pesquisa e no ensino das diferentes áreas de conhecimento da Educação Básica, docentes da Educação Básica e técnicos das secretarias de educação, esses dois últimos indicados pelo Conselho Nacional de Secretários de Educação (CONSED) e pela União Nacional de Dirigentes Municipais de Educação (UNDIME). Coube ao Comitê a redação dos documentos preliminares da BNCC, disponibilizados à consulta pública pela Secretaria de Educação Básica do Ministério da Educação (SEB/MEC) entre setembro de 2015 e março de 2016 (BRASIL, 2016, p. 28).

Com a homologação concedida pelo MEC, a BNCC passa a orientar os currículos de todas as escolas brasileiras, ou seja, um documento prescritivo de referência na construção e na organização de currículos para a Educação Básica de todas as Redes Públicas e Privadas das esferas municipais, estaduais e do Distrito Federal. Por consequência, os outros documentos prescritivos (PCN e PCN+) não terão mais peso normativo, mas apenas orientador.

Na BNCC serão incluídos os “objetivos de aprendizagem” a serem considerados pelos professores e coordenadores na hora de elaborar o projeto pedagógico da escola e o currículo das aulas de Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio. De acordo com a proposta, a BNCC terá como finalidade evidenciar os conhecimentos essenciais aos quais todos os estudantes brasileiros têm o direito de ter acesso e de se apropriar durante sua trajetória na Educação Básica.

No que diz respeito ao conteúdo de Física, a BNCC indica a importância de apresentar as leis e os princípios da Física, uma vez que estas auxiliam na descrição e interpretação do mundo a nossa volta. Assim, temos a possibilidade de observar e analisar situações por meio de representações, modelos e teorias com alto grau de abstração a partir do uso de uma linguagem e metodologia próprias.

A BNCC enaltece a Física como construção humana, ressaltando a importância de se considerar a sua história como uma maneira de se compreender a ciência como uma instituição social, a qual apresenta implicações de natureza política, econômica e ética. Dessa maneira:

O conhecimento proporcionado pela Física é social, o que traz implicações de natureza política, econômica e, também, ética. As dimensões histórica e social nos ajudam a perceber a Física como conhecimento produzido em um contexto complexo de relações e demandas sociais, em uma via de mão dupla com o desenvolvimento tecnológico. Saber Física e sobre a Física contribui para entender e posicionar-se criticamente frente a questões técnico-científicas da atualidade, que envolvem diversos interesses e grupos sociais. O conhecimento físico, com seus conceitos, leis, grandezas e relações matemáticas, ganha mais significado se utilizado em problemáticas reais, como ao se comparar riscos e benefícios de diferentes fontes de energia, compreender a necessidade de cuidados na instalação de equipamentos, ou avaliar efeitos biológicos da radiação, tornando-se, assim, um instrumento de participação mais consciente e consistente na sociedade. A Física integra, desse modo, a cultura em seu sentido amplo, e deve ser tratada em contextos históricos, sociais que, ao lado de outros saberes, constituem um segundo eixo formativo para o aprendizado da Física (BRASIL, 2015, p. 144).

Por outro lado, a BNCC ressalta que o conhecimento da Física também exige “o domínio das práticas de sua produção, compreendidas como um conjunto de procedimentos, métodos e técnicas de investigação, de natureza teórica ou experimental” (2015, p. 145). O documento ainda deixa transparecer que os estudantes da Educação Básica não são pequenos cientistas, mas a prática da investigação, envolvendo procedimentos relativos à observação, à formulação de hipóteses, à argumentação, entre outros, acarreta no desenvolvimento de um “olhar científico” para o mundo.

Tendo finalizado a apresentação dos documentos que regem o ensino de Física no Brasil, passamos a apresentar um panorama do levantamento das pesquisas com foco no ensino da Física das Radiações Ionizantes.

1.3. AS PESQUISAS SOBRE O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

A radioatividade e a radiação estão entre os conceitos do conhecimento científico poucos conhecidos ou considerados complicados. As opiniões a respeito deles são apresentadas sem um embasamento científico adequado e facilmente há avaliações errôneas sobre o tema, tendo essa desinformação raiz na formação básica. Durante a educação básica conceitos como radioatividade raramente são apresentados e quando isso ocorre, na maioria das vezes, cabe às disciplinas de Química e Física.

Já no Ensino Superior, apenas em algumas áreas das ciências exatas o assunto é discutido com maior aprofundamento, significando que se não for formado

em exatas, o estudante que só tenha visto radioatividade no ensino básico, não poderá ser um bom divulgador do conhecimento sobre o tema.

Visando conhecermos as pesquisas já realizadas sobre o ensino da Física das Radiações Ionizantes, e para estabelecermos relações entre os resultados obtidos nos estudos mapeados e aqueles que iremos obter, realizamos um levantamento bibliográfico em teses e dissertações, em periódicos da área de Ensino em Ciências/Física, tanto nacionais quanto internacionais, e em atas dos congressos.

A busca pelas produções foi realizada por meio, no título, resumo ou palavras-chave, dos seguintes termos: **Radioatividade; Radiação; Física Nuclear; Decaimento Radioativo; Marie Curie; Becquerel; e Usinas de Energia Nuclear.**

Destacamos que foram registrados em nosso levantamento apenas trabalhos diretamente relacionados ao ensino de Física, ou seja, descartamos aqueles estudos que tratam de descrições conceituais, matemáticas ou históricas de um determinado conteúdo físico.

A catalogação das teses e dissertações foi realizada por meio de consulta ao Banco de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). De acordo com as informações presentes no sítio eletrônico da CAPES, o Banco de Teses faz parte do Portal de Periódicos desta agência e constitui-se em uma ferramenta de busca e consulta a resumos de teses e dissertações defendidas em todo o país nos cursos de doutorado e mestrado reconhecidos pela CAPES. As informações presentes no banco são fornecidas à CAPES pelos programas de pós-graduação, que se responsabilizam pela veracidade dos dados.

Após identificarmos as teses e dissertações, passamos para a etapa de localização e acesso ao texto completo destas produções. Para tanto, acessamos o portal do Ministério da Educação denominado “Domínio Público”. Ele foi lançado em 2004 e é uma biblioteca digital desenvolvida em software livre que permite a coleta de obras científicas, artísticas e literárias, na forma de textos, sons, imagens e vídeos que tenham a sua divulgação autorizada. Quando não foi possível obtermos acesso aos textos completos por meio do portal “Domínio Público”, acessamos os sites dos programas nos quais os estudos foram realizados.

Na continuidade, mapeamos as produções divulgadas em congressos da área de Educação em Ciências e registradas em suas respectivas atas. Utilizamos como critério para a seleção dos congressos a serem revisados o fato de eles serem

destinados especificamente para a comunidade de Educadores em Física ou de Educadores em Ciências. Outro aspecto que levamos em consideração é o de possuímos os anais ou as atas de todas as edições realizadas. Assim, optamos por revisar as atas de três congressos que consideramos como os de maior expressão em nossa comunidade nacional, sendo eles: Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF (I até a XXI edição), Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – EPEF (I até a XIV edição) e o Encontro Nacional de Educação em Ciências – ENPEC (I até a IX edição).

Tendo concluída a revisão das teses e dissertações e dos trabalhos registrados nas atas dos eventos, iniciamos a revisão dos periódicos nacionais. Optamos por revisar os 14 periódicos com maior relevância para a área de Ensino de Ciências. Assim, os periódicos revisados foram: **Alexandria** – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia (V. 1 ao V. 9), **Caderno Brasileiro de Ensino de Física** (V. 1 ao V. 33), **Ciências em Foco** (Nº 1 ao Nº 4), **Ciência em Tela** (V. 1 ao V. 9), **Ciência & Educação** (V. 1 ao V. 22), **Ciência & Ensino** (Nº 1 ao Nº 12 – V. 1 ao V. 4), **Ensaio** – Pesquisa em Educação em Ciências (V. 1 ao V. 17), **Experiências em Ensino de Ciências** (V. 1 ao V. 11), **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces** (V. 1 ao V. 13), **Investigações em Ensino de Ciências** (V. 1 ao V. 21), **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia** (V. 1 ao V. 9), **Revista Brasileira de Ensino de Física** (V. 1 ao V. 38), **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências** (V. 1 ao V. 16), **Tear**: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia (V. 1 ao V. 5).

Ressaltamos que alguns trabalhos identificados em congressos são parte de dissertações de mestrado ou teses de doutorado. Nesses casos, optamos por descrever apenas as sínteses dos trabalhos originais.

No quadro 02, a seguir, sintetizamos os quantitativos encontrados nos diferentes meios de publicação.

Tipo de Publicação		Quantitativos
Periódico	Alexandria – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia	---
	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	1
	Ciências em Foco	---
	Ciência em Tela	1
	Ciência & Educação	1
	Ciência & Ensino	---
	Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências	---

	Experiências em Ensino de Ciências	1
	História da Ciência e Ensino: construindo interfaces	
	Investigações em Ensino de Ciências	1
	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	---
	Revista Brasileira de Ensino de Física	1
	Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências	---
	Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia	---
	Tese	2
	Dissertação	19
Atas de Congresso	EPEF	8
	SNEF	27
	ENPEC	9

Quadro 02 – Quantitativos encontrados nos diferentes meios de publicação

Optamos por descrever os estudos mapeados por focos de investigação. Na próxima seção, descrevemos estes estudos e as categorias nas quais eles se encontram.

1.3.1. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES EM LIVROS E/OU MATERIAIS IMPRESSOS

Nesta seção, relatamos os estudos que investigam a maneira pela qual o conteúdo é apresentado em livros didáticos e/ou matérias impressos. Encontramos 8 trabalhos que se enquadram nessa categoria: Pinto, Silva e Ribeiro (2017); Schreiber et al. (2016); Santos (2014); Cordeiro e Peduzzi (2013); Schmiedecke (2012); Miquelin (2012); Silva e Pereira (2011); Valente (2008).

Valente (2008) expõe como os livros didáticos de Física do Ensino Médio selecionam e organizam o conteúdo de Física Nuclear, verificando a maneira pela qual os aspectos científicos, tecnológicos e sociais são contemplados.

O trabalho de Silva e Pereira (2011) discute a necessidade da abordagem de assuntos de relevância social em livros didáticos de ciências, tais como as radiações ionizantes que fazem parte da vida do homem, diariamente exposto a vários tipos de fontes de radiação. Para tanto, os pesquisadores investigaram como essa temática se insere em alguns livros do nono ano do ensino fundamental indicados pelo PNLD.

Tendo como foco a Energia Nuclear, Schmiedecke (2012) buscou estabelecer

analisar o desconhecimento dos licenciandos e recém-formados em Física do histórico que envolve a energia nuclear enquanto ciência, além da baixa efetividade das ações desses sujeitos na formação de cidadãos conscientes a respeito dessa modalidade energética. Para isso, além da identificação da forma pela qual os livros didáticos do PNLD apresentam – quando apresentam – o tema Energia Nuclear, o pesquisador também desenvolveu e aplicou uma sequência didática a um grupo de licenciandos em Física de uma instituição pública da cidade de São Paulo sobre essa temática.

Com o intuito de verificar se a radiologia é contemplada no Ensino Médio, e quando contemplada se é feita corretamente, Miquelin (2012) realizou um levantamento referente a conteúdos de radiologia que pudessem aparecer em alguns livros didáticos de Física e Química do PNLEM. Os tópicos escolhidos para a pesquisa foram os raios X, radioatividade e tomografia computadorizada.

Cordeiro e Peduzzi (2013) analisam de que forma a Teoria da Transposição Didática de Yves Chevallard ocorre em um livro usado em disciplinas de estrutura da matéria e afins (**Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**, de Eisberg e Resnick) sobre o conceito radioatividade, e de que maneira isso implica na formação de professores e futuros cientistas.

Visto que as radiações ultravioletas representam um assunto de importância socioambiental e tendo em vista seus efeitos danosos sobre a saúde e a qualidade de vida das pessoas, Santos (2014) realizou um levantamento nos livros do PNLD de 2012, buscando analisar de que maneira esse assunto é tratado nessas coleções didáticas.

Em seu trabalho, Schreiber et al. (2016) desenvolveu atividades relacionadas ao tema raios X em sala de aula. Para isso, a pesquisadora fez uso de dois textos, sendo um deles sobre os raios X na medicina, retirado da coleção “Quanta Física”, e o segundo, sobre a segurança nos aeroportos, uma matéria do The New York Times de seis de agosto de 2012, com o título “Equipamentos de raios X causam preocupação em aeroportos”. A ideia era a de que os alunos entendessem a produção dos raios X e seu uso, uma vez que essa tecnologia está presente na sociedade.

Com o intuito de buscar entender quais motivos levam a ausência dos conteúdos relativos à radioatividade no Ensino Médio, Pinto, Silva e Ribeiro (2017) realizaram uma revisão bibliográfica em periódicos de circulação nacional, além da revisão do tema em livros didáticos aprovados pelo PNLD.

1.3.2. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES EM ESPAÇOS NÃO-FORMAIS

Nesta categoria encontram-se os estudos que utilizam espaços não-formais para o ensino de radiações. Identificamos 4 estudos, sendo eles os trabalhos de Pereira (1991), Nicioli Junior e Hosoume (2005), Andrade e Romero (2009) e Grassi (2010).

Pereira (1991) apresenta as respostas a um questionário respondido por alunos do Ensino Médio após uma visita a Usina Nuclear de Angra dos Reis. A conclusão que o pesquisador chegou foi a de que a excursão propiciou aos alunos uma aprendizagem mais significativa, uma vez que aborda discussões de caráter sócio-político-econômico. O pesquisador também destaca que os estudantes passaram a perceber a existência da questão do uso da energia nuclear e os problemas a ela relacionados.

O trabalho de Andrade e Romero (2009) teve como objetivo o desenvolvimento de um projeto de ensino sobre radiologia para pacientes do Hospital do Câncer. Essa proposta educativa foi composta por uma sequência de quatro atividades para alunos-pacientes do nível fundamental e médio. Dentre as atividades realizadas com esses alunos, podemos destacar a utilização de uma peça teatral, discussões temáticas entre professores, pacientes, pais e médicos, pôster ilustrativo e informativo, imagens históricas, análise de chapas de radiografia, produção de textos, desenhos e relatos.

Dentro dessa mesma perspectiva, encontramos o trabalho de Nicioli Junior e Hosoume (2005), uma vez que o público alvo dessa pesquisa abrangeu crianças e adolescentes portadores de câncer infantil, pacientes do Instituto de Oncologia Pediátrica, em período de tratamento. A idade varia de 7 a 17 anos em um total de nove entrevistados. A pesquisa consistiu em trabalhar individualmente com cada aluno, aos quais se pedia para que desenhassem o antes, o durante e o depois do tratamento de radioterapia.

Por fim, o trabalho de Grassi (2010) consistiu em analisar as impressões dos visitantes ao Centro de Informações do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CI-CRCN-CO), no mês de aniversário de vinte anos do acidente com o Césio-137 em Goiânia.

1.3.3. O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA

Aqui se encontram os estudos que abordam a questão da formação inicial e da formação continuada dos docentes. Nesta categoria, identificamos 7 trabalhos, nomeadamente os estudos de Salgado (2009), Silva (2011), Timm (2012), Faêda e Martins (2013), Araújo e Dickman (2013), Moura (2014) e Souza (2015).

Salgado (2009) discorre sobre a importância da compreensão de como o avanço das descobertas no campo da radioatividade contribuiu para a reformulação dos modelos atômicos, em busca de modelos capazes de explicar aquelas descobertas e fazer previsões a respeito da emissão de partículas e de energia pelos núcleos atômicos. A partir desse pressuposto, a pesquisadora pretendeu apropriar-se de recursos no âmbito das TIC para que o professor possa trabalhar esse assunto adequadamente com seus alunos em sala de aula no Ensino Médio.

Silva (2011) disserta acerca de argumentos que vão a favor da hipótese de que o tema Radiações Ionizantes é importante para a formação do professor de Física e merece maior atenção das pesquisas em Ensino de Física. De acordo com o pesquisador, é consensual entre os pesquisadores em ensino de ciências a necessidade de inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea nos currículos do Ensino Médio. Silva (2011) ressalta que as pesquisas convergem para uma mudança curricular e metodológica, tanto em nível médio quanto nos cursos de formação de professores.

Timm (2012) desenvolveu uma Disciplina Complementar de Graduação (DCG) destinada à formação inicial de professores, visando à articulação dos conteúdos de FMC e o tema transversal da saúde nos planejamentos didáticos dos licenciandos em Física.

A avaliação de uma proposta de disciplina optativa intitulada “Estudos Biológicos da Radiação (EBR)”, no contexto do projeto pedagógico do curso de licenciatura em Física, foi o tema do trabalho de Faêda e Martins (2013). As pesquisadoras investigaram aspectos curriculares na formação docente a partir de uma análise documental (documentos legais e o Projeto Pedagógico do Curso), visando compreender o papel da disciplina na matriz curricular.

A partir da investigação de sondagem conduzida durante a elaboração de um material didático, composto por textos e atividades para professores do Ensino Médio

sobre Energia Nuclear e Radioatividade (ENR), baseados na discussão de acidentes nucleares famosos, Araújo e Dickman (2013) realizam uma pesquisa junto aos professores de Física, Química e Biologia por meio de um questionário sobre sua prática docente, seu conhecimento sobre energia nuclear e radiação, e as dificuldades que eles encontram quando ensinam tópicos relacionados ao assunto.

Em sua dissertação de mestrado, Moura (2014) trabalhou com textos e atividades voltadas, entre outros assuntos, para as radiações ionizantes. O material produzido consistiu em um texto base que tinha como meta contextualizar os assuntos tratados por meio do desenvolvimento histórico. Essa pesquisa foi aplicada em um curso de extensão direcionado a professores de Física do Ensino Básico e posteriormente adaptado para disciplinas do curso de licenciatura em Física.

Por sua vez, Souza (2015) investigou a postura de professores diante de uma proposta inovadora em sala de aula mediante a implementação das novas tecnologias no Ensino de Ciências. A um grupo de doze professores de diferentes áreas das Ciências da Natureza foi apresentado um experimento sobre radiações ionizantes e não-ionizantes. Posteriormente, foi requisitado a cada um deles que opinassem sobre o valor educacional do recurso apresentado e que sugerissem uma metodologia pedagógica de exploração do experimento apresentado, levando em conta os aspectos próprios da disciplina que ministravam e a importância da interdisciplinaridade e da exploração de temas transversais.

1.3.4. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE PROPOSTAS DE ENSINO E RECURSOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DA FÍSICA DE RADIAÇÕES IONIZANTES

Encontramos um total de 52 estudos nesta categoria. Os autores destacaram vários recursos utilizados para a mediação da Física das Radiações. Listamos a seguir os principais recursos citados: textos de divulgação científica, as simulações computacionais, mapas conceituais, vídeos, debates, animações e imagens, debates em grupo e explicações orais do professor. Nesta categoria encontram-se: Souza e Valle (2017); Cardoso, Viana e Cardoso (2017); Matos, Santana e Barbosa (2017); Borsato e Fernandes (2017); Fiuza (2016); Brugliato (2016); Soares (2015); Vilela (2015); Silva (2015); Moraes, Oliveira e Soares (2015); Batista (2015); Santos et al. (2015); Albuquerque e Ramos (2015); Calheiro e Del Pino (2015); Pereira (2014); Resquetti (2013); Dias (2013); Luz (2013); Motta, Cardoso e Macedo (2013); Shiino et

al (2013); Sorpreso (2013); Fortunato (2012); Silva (2012); Sá Alves et al. (2012); Vasconcelos e Leão (2012); Parisoto et al. (2012); Scheffler (2011); Costa et al. (2011); Moro e Moreira (2011); Dutra (2010); Souza e Germano (2009); Souza e Araujo (2009); Costa, Silva e Santiago (2009); Silveira et al. (2009); Sousa (2009); Pereira, Filho e Neves (2009); Prestes (2008); Sorpreso (2008); Lima (2007); Barragán, Mortimer e Leal (2007); Siqueira, Pietrocola e Ueta (2007); Oliveira (2006); Erthal (2006); Ferreira (2005); Silva, Morales e Rosa (2005); Souza e Silva (2003); Vieira (2003); Machado e Tomazello (2001); Pereira et al. (1997); Pereira (1995); Sant'anna (1993) e Macedo, Bilbao e Pinheiro Filho (1991).

Macedo, Bilbao e Pinheiro Filho (1991) pautaram seu trabalho na utilização do detector sólido de traços de CR-39 junto aos alunos do IF/UFF em aulas práticas de Física Nuclear (bacharelado) e Física Moderna II (licenciatura), com o propósito de potencializar o processo de ensino-aprendizagem dessas disciplinas. O uso de CR-39 se deu devido a sua eficiência em registrar fragmentos de fissão de núcleos pesados de grande poder de ionização. Os resultados apontaram que houve uma eficiência entre 70% a 90% na observação dos alunos em diversas práticas realizadas com esse método de detecção. Para os autores isso comprova que, além de sua aplicabilidade em trabalhos da área dura, o detector CR-39 também se mostra uma ferramenta didática interessante para os estudos das radiações.

A elaboração de uma apostila visando à inserção da Física Contemporânea no ensino de segundo grau surgiu como resultado do trabalho de Sant'anna (1993), em decorrência dos acidentes de Chernobyl em 1986 e de Goiânia no ano seguinte. Por ser um tema muito abrangente, a apostila contém tópicos relacionados com o surgimento da Física Nuclear e alguns benefícios que ela apresenta.

Pereira (1995) expõe o resultado de um questionário feito aos mais de três mil estudantes de escolas públicas e particulares de 2º grau da região metropolitana da Grande São Paulo que visitaram uma série de 50 painéis científicos ilustrativos sobre Física Nuclear e Raios Cósmicos. A análise dos questionários permitiu ao pesquisador verificar o nível de informação desses alunos quanto aos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, o que puderam aprender visitando as exposições, que importância os alunos deram às pesquisas realizadas em Física Nuclear e, por fim, que relação eles estabelecem entre o assunto das exposições e o que estudam na escola.

O trabalho de Pereira et al. (1997) apresenta uma proposta para o estudo da radioatividade e da energia nuclear, em virtude dos 50 anos do lançamento da primeira bomba atômica em Hiroshima no ano de 1995 e aos 10 anos do acidente de Chernobyl em 1996. Foi um trabalho desenvolvido na perspectiva interdisciplinar e o trabalho foi concluído com a apresentação de textos em linguagem jornalística.

Machado e Tomazello (2001) buscaram conhecer as dificuldades e as facilidades de professores e alunos na interpretação de negativos de fotografias, radiografias, tomografias e ultrassonografias, identificando-se assim, os obstáculos existentes na compreensão, por parte desses sujeitos, acerca dos fenômenos e conceitos físicos envolvidos na obtenção das imagens. Para isso, 16 professores de Física, ou que lecionam Física no Ensino Médio, 191 alunos do terceiro ano do Ensino Médio e 112 alunos do ensino superior foram convidados a responder um questionário semiestruturado e um teste com dupla escolha (certo/errado) sobre o tema da pesquisa, a partir da apresentação dos negativos. As respostas, de maneira geral, indicam que os conhecimentos adquiridos na escola, por meio do ensino tradicional de Física, se manifestam insuficientes para que os estudantes possam desenvolver uma alfabetização científico-tecnológica adequada à sociedade atual.

A introdução do estudo da Física Moderna e Contemporânea a partir de um caso de tratamento radioterápico foi o objeto de estudo de Vieira (2003). A autora pretendeu inserir a FMC utilizando uma abordagem interdisciplinar. A pesquisadora optou por um estudo interdisciplinar deste caso, efetuado em conjunto com os professores de Física, Química, Matemática e Biologia de uma mesma escola. Coube ao grupo de professores fazer estudos teóricos sobre o caso em questão e sobre o trabalho interdisciplinar, bem como a construção das estratégias de ensino. Como perspectivas futuras, a autora espera elaborar um material para um curso de Física Moderna, o qual possibilite avaliar as dificuldades encontradas pelo grupo de professores no desenvolvimento do mesmo e posteriormente verificar o impacto da experiência na visão dos alunos.

O objetivo do trabalho de Souza e Silva (2003) foi desenvolver uma abordagem que permita ao docente ter instrumentos para apresentar aos alunos os principais conceitos de Física Moderna, aplicados aos processos de Fusão Termonuclear, e que estivessem acessíveis a quaisquer professores. Para obter um processo de ensino-aprendizagem consistente e sistêmico, os autores buscaram desenvolver formas alternativas de Avaliação. A escolha destas formas alternativas de avaliação permitirá

avaliar como este conhecimento está sendo compreendido no ambiente de sala de aula.

Por sua vez, Silva, Morales e Rosa (2005) descrevem um exercício de física computacional resolvido utilizando um poderoso sistema de análise e visualização de dados, o ROOT, um software gratuito desenvolvido pela comunidade de físicos nucleares e de partículas elementares, sob a coordenação de uma equipe do CERN.

Ferreira (2005) realizou uma pesquisa que consistiu na elaboração e aplicação de um curso de Física das Radiações, com ênfase em suas aplicações, para alunos jovens e adultos. Após o levantamento das concepções prévias dos alunos, a pesquisadora utilizou-se de textos que trabalham o conceito de radiação e que ajudam a sanar as dificuldades e pré-conceitos encontrados nos alunos a respeito de radiação. A pesquisadora fez uso de revistas de divulgação científica como textos bases do curso elaborado, uma vez que, na visão da pesquisadora, esse tipo de leitura contribui para a formação de pessoas curiosas, que se vejam incompletas quanto ao conhecimento e que o busquem nos mais diversos veículos de comunicação.

Erthal (2006) elaborou uma proposta pedagógica de ensino das radiações eletromagnéticas, envolvendo alguns conceitos de Física Moderna. A proposta está fundamentada na teoria sócio-histórica-cultural de Vygotsky, que tem como um de seus princípios a interação social entre os indivíduos. Para trabalhar nessa perspectiva, o pesquisador optou pela confecção de um material que pudesse facilitar a comunicação entre os participantes da pesquisa.

Com o intuito de introduzir tópicos de física moderna no Ensino Médio, Oliveira (2006) realizou uma pesquisa com professores de física das redes e públicas e particulares. Com base nos dados obtidos, o pesquisador elaborou uma proposta metodológica com ênfase na abordagem CTS para trabalhar a temática de raios X.

O trabalho de Barragán, Mortimer e Leal (2007) se propôs a apresentar os resultados da avaliação piloto das ideias informais de estudantes de primeiro ano do Ensino Médio, sobre as radiações e suas tecnologias, buscando traçar as tendências gerais de pensamento desse público. Os temas abordados foram: energia nuclear, telefonia móvel, alimentos irradiados e radiação natural. Os resultados evidenciaram que a energia nuclear tem tido melhor aceitação devido às discussões sobre aquecimento global, mas ainda há preconceitos quanto às tecnologias da radiação.

Siqueira, Pietrocola e Ueta (2007) apresentam uma proposta de ensino que foi elaborada e desenvolvida por meio de uma analogia das radiografias com o papel

fotográfico. A atividade teve como objetivo auxiliar os alunos na compreensão do processo de produção dos raios X, das radiografias e das diferenças entre as tonalidades presentes nelas como consequência da absorção de diferentes materiais de densidades distintas. Para isso os autores procuraram fazer com que o aluno entendesse a natureza dos raios X, como ocorreu a sua descoberta, quais foram as consequências dela para o meio científico, bem como instigá-lo a buscar mais informações sobre a natureza da estrutura da matéria para compreender melhor os raios X. Para os pesquisadores, os objetivos foram alcançados, contribuindo para levar uma física mais atual para sala de aula e que possa dar uma nova motivação, ensinando um pouco mais sobre os raios X.

Em sua dissertação de mestrado, Lima (2007) realizou um estudo sobre a maneira como os assuntos relacionados com radiações são lecionados no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário. Assim, realizou-se um estudo por meio da aplicação de um questionário aos docentes da disciplina de Física e Química dos referidos níveis de ensino, em algumas escolas da área educativa de Leiria, em Portugal. Depois de analisados os resultados, o pesquisador elaborou uma sugestão de ensino sobre o assunto radiações.

Ao buscar compreender qual o imaginário de licenciandos em Física a respeito da inclusão da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, Sorpreso (2008) solicitou aos alunos que elaborassem episódios de ensino nos quais deveriam estar presentes uma das seguintes abordagens: História da Ciência; Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente; Resolução de Problemas e Linguagens no Ensino de Ciências.

Prestes (2008) buscou investigar as ideias que os alunos possuíam acerca das radiações. Para isso, a pesquisadora elaborou uma unidade de aprendizagem, pensada sob alguns pressupostos da educação ambiental, com uma perspectiva de ação interdisciplinar. A metodologia constou de quatro fases distintas, sendo a primeira a elaboração de um questionário que objetivou identificar as concepções prévias dos alunos sobre radiação; a segunda fase consistiu no desenvolvimento da unidade de aprendizagem; na terceira fase, foi elaborado um novo questionário com os alunos que não haviam participado da unidade de aprendizagem; e, por fim, na quarta fase, houve uma entrevista semiestruturada com cinco alunos que participaram da unidade de aprendizagem. De acordo com a pesquisadora, os dados mostraram

que os estudantes, apesar de apresentarem conhecer sobre o tema, apresentaram ideias desarticuladas e parcialmente corretas.

A investigação sobre se e sob quais condições o tema Energia Nuclear aparece no cenário escolar de nível médio na Baixada Fluminense (RJ) foi o tema do trabalho de Pereira, Filho e Neves (2009). A partir da metodologia do estudo de caso, os autores buscaram verificar, junto aos alunos e professores de escolas dessa região, se a temática Energia Nuclear tem sido abordada, e de que maneira. Os resultados desse estudo demonstraram que os meios de comunicação de massa têm contribuído para a disseminação do tema mais do que a educação formal. Contudo, os pesquisadores verificaram que a população discente participante deste estudo de caso, concludente do Ensino Médio, não está plenamente esclarecida sobre o tema Energia Nuclear.

Sousa (2009) elaborou uma sequência didática com o tema Física das Radiações voltada ao Ensino Médio, utilizando as noções de “marcadores” e “marcadores-estruturantes”, desenvolvidas no contexto da teoria da Transposição Didática de Chevallard. Dessa forma, foi elaborada uma proposta de um curso de física das radiações composto de textos e atividades adaptados a uma linguagem mais acessível à sala de aula e que auxiliam na compreensão dos conceitos abordados. Para o pesquisador, os resultados foram um sucesso, e ele indica por meio dos seus dados que é possível levar a física das radiações para a sala de aula no sentido de uma proposta inovadora.

Em seu trabalho, Silveira et al. (2009) definem uma nova e possível realidade de ensinar Física em cursos de Radiologia Médica, a partir de uma abordagem interdisciplinar relacionada à física das radiações.

A inserção de Tópicos de Radiação, na forma de seminários, foi o objeto central do trabalho de Costa, Silva e Santiago (2009), tendo como referencial pedagógico a ideia de promover uma aprendizagem significativa, enfocando diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Os resultados desse trabalho foram produzidos em duas etapas. Na primeira, foi aplicado um questionário para investigar o nível de conhecimento dos alunos a respeito da radiação e, na segunda, foi ministrado um seminário a respeito do tema. Foi perguntado aos alunos sobre já terem ouvido acerca de radiação, de acidente nuclear, de qualidade da radiação – se boa ou má – e da importância de saber mais sobre radiação. Com o questionário aplicado, os pesquisadores concluíram que os alunos conhecem pouco a respeito do tema, e

mais de 80% deles consideraram importante saber mais sobre Radiação. A partir do seminário ministrado, puderam observar motivação para conhecer o que foi exposto e a surpresa pelo caráter cotidiano da radiação, mostrando, assim, a necessidade de inserir, no Ensino Médio, tópicos sobre radiação.

A partir da elaboração de um pôster como material didático Souza e Araujo (2009) apresentam o resultado de uma pesquisa-ação realizada com alunos do Ensino Médio na disciplina Física, com objetivo de apropriação de conhecimentos significativos relacionados à produção de raios X e a radioproteção.

Souza e Germano (2009) apresentam uma análise do tratamento dado à Física Nuclear em livros didáticos de Física do Ensino Médio. Esta análise teve como finalidade subsidiar a produção de materiais de apoio ao desenvolvimento da uma proposta de ensino, objeto da dissertação de mestrado de um dos autores.

A forma de como se pensa o conceito de radiação está presente no trabalho de Dutra (2010), além de observar de que maneira se lida com tecnologias e situações relacionadas. Dutra (2010) também organizou e analisou essas ideias para formar as bases para uma abordagem dialógica sobre radiação e assuntos relacionados.

O principal objetivo de Scheffler (2011) foi avaliar as contribuições do uso da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud no ensino de radioatividade. Para isso, o pesquisador elaborou um mapa conceitual a fim de elencar os conceitos que seriam abordados. Na sequência, esses conceitos foram divididos com o intuito de constituírem uma unidade didática; sendo que essa pesquisa foi aplicada em uma turma de um curso técnico de radiologia, na disciplina de química aplicada. A partir da utilização desse referencial, o pesquisador conseguiu identificar possíveis invariantes operatórios e traçar a evolução conceitual de alguns alunos, confirmando as proposições de mudança conceitual.

Costa et al. (2011) investigou a percepção de 45 estudantes do Ensino Médio de um colégio da rede pública de Salvador (BA) sobre energia nuclear e suas aplicações. Aplicaram-se questionários semiestruturados, cujos resultados demonstraram que a maioria dos estudantes entrevistados não tem conhecimento científico suficiente que lhes permita opinar sobre o que é a energia nuclear, a energia elétrica, o Urânio e onde ele pode ser encontrado, tampouco sobre o conceito de usina nuclear e a possibilidade de uma unidade ser implantada na Bahia.

O trabalho de Parisoto, Moro e Moreira (2011) buscou potencializar a aprendizagem significativa e não mecânica, considerando os conhecimentos prévios

dos alunos, a partir da utilização da ultrassonografia, realizando a análise da produção e interação da radiação com a matéria, a fim de dar sentido aos conceitos de Física como Óptica, Eletromagnetismo e Física Moderna e Contemporânea.

Buscando relacionar a física com a saúde, Fortunato (2012) apresenta e discute a construção, a implementação e a avaliação de um módulo didático que trabalha especificamente com o assunto “Radiações Ultravioletas e as consequências para a saúde”, integrando, dessa forma, conteúdos de Física Moderna com efeitos biológicos no corpo humano.

Vasconcelos e Leão (2012) realizaram um estudo em uma escola da rede privada da cidade do Recife (PE), com 25 alunos, do 1º ano do Ensino Médio. Um dos focos foi avaliar a aplicação da estratégia **FlexQuest** sobre o ensino de radioatividade. A **FlexQuest** incorpora, dentro da **WebQuest**, a Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC), que é uma teoria de ensino, aprendizagem e representação do conhecimento, objetivando a proposição de estratégias para aquisição de níveis avançados do conhecimento. Os resultados obtidos revelaram que esta estratégia comporta recursos audiovisuais, e estes possibilitam aprendizagem desde que incorporados em estratégias com uma proposta construtivista de ensino e aprendizagem. Neste sentido, percebeu-se a eficácia da **FlexQuest** na construção de conceitos introdutórios de radioatividade, bem como na motivação para o estudo do tema.

A partir de um estudo realizado com alunos da rede pública e privada de Angra do Reis (RJ), Sá Alves et al. (2012) buscaram saber como está a compreensão de alunos acerca do tema Radioatividade. Para isso, os pesquisadores lançaram mão do uso de questionários e vídeos. Os resultados mostraram que o tema é limitado, chegando a ser de difícil acesso para os interessados, por mais que a escola seja a fonte de informação mais procurada pelos estudantes.

Silva (2012) analisou o desenvolvimento das linguagens relacionado a conceitos de Física e Cinematografia de alunos da 3ª série do Ensino Médio, em atividade sobre radiações ionizantes, buscando investigar se os processos de elaboração de um vídeo possibilitam o aprendizado de conceitos científicos de Física.

Por meio de uma proposta de aulas, Shiino et al. (2013) buscaram explorar a Física Nuclear e de Partículas e suas potencialidades para o contexto escolar do Ensino Médio regular e da Educação para Jovens e Adultos. Nessa proposta, a preocupação foi a de articular os aspectos da física com questões de natureza social, política, econômica e cultural, ou seja, com outras esferas do conhecimento. A partir

dos resultados, os pesquisadores perceberam que os estudantes procuram construir suas opiniões baseando-se nos discursos científicos abordados em sala, mas ainda demandam de uma postura mais crítica frente às tomadas de decisões.

Com o intuito de elaborar uma proposta metodológica para o ensino da radioatividade no nível médio, com enfoque nas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e na História e Filosofia da Ciência (HFC), Resqueti (2013) investigou como o tema radioatividade é apresentado nos livros didáticos de Física do PNLD/2012. Além das obras didáticas, foi aplicado um questionário a dez professores de Física da rede pública de ensino do Paraná, com o intuito de buscar dados informativos sobre o que eles pensam e vivenciam a respeito do tema. O pesquisador lançou mão da Análise de Conteúdo de Bardin para analisar as obras didáticas e as respostas dos professores. A partir das sugestões dos docentes, a sequência didática foi reconstruída de modo a atender às expectativas dos professores envolvidos.

Motta, Cardoso e Macedo (2013) relataram o processo de produção e aplicação de um projeto composto por oito aulas de Física contextualizadas de quarenta minutos cada, elaboradas a partir do tema “Produção de energia elétrica através de usinas termonucleares e hidrelétricas”.

Em seu trabalho, Luz (2013) identificou as concepções de profissionais com formação técnica em radiologia, atuantes no mercado de trabalho, quanto ao domínio dos conceitos de Física Moderna relacionados à sua profissão, assim como a valorização que dão aos conceitos relacionados a temática das Radiações.

A sugestão de um módulo didático com conceitos importantes sobre o tema Radioatividade é o foco do trabalho de Dias (2013), o qual foi direcionado aos professores do Ensino Médio, fundamentado na Aprendizagem Significativa de Ausubel. Um módulo didático foi projetado através do software livre **eXe Learning**. A organização do módulo didático incluiu cinco aulas, sendo ele organizado de acordo com os três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti.

Sorpreso (2013) trabalhou com elementos de Física Nuclear a partir da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) em uma disciplina oferecida nos anos iniciais da licenciatura em Física. A abordagem CTS é foi utilizada objetivando criar reflexões nos futuros professores de Física sobre a necessidade de rompimento com um ensino baseado apenas em cálculos e em resolução de exercícios e sobre a compreensão da Física Nuclear de forma ampla, ou seja, levando em consideração a

não neutralidade da Ciência, sua produção e as complexas relações estabelecidas com a sociedade e a tecnologia.

Pereira (2014) realizou um trabalho cujo cunho central foi proporcionar aos docentes de Física uma ferramenta que facilitasse e estimulasse o ensino das radiações por meio de medições experimentais simples, no caso, a construção de um contador Geiger. De acordo com o autor, um dos fatores que motivaram a elaboração do projeto foi o fato desses experimentos poderem ser feitos com materiais acessíveis e de baixo custo, o que facilita o ensino pela prática experimental.

Com o intuito de identificar as concepções de estudantes do 2º ano do Ensino Médio/Técnico acerca do tema da radioatividade, Santos et al. (2015) desenvolveram uma Situação de Estudo denominada “Radioatividade: quem disse que só faz mal?” Em sua realização, foi aplicado um questionário a estudantes matriculados em duas turmas de um Curso Técnico de Informática, com o objetivo de especular os conhecimentos destes alunos acerca de questões relativas à radioatividade.

Baseando-se na Teoria das Representações Sociais de Moscovici, Calheiro e Del Pino (2015) analisaram os resultados de uma amostra de 108 estudantes de uma escola pública, a partir de um instrumento de investigação. Essa pesquisa indicou que existe uma diversidade nas representações dos estudantes, mesclando elementos do senso comum com elementos, mesmo que superficiais, do conhecimento científico.

Soares (2015) utilizou, em duas turmas do Ensino Médio da rede pública, algumas maneiras de fazer uso do computador e de simuladores interativos para uma melhor compreensão de alguns fenômenos físicos sobre radiações. Nesse trabalho foram explorados os tópicos de espectroscopia, radioatividade e física nuclear usando as simulações interativas desenvolvidas pelo projeto Physics Educational Technology (PhET) da Universidade do Colorado. O pesquisador concluiu que o uso de tais simuladores interativos auxilia no processo de ensino de tais tópicos, ajudando em sua compreensão e despertando o interesse dos estudantes para o tema.

Por sua vez, Albuquerque e Ramos (2015) apresentam análises preliminares de roteiros de histórias em quadrinhos produzidos por estudantes do Ensino Fundamental de uma Escola Pública durante o desenvolvimento de uma prática diferenciada, envolvendo o tema radiação.

Buscando contribuir para a inserção da Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica e na possível atualização do currículo de Física, Batista (2015)

elaborou uma sequência de ensino-aprendizagem sobre o tema radioatividade, a partir dos pressupostos teóricos da Teaching Learning Sequence (TLS).

Motivados pela proposta de trabalhar FMC em um grupo de estudantes do 3º ano do Ensino Médio, Moraes, Oliveira e Soares (2015) utilizaram algumas maneiras de fazer uso do computador e de simuladores para uma melhor compreensão dos fenômenos físicos nesta área pouco estudada nas escolas. Para tanto, foram explorados os tópicos de Radioatividade e Física Nuclear, usando as simulações interativas do projeto “Physics Educational Technology” (PhET) da Universidade do Colorado. Dessa forma, possibilitou-se uma melhor compreensão dos fenômenos físicos, abordando temas da atualidade e proporcionando maior clareza do uso e aplicações destes temas no cotidiano do estudante.

Silva (2015) investigou o ensino de radiações ionizantes. O autor aplicou questionários a duas turmas do 3ª ano do Ensino Médio de uma escola da rede estadual de São Paulo, com o intuito de levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre radiação. Além disso, lançou mão de ferramentas como imagens, vídeos e simuladores computacionais com o objetivo de facilitar o entendimento do aluno a respeito de conceitos importantes como interação nuclear forte, radiação beta, radiação gama, meia-vida e efeitos biológicos da radiação.

Em seu trabalho, Vilela (2015) desenvolveu atividades com alunos do terceiro ano do Ensino Médio do EJA, com intuito de desmistificar a ideia de que toda forma de radiação é prejudicial, permitindo ao estudante identificar as principais formas de radiação, sua interação com a matéria, sua utilização na sociedade e possíveis meios de detectá-las.

Fiuzza (2016) apresenta uma proposta alternativa para trabalhar radiações ionizantes e não-ionizantes relacionando fatos do cotidiano com os conteúdos trabalhados em sala de aula, por intermédio de unidades temáticas. Para uma análise prévia, a pesquisadora fez uso de questionários para conhecer o que os alunos do terceiro ano do Ensino Médio conheciam sobre radiações ionizantes e não-ionizantes, e quais aspectos positivos e negativos eles conseguiam relacionar a esse tema.

Brugliato (2016) trabalhou com alunos do Ensino Médio a temática da física nuclear. A pesquisadora utilizou-se de textos como ferramenta que proporcionasse a alunos do Ensino Médio uma aproximação com diferentes tipos de discurso e possibilitasse a produção de sentidos sobre elementos da bomba atômica, além de ajudá-los a desenvolverem a habilidade de leitura.

O trabalho de Borsato e Fernandez (2017) teve como objetivo desenvolver uma sequência didática, voltada para o Ensino de Física Nuclear. Esta sequência foi estruturada segundo as Orientações Curriculares Nacionais, Orientações Curriculares do Ensino Médio do Estado do Rio de Janeiro e fundamentado teoricamente na perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

Visando uma prática diferenciada, Matos, Santana e Barbosa (2017) desenvolveram um projeto que teve como base o emprego de uma metodologia voltada para a criação de um simulador com ênfase em Física das Radiações, tendo em vista uma junção de conhecimentos específicos que levassem a uma melhor compreensão do que vem a ser a radioatividade, seus tipos de decaimento, fissão e fusão nuclear, explorando aplicações voltadas para esses fenômenos.

O trabalho de Cardoso, Viana e Cardoso (2017) teve como objetivo propor uma atividade inserida numa sequência para o estudo da Física das Radiações, com base nos PCN, para alunos do curso técnico em Mecânica Industrial de uma instituição federal localizada na Baixada Fluminense. A estratégia didática escolhida para iniciar a abordagem do acidente radioativo ocorrido em Goiânia foi a utilização de um documentário como um recurso de inserção de um tema CTS.

Souza e Valle (2017) apresentam uma proposta, ainda em fase de desenvolvimento, de uma sequência didática para o ensino de Física Nuclear, centralizada no conceito de Energia Nuclear, como complemento ao estudo de Física Moderna no Ensino Médio. A sequência didática tem como principais fundamentações teóricas psicopedagógicas o construtivismo de Vygotsky e a aprendizagem significativa de Ausubel.

A partir da introdução histórica a respeito das radiações ionizantes e da revisão bibliográfica realizada, no próximo capítulo discutiremos sobre questões de leitura, apresentando as recomendações contidas nos documentos educacionais e uma revisão dos trabalhos que envolvem a leitura no âmbito das pesquisas em Ensino de Ciências/Física.

CAPÍTULO 2. A LEITURA NO ENSINO DA FÍSICA ESCOLAR

2.1. A LEITURA NOS DOCUMENTOS EDUCACIONAIS BRASILEIROS (PCN, PCN+, ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O ENSINO MÉDIO, BNCC, CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO PAULO E PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO DE LEITURA)

A capacidade cognitiva tem grande influência na postura do indivíduo, vinculando-se diretamente ao uso de formas de representação e de comunicação, envolvendo a resolução de problemas. A aquisição progressiva de códigos de representação (como as letras do alfabeto) e a capacidade de operá-los (formar palavras, frases, textos etc.) interferem diretamente no processo de ensino-aprendizagem dos alunos. Sendo assim, é de fundamental relevância que os documentos oficiais apresentem e tratem sobre a importância do domínio da leitura e da escrita para a formação cidadã.

O PCN e o PCN+ apontam para a importância do domínio da leitura e da escrita no mundo moderno, uma vez que se espera que os alunos saibam reconhecer e utilizar símbolos, códigos e nomenclaturas próprios da linguagem científica da Física, conheçam as unidades e sejam capazes de relacioná-las, articular e interpretar sentenças, equações, esquemas, diagramas, tabelas, gráficos e representações geométricas, uma vez que se trata de um campo comum a toda a ciência e tecnologia, com sua nomenclatura, seus símbolos e códigos, suas grandezas e unidades, boa parte dos quais já inserida à linguagem cotidiana moderna. Dessa maneira,

A articulação dessa nomenclatura, desses códigos e símbolos em sentenças, diagramas, gráficos, esquemas e equações, a leitura e interpretação destas linguagens, seu uso em análises e sistematizações de sentido prático ou cultural, são construções características dessa área de conhecimento, mas hoje integram um instrumental igualmente necessário para atividades econômicas e para o pensamento social. Por isso, o desenvolvimento de códigos e linguagens em ciência e tecnologia deve ser tomado como um aspecto formativo de interesse amplo, ou seja, no ensino de cada disciplina científica, esse desenvolvimento não está somente a serviço dessa determinada ciência ou das ciências, mas sim promovendo uma competência geral de representação e comunicação (BRASIL, 2002, p. 24).

Entretanto, os documentos deixam claro que saber ler é mais do que possuir algum domínio da língua portuguesa. É necessário também dominar códigos e nomenclaturas da linguagem matemática, compreender e interpretar gráficos e relacioná-los à linguagem discursiva. Para mais, o aluno necessita analisar e

compreender a situação em sua totalidade, decidir sobre a melhor estratégia para resolvê-la, tomar decisões, argumentar e saber se expressar.

Além disso, tem-se que, se é pelas atividades de linguagem que o homem se constitui sujeito, só por intermédio delas é que tem condições de refletir sobre si mesmo. Pode-se ainda dizer que, por meio das atividades de compreensão e produção de textos, o sujeito desenvolve uma relação íntima com a leitura, fala de si mesmo e do mundo que o rodeia, o que viabiliza nova significação para seus processos subjetivos.

Podemos notabilizar que as atividades humanas são consideradas, continuamente, simbólicas. As Orientações Curriculares para o Ensino Médio apontam a linguagem como a ferramenta pela qual podemos interagir com esses símbolos, possuindo condições de refletir sobre si mesmo e sobre o mundo ao seu redor.

É por meio da linguagem que o indivíduo se constitui sujeito, por meio das atividades de compreensão e produção de textos, tornando possível o desenvolvimento de uma relação íntima entre leitura e escrita, o que viabiliza nova significação para seus processos subjetivos. Nesse sentido,

A lógica de uma proposta de ensino e de aprendizagem que busque promover letramentos múltiplos pressupõe conceber a leitura e a escrita como ferramentas de empoderamento e inclusão social. Some-se a isso que as práticas de linguagem a serem tomadas no espaço da escola não se restringem à palavra escrita nem se filiam apenas aos padrões socioculturais hegemônicos (BRASIL, 2006, p. 28).

Nesse cenário, prevê-se que os eventos de leitura se caracterizem como situações significativas de interação entre o aluno e o livro, os discursos e as vozes que surgem a partir dessa relação, proporcionando a possibilidade de múltiplas leituras e a construção de um aluno crítico-pensador.

O perfil que se traça para o alunado do Ensino Médio prevê que o aluno, ao longo de sua formação, seja capaz de:

conviver, de forma não só crítica, mas também lúdica, com situações de produção e leitura de textos, atualizados em diferentes suportes e sistemas de linguagem – escrito, oral, imagético, digital, etc. –, de modo que conheça – use e compreenda – a multiplicidade de linguagens que ambientam as práticas de letramento multissemiótico em emergência em nossa sociedade, geradas nas (e pelas) diferentes esferas das atividades sociais – literária, científica, publicitária, religiosa, jurídica, burocrática, cultural, política, econômica, midiática, esportiva, etc.; no contexto das práticas de aprendizagem de língua(gem), conviver com situações de produção escrita, oral e imagética, de leitura e de escuta, que lhe propiciem uma inserção em práticas de linguagem em que são colocados em funcionamento textos que exigem da parte do aluno conhecimentos distintos daqueles usados em situações de interação informais, sejam elas face a face ou não (BRASIL, 2006, p. 32).

Nesse cenário, de acordo com as Orientações Curriculares, deve-se buscar nas práticas de leitura acesso à produção simbólica do domínio literário, de maneira que os alunos sejam capazes de estabelecer diálogos (e sentidos) com os textos lidos.

De acordo com a terceira versão disponível da BNCC, o seu objetivo norteador, na disciplina de Língua Portuguesa, é garantir a todos os alunos o acesso aos saberes linguísticos necessários para o exercício da cidadania, uma vez que é por meio da língua que o ser humano é capaz de comunicar-se, pensar, expressar e defender seus pontos de vista, partilhar ou construir visões de mundo e, finalmente, produzir conhecimento. Assim, na BNCC,

O eixo Leitura compreende a aprendizagem da decodificação de palavras e textos (o domínio do sistema alfabético de escrita), o desenvolvimento de habilidades de compreensão e interpretação de textos verbais e multimodais e, ainda, a identificação de gêneros textuais, que esclarecem a contextualização dos textos na situação comunicativa, o que é essencial para compreendê-los (BRASIL, 2016, p. 64).

É evidente, entretanto, que a leitura por si só não é capaz de suprir as condições para a formação de um cidadão crítico-pensador. Além da leitura, a escrita faz parte do contexto social e cultural em que estamos inseridos, uma vez que uma contempla a outra. Por isso, a BNCC expõe os seguintes argumentos a respeito da escrita.

O eixo Escrita, por sua vez, compreende as práticas de produção de textos verbais, verbo-visuais e multimodais, de diferentes gêneros textuais, considerando a situação comunicativa, os objetivos visados e os destinatários do texto. A escrita compreende a aprendizagem da codificação de palavras e textos (o domínio do sistema alfabético de escrita), o desenvolvimento de habilidades para produzir textos com coerência, coesão e adequado nível de informatividade (BRASIL, 2016, p. 64).

A BNCC apresenta, em sua segunda versão, a leitura como objeto historicamente reconhecido de aprendizagem em Língua Portuguesa. Posta dessa maneira, a leitura pode ser entendida como tema central em Língua Portuguesa e

como um instrumento de auxílio para os outros componentes curriculares. No que tange à disciplina de Física, a BNCC expõe que

Um aspecto particularmente marcante da Física, com consequências importantes para o ensino, é a sua linguagem. Palavras do cotidiano, como massa, energia, força, matéria, calor, ganham significado na Física a partir do diálogo com a cultura científica que deve ter como base os conhecimentos que os/as estudantes já trazem para a sala de aula. A Física também faz uso de formas de representação, como gráficos, tabelas, esquemas e diagramas para registrar informações e comunicar resultados. E, especialmente, incorpora a Matemática em sua interpretação da realidade, para expressar leis e teorias, na forma de equações ou em modelos algébricos, estatísticos e geométricos, que tratam aspectos conceituais qualitativos e quantitativos de processos físicos (BRASIL, 2016, p. 64).

Dessa maneira, o documento evidencia que o aprendizado em Física passa pela compreensão da linguagem que lhe é própria, instituindo-se como outro dos seus eixos formativos no processo de ensino-aprendizagem.

Por sua vez, o Currículo do Estado de São Paulo é apresentado como um documento que trata das pressões que a contemporaneidade exerce sobre os jovens cidadãos na atualidade. Dessa maneira, a proposta recomenda orientações para a prática educativa com o intuito de tornar apta a escola para capacitar o aluno a lidar com os desafios desse novo tempo. Por isso, esse currículo tem como princípios centrais:

A escola que aprende, o currículo como espaço de cultura, as competências como eixo de aprendizagem, a prioridade da competência de leitura e de escrita, a articulação das competências para aprender e a contextualização no mundo do trabalho (SÃO PAULO, 2008, p.11).

Deve se destacar que a importância do uso da escrita e da leitura passa pela centralidade da linguagem no desenvolvimento da criança e do adolescente, uma vez que, para as crianças, a linguagem, em suas diversas expressões, é apenas um recurso simbólico, o qual lhes permite representar ou comunicar conteúdos. Somente a partir da adolescência é que isso se tornará possível e transformará o ser humano em um ser de linguagem, em sua expressão mais radical.

O documento ainda destaca a importância da leitura e da escrita como sendo o único meio de se constituir as demais competências, tanto as gerais quanto as associadas a disciplinas específicas. Dessa forma,

Por esse caráter essencial da competência de leitura e escrita para a aprendizagem dos conteúdos curriculares de todas as áreas e disciplinas, a responsabilidade por sua aprendizagem e avaliação cabe a todos os professores, que devem transformar seu trabalho em oportunidades nas quais os alunos possam aprender e consolidar o uso da Língua Portuguesa e das outras linguagens e códigos que fazem parte da cultura, bem como das formas de comunicação em cada uma delas (SÃO PAULO, 2008, p. 18).

Finalmente, é importante destacar que o domínio das linguagens torna-se um elemento essencial para a conquista da autonomia, sendo responsável pelo acesso a informações e permitindo a comunicação de ideias, a expressão de sentimentos e o diálogo, necessários à negociação dos significados.

Por sua vez, um documento educacional que consideramos importante destacar aqui é o Programa Nacional do Livro e Leitura (PNLL), instituído em 2006 por meio de iniciativa conjunta dos Ministérios da Cultura e da Educação. Esse programa nacional é constituído por um conjunto de programas, atividades e eventos na área do livro, leitura, literatura e bibliotecas, por meio do qual se pretende conferir a dimensão de uma política de estado de natureza abrangente. De acordo com o documento

Essa Política de Estado se traduz em amplos programas do governo, com coordenações interministeriais devidamente articuladas com estados, municípios, empresas e instituições do terceiro setor, para alcançar sinergia, objetividade e resultados de fôlego quanto às metas que venham a ser estabelecidas. Quatro eixos principais orientam a organização do Plano: 1. Democratização do acesso ao livro; 2. Formação de mediadores para o incentivo à leitura; 3. Valorização institucional da leitura e o incremento de seu valor simbólico; 4. Desenvolvimento da economia do livro como estímulo à produção intelectual e ao desenvolvimento da economia nacional (PNLL, 2010, p. 20).

A justificativa para a criação do PNLL passa por vários fatores, tais como os baixos índices que os alunos apresentam nas avaliações externas, no que diz respeito à leitura e interpretação de textos e o pouco interesse que o brasileiro possui pela leitura.

Como podemos observar pela leitura da terceira edição da pesquisa **Retratos da Leitura no Brasil**, apenas 24% (88,2 milhões, 50% da população estimada) dos entrevistados afirmaram que cultivam o hábito de ler durante o tempo livre. A mesma pesquisa revelou que o brasileiro lê, em média, 1,85 livro por trimestre, isso é, 4 livros lidos ao ano, número também menor que a média registrada anteriormente, que foi de 2,4 livros a cada três meses, totalizando 4,7 livros ao ano.

Dessa maneira, o governo entende que é necessária a implementação de programas com o intuito de promover um avanço na escala de posse e acesso ao

livro, permitindo ao Brasil colocar-se ao lado dos países com os melhores índices mundiais de leitura.

Após tecermos comentários sobre a leitura, com base nos documentos educacionais, destacando a importância que cada um deles apresenta para o ato de ler, passamos para a próxima seção, na qual expomos um conjunto de pesquisas, desenvolvidas no âmbito da Educação em Ciências, com foco na leitura de textos.

2.2. AS PESQUISAS SOBRE A LEITURA DE TEXTOS NO ENSINO DE FÍSICA

Nossa revisão de literatura permite inferir que não há estudos que investigaram o uso da leitura nos processos de ensino e de aprendizagem da Física das Radiações Ionizantes. Essa constatação é o principal fator motivador para o desenvolvimento dessa pesquisa.

De acordo com Zanotello e Almeida,

O desenvolvimento das aulas de física no Ensino Médio se dá basicamente por meio de livros didáticos ou apostilas que apresentam um breve resumo das teorias físicas, seguido pela resolução de exercícios, em geral organizados de modo a produzir apenas uma repetição sistemática de procedimentos. Essa prática muito comum limita o ensino de física a uma mera aplicação de fórmulas, com pouco significado para os estudantes. Temas como a história e o desenvolvimento da física, sua aplicação tecnológica, a trajetória dos principais cientistas e as relações entre ciência e sociedade são, quando presentes, limitados a pequenos parágrafos complementares, à parte do corpo principal do texto, e geralmente ignorado na rotina escolar. Tais temas acabam sendo explorados somente fora da sala de aula por alunos que tenham sua curiosidade despertada por meio de sites na internet, revistas de divulgação, documentários de televisão ou mesmo de uma história de leituras ou práticas anteriores estimuladas externamente à escola (2007, p. 437).

Por meio de uma rápida busca em periódicos, fomos capazes de encontrar trabalhos que abordam o funcionamento da leitura de textos com temas da Física em situações de ensino, como em Almeida (1987, 1988 e 1995); Almeida e Ricon (1993); Almeida e Queiroz (1997); Silva (1997a); Silva (1997b); Silva e Almeida (1998) e Machado (2001).

Como argumentam Almeida et al.,

Estes estudos fazem parte de um programa de investigações, que subentende a necessidade de transformações curriculares radicais nos três níveis de ensino e, para tal, admite que o estudo de representações e valores do professor e dos estudantes e sobre questões de linguagem no ensino da ciência, incluindo aquelas sobre o funcionamento da leitura em aulas de física, pode contribuir significativamente para essa transformação (2001, p. 1).

Por sua vez, ao realizarmos uma busca em bancos de dados de teses e dissertações, identificamos um total de 16 trabalhos relacionados à leitura de textos no Ensino de Ciências/Física, sendo 12 dissertações de mestrado e 4 teses de doutorado.

Os estudos identificados foram classificados em categorias, que serão apresentadas a seguir.

2.2.1. A LEITURA NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS/FÍSICA

Neste item, relatamos os trabalhos que abordam o funcionamento da leitura na formação de professores. Encontramos um conjunto de 6 trabalhos (MACHADO, 2001; SORPRESO, 2008; DIAS, 2009; LONDERO, 2013; e SORPRESO, 2013).

Machado (2001) teve como objetivo entender aspectos gerais do funcionamento da leitura de **textos divergentes** sobre energia por alunos de cursos de Física na Educação Superior, compreendendo os deslocamentos que podem ser provocados nas suas significações, em particular na estrutura de seu perfil conceitual, com o intuito de buscar indícios de que a divergência nas significações conceituais é um mediador didático que, exposto através da leitura, complementada com outras mediações sociais e semióticas, em aula, pode ativar deslocamentos conceituais, os quais podem contribuir para reconstrução conceitual dessa noção, pelos alunos, isto é, possível ampliação do conceito e compreensão de seus componentes pelos estudantes (MACHADO, 2001, p.13).

Para tanto, o pesquisador utilizou textos extraídos de livros como **Treatise on Thermodynamics** de Max Planck e de alguns livros tradicionais utilizados nas universidades em cursos de Física Básica como Paul Tipler, David Halliday e Moyses Nussenzveig.

Sorpreso (2008) realizou uma análise dos discursos de licenciandos em Física enquanto realizavam a disciplina **Prática de Ensino de Física e Estágio**

Supervisionado. Foi escolhido como tema de Física Moderna e Contemporânea para a disciplina a **Questão Nuclear**, em relação à qual os licenciandos deveriam preparar **episódios de ensino** nos quais deveria se fazer presente uma das seguintes abordagens de ensino: História da Ciência; Ciência Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA); Linguagens no Ensino de Ciências e Resolução de Problemas.

Por sua vez, Dias (2009) buscou compreender de que forma um grupo de estudantes do curso de licenciatura em Física interpreta esta ciência, a partir da leitura de textos de divulgação científica sobre Física publicados nas revistas **Ciência Hoje** e **Pesquisa Fapesp**. Outra finalidade de seu trabalho passava pela possibilidade que os licenciandos apresentavam quanto à utilização de leitura desses textos por alunos do Ensino Médio. A coleta de dados da pesquisa ocorreu na disciplina **Conhecimento em Física Escolar I**, na qual ocorreram as atividades de leituras de textos de divulgação científica, com duas horas-aulas semanais, ministradas no primeiro semestre do ano de 2007.

Dias (2009) utilizou, ainda, atividades que envolveram a participação dos alunos como exposições orais, leituras coletivas e individuais, trabalhos práticos, participação em discussões em pequenos grupos ou com toda classe, elaborações escritas de análise e síntese de textos.

Em sua tese de doutorado, Londero (2013) propôs uma pesquisa com o intuito de analisar como estudantes de licenciatura em Física leem e interpretam imagens contidas em textos de divulgação científica sobre relatividade restrita. De acordo com Londero (2013), a pesquisa realizada levou em consideração

a leitura de textos de autores cientistas, com foco na teoria da relatividade restrita, procurando compreender, sob determinadas condições de produção, o funcionamento de imagens e os sentidos atribuídos por um conjunto de alunos, em formação inicial do curso de licenciatura em física, quando da leitura daquele tipo de texto. Considera-se que essa investigação está ligada à produção de sentidos da relatividade restrita, uma vez que os estudantes em formação inicial atribuem-lhes significados ou os ressignificam quando da leitura de textos que abordam essa teoria. Assim, levou-se em conta uma proposta de investigação que abarca o estudo da relatividade restrita por estudantes universitários do curso de licenciatura em física (LONDERO, 2013, p. 69).

De acordo com Londero (2013), dentre as atividades previstas para serem realizadas na disciplina **Conhecimento em Física Escolar II**, na qual foi realizada a coleta de dados, encontram-se a leitura de textos da área de Educação em Ciências/Física, textos de divulgação científica de autores cientistas, além da

elaboração de um episódio de ensino para o nível médio com temática associada à Teoria da Relatividade.

Em uma disciplina oferecida no curso de licenciatura de Física, Sorpreso (2013) buscou abordar elementos de Física Nuclear com foco no tema Energia e em estratégias de ensino centradas na abordagem CTS. Dessa maneira, a pesquisadora procurou proporcionar a reflexão dos estudantes sobre a necessidade de romperem com um ensino baseado apenas em cálculos e resolução de exercícios, e a compreensão do conteúdo de Física Nuclear considerando a não neutralidade da Ciência, sua produção e as complexas relações estabelecidas com a Sociedade e a Tecnologia.

A pesquisadora apropriou-se de leituras de diversos artigos e publicações relacionados à leitura do período de 2006 a 2011. Já os materiais que serviram como fonte de conteúdos de Física Nuclear são publicações diversas (livros de divulgação científica, literatura, artigos de pesquisa e de jornais ou internet, relatórios, dentre outros), além de filmes e de documentários selecionados por conterem como foco central a Física Nuclear.

2.2.2. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE PROPOSTAS PARA O ENSINO DA FÍSICA POR MEIO DA LEITURA DE TEXTOS

Nesta seção inserimos os trabalhos que apresentam a elaboração e/ou aplicação de propostas para o ensino da Física por meio da leitura de textos. Encontramos um total de 16 trabalhos, sendo eles: Silva (1997); Oliveira (2001); Silva (2002); Lança (2005); Gama (2005); Montenegro (2005); Zanutello e Almeida (2007); Giralidelli (2007); Lopes (2009); Silva (2013); Zanutello e Almeida (2013); Dias (2015); Brugliato (2016); Silva e Zanutello (2017); Correia, Decian e Sauerwein (2017).

Silva (1997) expõe as consequências da inserção da leitura nas aulas de física em turmas do Ensino Médio, com o intuito de potencializar a interação professor-aluno. O pesquisador propôs a leitura de textos do livro didático em sala de aula, discutindo questões previamente fornecidas, antes de a professora explicar o texto aos alunos. Em seguida, o pesquisador analisou as respostas e reuniu-se com a professora responsável, a fim de planejar a etapa seguinte, a qual consistiu em discutir com a turma o tema de estudo. A partir da discussão, foram realizadas as resoluções dos exercícios do livro didático pelos alunos, com orientação e supervisão tanto da

professora quanto do pesquisador. Por fim, foi realizada uma discussão geral sobre os exercícios do livro didático.

Em sua pesquisa de mestrado, Oliveira (2001) partiu de uma proposta de ensino, com o tema da energia, ministrada a alunos de 8ª série do Ensino Fundamental, na qual dedicou-se principalmente a atividades de leitura de textos variados e escrita de gêneros como carta, diário, relato e conto. O objetivo foi o de identificar nessas produções princípios de autoria, além de discutir a escrita como uma atividade que pode ser utilizada no ensino das ciências, como ferramenta de expressão do pensamento dos estudantes. Para tanto, foram escolhidos oito estudantes que haviam realizado a totalidade das produções solicitadas, por meio das quais buscou-se encontrar a influência das mediações produzidas pelos textos lidos em sala, pelas aulas ministradas e pelos próprios textos produzidos anteriormente, afim de investigar os tipos de repetições ocorrida: a empírica, formal ou histórica.

A tese de doutorado de Silva (2002) teve como objetivo compreender que sentidos foram produzidos em uma unidade de ensino sobre gravitação newtoniana, desenvolvida em aulas de Física no nível médio, e de que maneira esses sentidos foram produzidos. Para tanto, o pesquisador buscou apropriar-se dos sentidos que os alunos de duas escolas de nível médio produziram na leitura de imagens e textos escritos.

O trabalho de Lança (2005) buscou compreender o funcionamento da leitura das leis de Newton, no livro de divulgação científica **Isaac Newton e sua maçã**, de Kjartan Poskitt, em uma classe de Ensino Médio. A pesquisadora utilizou algumas páginas que tratavam dos antecessores de Newton, como Copérnico, Aristóteles, Galileu, Kepler. Em outra aula, foi solicitado que os alunos fizessem a leitura que tratava de Galileu e a experiência da torre de Pisa, a respeito da queda dos corpos próximos à superfície da Terra. Por fim, foi solicitado que os alunos realizassem a leitura que discutia sobre os problemas editoriais que Halley teve para publicar o **Principia**, os problemas de Newton com Robert Hooke e, finalmente, as três leis do movimento. Foram utilizados questionários durante as aulas como forma de coleta dos discursos dos alunos.

Por sua vez, Gama (2005) apresenta em sua dissertação as possibilidades de ensinar física por meio da leitura dos livros **Isaac Newton e sua maçã** e **Albert Einstein e seu Universo Inflável**. Ambos os livros narram as biografias de seus respectivos cientistas, os processos de formulação de suas leis e as repercussões de

suas descobertas científicas. Nas palavras da própria autora, sua pesquisa teve como objetivo

analisar o funcionamento da leitura de divulgação científica na escola em condições determinadas. Ao procurar compreender esse funcionamento, busquei indicadores de como esse tipo de leitura pode produzir sentidos em classes do Ensino Médio. Dessa forma, foi também meu interesse indicar possibilidades para a leitura do discurso de divulgação científica no ambiente escolar (GAMA, 2005, p. 8).

A pesquisadora se utilizou de diversas estratégias para a coleta dos dados, tais como discussões em grupo, questionários e desenhos. Entretanto, a pesquisadora dá ênfase à utilização de bilhetes, cuja escrita solicitava aos alunos no final de cada aula. Por meio desses bilhetes, os estudantes puderam manifestar suas opiniões sobre a leitura e a divulgação científica, além da prática pedagógica, conhecimento escolar e o papel do professor.

Em sua dissertação, Montenegro (2005) discorre sobre as possibilidades do ensino da noção de Indução Eletromagnética, tal como foi desenvolvida por Michael Faraday. De acordo com a autora, o intuito para a criação da unidade de ensino foi

aproximar os estudantes dos modos de produção do desenvolvimento científico e tentar, com a leitura dos textos, modificar possíveis imaginários manifestados nos discursos dos estudantes sobre a ciência como sendo algo impossível de ser aprendido. Colocando as unidades em funcionamento, pretendia-se descaracterizar a ciência entendida basicamente através de fórmulas e cálculos. Buscava-se, além de contribuir para o aprendizado da ciência, mediar a constituição de sentidos que levassem em consideração o caráter histórico e humano do processo de desenvolvimento científico (MONTENEGRO, 2005, p. 43).

A autora lançou mão de algumas atividades para a realização de sua pesquisa, tal como a leitura de trechos do diário de Faraday, por meio do qual é narrado o desenvolvimento de sua pesquisa sobre indução; a tempestade de ideias, onde os alunos relacionavam ideias que possuíam com palavras-chave colocadas no quadro-negro, além da realização de práticas experimentais e a elaboração de uma peça teatral.

Dessa maneira, a autora avaliou que seria mais apropriado dividir sua unidade de ensino em três momentos: conhecimento das noções prévias dos alunos, leitura dos textos com o estudo do tema propriamente dito e análise do fenômeno estudado.

Zanotello e Almeida (2007) apresentam e analisam aspectos da produção de sentidos de alunos do Ensino Médio na leitura de um livro sobre a vida e obra de Isaac Newton, a partir do registro escrito das respostas dos estudantes a um questionário. As perguntas propostas nesse trabalho tinham como objetivo possibilitar aos leitores

expressarem a sua interação com o material lido, no que se refere principalmente ao estilo adotado pelo autor do livro e aos conteúdos de Física abordados.

A dissertação de Giraldelli (2007) apresenta uma perspectiva distinta dos demais trabalhos, uma vez que seu foco foi direcionado a crianças de idades de 10 a 12 anos, estudantes da quarta série (atual quinto ano) do Ensino Fundamental. Seu estudo baseou-se na compreensão do funcionamento de um texto de narrativa que possui características de cartum e de divulgação científica. Como forma de coleta de dados, a pesquisadora optou pela elaboração de uma carta na qual, conforme explicação da autora, “... as crianças tiveram a oportunidade de contar para um amigo ou parente sobre seus entendimentos a respeito da história lida em sala de aula” (GIRALDELLI, 2007, p. 46).

Como meta de sua tese de doutorado, Lopes (2009) investigou os gestos de interpretação de alunos da EJA em condições de produção de leitura de textos de diferentes naturezas em aulas de Física, atentando para a maneira como os alunos produzem sentidos a partir dessas leituras. As leituras foram realizadas a partir de dois textos presentes no livro de Física do material didático do TC 2000, intitulados “Tudo que sobe, desce” e “Eu tenho a força! Será?”. Em seguida, foi realizada a leitura e discussão do texto de divulgação científica “Que é energia?” (presente no livro **Física em seis lições**, de Richard P. Feynman), e de um trecho do texto “Energia: o que é e o que implica”(presente no livro **Energia e Classes Sociais no Brasil**, de Antônio Carlos Boa Nova). No decorrer das aulas, porém, considerou-se apropriada a introdução e leitura de outros materiais impressos, que foram: a conta de energia elétrica residencial fornecida pela CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz); uma tabela com informações sobre vários aparelhos domésticos; e um panfleto comercial sobre aquecimento solar. Como instrumentos de análise de dados, foram utilizados questionários, que eram respondidos ao final de cada aula.

Silva (2013) propõe o emprego da leitura de divulgação científica com foco na discussão sobre o funcionamento de um aparelho tecnológico – o aparelho de ressonância magnética. Uma característica que o autor apresenta é a de que a divulgação científica como leitura sugerida aos alunos pode ser complexa demais, tanto linguística quanto conceitualmente (SILVA, 2013). O autor ainda apresenta em sua dissertação a realização de uma entrevista com um pesquisador em ressonância magnética nuclear (RMN) com o intuito de conhecer um pouco mais sobre o assunto e de analisar as posições sobre aspectos relacionados ao ensino de Física e aos

textos de divulgação científica que o pesquisador possuía. Com essas informações, a pesquisa partiu para o campo escolar, na qual os estudantes realizaram diversas leituras e responderam a uma série de questionários.

Buscando analisar a produção de sentidos por alunos do primeiro ano de um curso superior, a partir da leitura de um texto sobre a evolução da termodinâmica, Zanotello e Almeida (2013) observaram deslocamentos nas concepções dos estudantes e indícios da constituição de saberes novos a partir do registro por escrito de suas respostas a um questionário sobre o texto. Na visão dos autores, os relatos dos alunos revelam uma ampla variedade de colocações que subsidiam a atuação docente.

Com o intuito de compreender o funcionamento de uma unidade de ensino acerca dos aspectos teóricos e práticos do jornalismo científico, em que sejam abordados processos da ciência, Dias (2015), em sua tese, teve de construir um dispositivo de análise que contemplasse as especificidades do campo jornalístico, mais especificamente do jornalismo científico. De acordo com o pesquisador,

A unidade de ensino aplicada junto a estudantes de jornalismo teve por objetivo principal trabalhar noções do jornalismo científico sob a perspectiva de proporcionar aos estudantes a produção de significados sobre o trabalho com processos que constituem a ciência para além do trabalho apenas com resultados (DIAS, 2015, p. 47).

O autor cita que a aplicação da unidade de ensino ocorreu junto a estudantes de jornalismo e consistiu de leituras de textos sobre elementos de jornalismo científico, filosofia e epistemologia da ciência, pesquisas sobre jornalismo científico e jornalismo enquanto expressão narrativa.

Brugliato (2016) apresenta a formulação de uma Unidade de Ensino (UE), aplicada à temática da bomba atômica. O objetivo de seu trabalho foi realizar uma análise acerca do funcionamento desta UE, com o intuito de verificar se ela propiciaria aos alunos do Ensino Médio uma aproximação com diferentes tipos de discurso e que assegurasse a produção de sentidos sobre elementos da bomba atômica, além de ajudá-los a desenvolverem a habilidade de leitura.

Por sua vez, o trabalho de Silva e Zanotello (2017) investigou o uso de textos de divulgação científica para abordar temas controversos relacionados à Física Contemporânea no Ensino Médio. O objetivo principal consistiu em analisar os sentidos construídos pelos estudantes a partir da leitura dos textos, organizados por meio de roteiros que solicitavam respostas por escrito a questionários e a realização de seminários em sala de aula.

Por fim, Correia, Decian e Sauerwein (2017) apresentam os resultados obtidos a partir de uma sequência de atividades didáticas que envolveram o uso de estratégias de leitura e textos de divulgação científica em aulas de Física da segunda série do Ensino Médio. A sequência de atividades com textos de divulgação científica teve o intuito de investigar os indícios de evolução dos alunos com relação à leitura e à argumentação.

Essa revisão, assim como a realizada nos trabalhos sobre radiação, tem como finalidade analisar, do ponto de vista do pesquisador, as diferentes estratégias utilizadas nos demais trabalhos, os referenciais teóricos abordados e as pesquisas que estão relacionadas tanto ao âmbito da física das radiações quanto à utilização de leituras em aulas de física/ciências. Além disso, a categorização desses estudos poderá auxiliar futuros pesquisadores a encontrar trabalhos relacionados à leitura de textos, à formação de professores, ao ensino em espaços não-formais, aplicações ou elaboração de propostas por meio da leitura de textos ou dentro da temática da física das radiações.

Realizada a revisão dos trabalhos que discutem o emprego da leitura de textos no Ensino de Ciências/Física, seguimos para o próximo capítulo no qual será exposto o objetivo de nossa pesquisa, o problema a que procuraremos dar resposta ao final deste trabalho, as questões que nortearam nosso estudo e a justificativa para a realização do mesmo. Além disso, discorreremos sobre o ambiente em que a pesquisa foi realizada, a construção da Unidade de Ensino e a metodologia empregada para a análise dos resultados.

CAPÍTULO 3. A PESQUISA E OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. OBJETIVOS, PROBLEMA, QUESTÕES NORTEADORAS E JUSTIFICATIVAS

Sabemos que é relativamente fácil encontrar muitas informações a respeito da Física das Radiações em revistas, jornais, livros de divulgação científica e nas mais variadas mídias impressas e digitais. Esses materiais surgem, então, como uma possibilidade para o ensino desse tópico curricular.

A partir da constatação básica de que o ensino da Física das Radiações Ionizantes no Ensino Médio constitui um desafio para professores em docência escolar, a presente pesquisa tem por objetivo **investigar o funcionamento da leitura e da interpretação da Física das Radiações Ionizantes por alunos do Ensino Médio quando da leitura de textos de divulgação científica.**

Em função desse objetivo, formulamos o problema que estrutura essa pesquisa e o apresentamos a seguir: **Como acontece e que aspectos marcam o funcionamento da leitura e a interpretação da Física das Radiações Ionizantes por alunos do Ensino Médio quando da leitura de textos de divulgação científica?**

Das possíveis questões que seriam relevantes a responder, nos parece significativo e propomos para este estudo:

- 1) Quais significados são atribuídos à física das radiações ionizantes, por alunos do Ensino Médio após a leitura de textos de divulgação científica?
- 2) Quais indícios de repetição ou de autoria são apresentados pelos alunos em suas produções textuais que versam sobre física das radiações ionizantes?
- 3) Que características são relevantes e que obstáculos se opõem ao funcionamento dos textos utilizados para que eles se constituam em efetivo mediador no ensino da física das radiações ionizantes?

Este trabalho, assim como outros, justifica-se com base no exposto por Ron Good (1994) na nota introdutória ao volume 31 do **Journal of Research in Science Teaching**, em que o autor afirma que a aprendizagem da ciência está em grande medida vinculada a “leitura e interação com o texto em diferentes circunstâncias” (1994, p. 873; tradução livre); segundo o editor, “Entender como os estudantes interagem com a ciência descrita em textos é sem dúvida uma importante área de investigação” (1994, p. 873; tradução livre).

Neste sentido, alguns autores vêm defendendo a leitura em aulas de Física, argumentando que esta prática pode auxiliar como um ponto de partida no desenvolvimento intelectual dos alunos (SILVA; ALMEIDA, 1993).

De acordo com Almeida e Ricon (1993) outros argumentos utilizados para a defesa da utilização dos textos de divulgação científica são: a) maior envolvimento e participação dos alunos nas atividades em classe e b) o papel do ensino na formação do sujeito-leitor, ou seja, formar o cidadão que, ao sair da escola, seja capaz de obter e verificar informações de natureza científico-tecnológica, apresentando conceitos de forma contextualizada em vez de fragmentados como são apresentados nos livros didáticos, podendo fazer uma avaliação crítica sobre um determinado assunto.

3.2. A NATUREZA DA PESQUISA

A pesquisa aqui relatada é do tipo qualitativa, uma vez que nos propomos a investigar diferentes espaços, assim como explicar fenômenos sociais de variadas maneiras. De acordo com Bogdan e Biklen (1994, p. 16) nessa metodologia “os dados recolhidos são designados por qualitativos, o que significa ricos em pormenores descritivos relativamente a pessoas, locais e conversas, e de complexo tratamento estatístico”.

Flick (2009, p. 8), por sua vez, expõe que uma pesquisa qualitativa pode ser feita “analisando experiências de indivíduos ou de grupos, assim como interações e comunicações que estão ocorrendo no momento e investigando documentos ou traços semelhantes de experiências ou interações”. Essas diversas maneiras têm em comum o fato de detalhar a forma como as pessoas constroem o mundo à sua volta, o que estão fazendo ou o que acontece ao seu redor. Dentro desse tipo de pesquisa, o observador é parte integrante do processo de conhecimento, que interpreta os fenômenos e atribui significado a eles.

Para Bogdan e Biklen (1994, p. 47-50), a pesquisa qualitativa possui alguns aspectos característicos, tais como: 1) a fonte direta de coletas de dados é o ambiente natural e o investigador, o instrumento principal; 2) é descritiva; 3) há um interesse maior pelo processo que pelos resultados ou produtos; 4) normalmente, os dados são analisados de forma indutiva; 5) tem um significado extremamente importante.

Já Flick (2009) destaca que a pesquisa qualitativa é de fundamental importância ao estudo das relações sociais que nós, enquanto sujeitos, realizamos devido à pluralização das esferas da vida. De acordo com esse autor,

Desta forma, a pesquisa está cada vez mais obrigada a utilizar-se das estratégias indutivas. Em vez de partir de teorias e testá-las, são necessários “conceitos sensibilizantes” para a abordagem dos contextos sociais a serem estudados. Contudo, ao contrário do que vem sendo equivocadamente difundido, estes conceitos são essencialmente influenciados por um conhecimento teórico anterior (FLICK, 2009, p. 21).

O autor salienta que as limitações existentes nos métodos quantitativos vêm servindo de base para justificar a pesquisa qualitativa, uma vez que, se a maior parte dos fenômenos não pode ser explicada de forma isolada, devido a sua alta complexidade, então todos os objetos complexos deveriam ser desconsiderados das pesquisas quantitativas, já que em muitos casos utilizam-se modelos ideais que fogem ao comportamento real desses objetos.

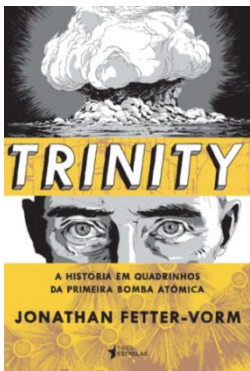
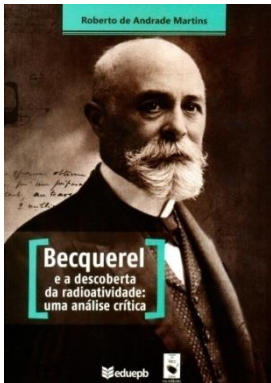
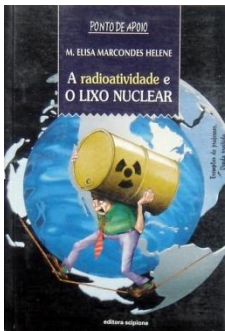
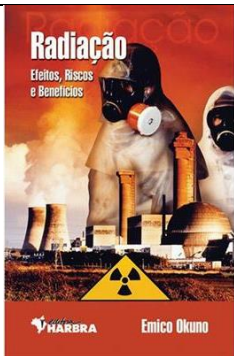
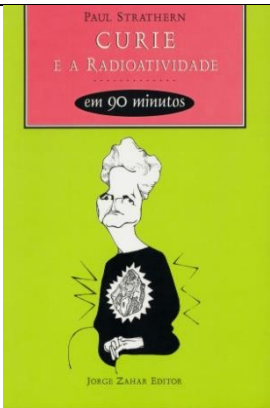
3.3. AS CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, elaboramos uma Unidade de Ensino que versa sobre a Física das Radiações Ionizantes e sobre o conceito de Radioatividade. Buscamos com a UE possibilitar aos alunos o contato com o discurso apresentado pelos livros de divulgação científica, o qual se distingue dos livros didáticos utilizados mais amplamente no cotidiano escolar, para posteriormente realizarmos uma análise dos sentidos produzidos por eles.

Cabe ressaltar que todas as aulas foram gravadas em áudio e vídeo, sendo possível sua recuperação. Também foram aplicados questionários semanais, com o objetivo de verificar os sentidos que estavam sendo produzidos pelos alunos.

3.3.1. A IDENTIFICAÇÃO E REGISTRO DOS TEXTOS

Inicialmente, realizamos um levantamento das obras de divulgação científica relacionadas à Física das Radiações. A partir da identificação dessas obras e obtenção das mesmas, realizamos a fotocópia e registro das páginas nas quais consideramos pertinentes para construção da UE. A identificação e a seleção dos textos foram realizadas mediante a leitura integral dos livros. No quadro 03, apresentamos as capas dos livros que extraímos os textos que utilizamos na UE.

Quadro 03 – Livros de divulgação selecionados para a construção da unidade de ensino

Com a escolha dos textos, prosseguimos para a próxima etapa, que consistiu na construção da UE. Para tanto, verificamos em alguns casos que não seria possível, dentro de uma aula de 50 minutos, que os alunos realizassem a leitura dos textos selecionados. Dessa maneira, foi necessário editá-los, aproveitando trechos de diferentes páginas para compor um novo texto que fosse enxuto, mas que mantivesse sentido e clareza. Assim, concomitantemente às fotocópias das páginas, realizamos a digitação de outras, a fim de uni-las para, enfim, termos nosso texto completo.

3.3.2. UMA UNIDADE DE ENSINO PARA A FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Nossa UE tem como intuito promover o ensino do tópico de Física das Radiações Ionizantes por meio da leitura de textos. Para tanto, foram utilizados extratos de livros de divulgação científica, previamente selecionados. A UE é constituída por um conjunto de dez aulas.

No quadro 04, a seguir, é possível visualizar a síntese da unidade que pode ser lida na íntegra no Apêndice A.

Número da Aula	Assunto
01	Radiação e radioatividade – conceitos iniciais
02	Partículas alfa, beta e gama
03	História da radioatividade – Röntgen e os raios X
04	História da radioatividade – Becquerel e a radioatividade
05	História da radioatividade – Marie e Pierre Curie
06	Usinas Nucleares
07	Lixo radioativo
08	Bomba atômica – Projeto Trinity
09	O acidente de Chernobyl e Goiânia
10	Aplicações radiações (medicina, agricultura)/ considerações finais

Quadro 04 – Síntese da Unidade de Ensino

A UE foi construída com o intuito de abordar de maneira mais ampla o tema “Física das Radiações” em um conjunto de dez aulas, com duração de 50 minutos cada uma. Os textos contemplados foram lidos pelos alunos e, em seguida, foram solicitadas atividades de produção de textos (produções escritas por meio de questionários).

A escolha dessa sequência na construção da UE se deu em virtude das consultas realizadas a livros do PNLD que abordam a temática das radiações. Nesses livros, encontramos tópicos relacionados a modelos atômicos, aos tipos de radiações (alfa, beta e gama), além da temática sobre usinas nucleares. Além disso, consideramos pertinente acrescentar a parte histórica, reservada a Röntgen, Becquerel, Pierre e Marie Curie, bem como questões que envolvessem a produção/descarte do lixo radioativo, os acidentes radioativos de maior repercussão e, também, destacar que, mesmo que pareça apenas ter aspectos negativos, as radiações são extremamente úteis para os seres humanos, daí a questão de incorporar as aplicações das radiações na última aula da nossa UE.

Para a utilização de livros de divulgação científica, amparamo-nos na argumentação de Zamboni (1997). A autora expõe que a Divulgação Científica (DC) é capaz de assegurar a difusão de conhecimentos relacionados ao campo da ciência, por meio de uma reformulação discursiva na qual se destaca a mediação da linguagem. Dessa maneira,

[...] é possível chegar ao homem comum, mantido distanciado e, por isso, alienado do mundo cada vez mais especializado das ciências; e é preciso vencer a “ruptura cultural” instalada entre uma elite à qual se outorgou o direito de saber e uma massa relegada à exclusão do saber (muitos, inclusive, aliás até da aprendizagem das primeiras letras e da aritmética mais elementar) (ZAMBONI, 1997, p. 73).

Já para Silva e Zanotello (2017), a DC “exibe certa preocupação com a formação da opinião pública sobre os produtos e métodos das ciências, permitindo vislumbrar uma integração entre ciência e cultura” (p. 47).

No que diz respeito ao seu discurso, a DC é uma prática de reformulação que produz a partir do discurso científico um discurso-segundo, relacionado ao cotidiano. Zamboni (1997) destaca que o divulgador da ciência não é um apenas um tradutor dos conhecimentos científicos, mas também um produtor de um novo tipo de texto que se insere em outra formação discursiva, pautada no compromisso com verdade científica, porém ser o formalismo matemático/dedutivo abordado nos livros didáticos. A autora coloca que

[...] o discurso relatado dos cientistas na DC não pertence à formação discursiva da ciência. Observa-se que as citações em discurso direto que aparecem na DC constituem, em geral, “falas” já vulgarizadas do discurso científico, tomadas, em grande parte, em entrevistas ou depoimentos. [...] o discurso da DC não pertence ao campo do discurso científico. Uma vez que toda a configuração das condições de produção da DC é outra, diferente daquela que cerca a produção do discurso científico, outro será o resultado gerado nessas novas condições. (ZAMBONI, 1997, p. 79-87)

Por fim, Silva e Zanotello (2017) destacam que

possibilitar reflexões sobre o funcionamento da ciência contemporânea e seus produtos a partir dos TDC não é simples. Na elaboração desses textos é preciso considerar diversos aspectos da linguagem, tanto na perspectiva dos cientistas enquanto produtores de conhecimentos, quanto na perspectiva de leitores leigos que constituem o público a que se destinam (SILVA; ZANOTELLO, 2017, p. 47).

Ao pensarmos nos conteúdos, houve a preocupação de que eles estivessem de acordo com os documentos educacionais e que as atividades a serem desenvolvidas permitissem o desenvolvimento das competências e das habilidades propostas para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), na grande área “Ciências Naturais e suas Tecnologias”. Aqui cabe destacar que não compactuamos com todas as propostas dos documentos educacionais. Contudo, acreditamos ser necessária a

adequação de nossa UE em relação a eles, visto que esses documentos servem como um instrumento de orientação ao professor na elaboração e desenvolvimento da prática pedagógica.

No quadro 05 apresentamos as competências e das habilidades almejadas. Destacamos, também, que essas competências e habilidades selecionadas não contemplam a totalidade apresentada pelo ENEM e sim o recorte que corresponde às trabalhadas dentro da temática da Física das Radiações Ionizantes que constitui nossa UE.

Competências	Habilidades Relacionadas
Competência de área 1 – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.	H1 - Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos. H2 - Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico. H3 - Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas. H4 - Avaliar propostas de intervenção no ambiente, considerando a qualidade da vida humana ou medidas de conservação, recuperação ou utilização sustentável da biodiversidade.
Competência de área 3 – Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.	H8 - Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos. H9 - Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

	H10 - Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e (ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais. H11 - Reconhecer benefícios, limitações e aspectos éticos da biotecnologia, considerando estruturas e processos biológicos envolvidos em produtos biotecnológicos. H12 - Avaliar impactos em ambientes naturais decorrentes de atividades sociais ou econômicas, considerando interesses contraditórios.
Competência de área 5 – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.	H17 - Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica. H18 - Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam. H19 - Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.
Competência de área 6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.	H21 - Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo. H22 - Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais. H23 - Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes

	específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e (ou) econômicas.
--	--

Quadro 05 – Competências e habilidades propostas para o ENEM na grande área “Ciências Naturais e suas Tecnologias” e contempladas na UE

Além disso, procuramos montar o episódio observando primeiramente o Caderno do professor do Estado de São Paulo, pertencente ao quadriênio 2014-2017, estabelecido pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo. Assim, primeiramente, identificamos o tópico de radiações no material selecionado, realizando a fotocópia e registro das páginas localizadas. A identificação foi realizada mediante a leitura integral dos textos.

O material apresenta no primeiro momento a estrutura do átomo e seus diferentes modelos. Na sequência, o caderno expõe o termo radiação eletromagnética, com o objetivo de explicar o fenômeno do efeito fotoelétrico. De acordo com o texto, “Para explicar o efeito fotoelétrico, Albert Einstein estabeleceu que a luz, ou qualquer outra forma de radiação eletromagnética, não é contínua, mas composta de pequenos “pacotes” de energia, ou fótons” (SÃO PAULO, 2014, p. 18). Porém, o texto não situa o aluno sobre quais os tipos de radiações que compõem esse espectro.

Continuando, o material apresenta um quadro informativo sobre a série de Balmer e os espectros de absorção e emissão, sem apresentar detalhes.

Utilizando as séries de Balmer como gancho para tratar de astronomia, o tema radioatividade aparece pela primeira vez no material, na página 41, com o título “Fenômenos Nucleares”. Aqui, após perguntar ao leitor se ele conhece a imagem do trifólio radioativo (figura 2), os autores fazem a seguinte explanação:

Em geral, as pessoas associam radiação com coisas ruins. Porém, embora ela possa ser perigosa, não é necessariamente ruim. Por mais contraditório que possa parecer, esse símbolo é muito comum em hospitais (SÃO PAULO, 2014, p. 41).

Figura 2 – Trifólio radioativo



Fonte: SÃO PAULO. Física: Ensino Médio. 3ª série. São Paulo: SEE, 2014. Vol. 1. Caderno do Professor. p. 41.

Entretanto, os autores destacam que, atualmente, a radioatividade voltou a ser tema de debate, sobretudo com a proposta de criação de usinas nucleares para geração de energia elétrica. Com isso, o caderno procura mostrar que muitas aplicações da radioatividade são fundamentais para a sobrevivência e que podem ser utilizados para promover o bem-estar do ser humano, como, por exemplo, por meio de aplicações na medicina e geração de energia elétrica.

Após essa ilustração, o material aborda a questão das forças nucleares que mantêm a estabilidade do núcleo, para depois resgatar novamente a temática sobre radiações. O material volta a tratar das radiações a partir das definições dos tipos de radiações (alfa, beta e gama). De acordo com o material:

Um átomo radioativo emite três tipos de radiação quando está instável: α (alfa), β (beta) e γ (gama). Como dificilmente o núcleo resulta em outro núcleo estável com apenas uma transformação, ocorre uma série de outras transformações que são chamadas de famílias radioativas (SÃO PAULO, 2014, p. 49).

Por fim, os autores citam o conceito de meia-vida ao apresentar um quadro informativo acerca do funcionamento de um equipamento de Tomografia por Emissão de Pósitron (PET, do inglês **Positron Emission Tomography**) e de um equipamento de Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT, do inglês **Single Photon Emission Computed Tomography**). Nesses dois casos, o texto cita o conceito de meia-vida para explicar que, no primeiro, existe uma desvantagem em sua utilização, devido à necessidade de haver, nas proximidades do hospital, um acelerador de partículas, visto que os isótopos utilizados possuem meia-vida de minutos ou, no máximo, de poucas horas, enquanto o segundo aparelho utiliza isótopos com maior tempo de meia-vida.

A partir dessa análise, concluímos que, de maneira geral, o caderno do professor supre, de forma superficial, conceitos básicos sobre o estudo da Física das Radiações, uma vez que se restringe a abordar fenômenos nucleares relacionados à radioatividade, além de não apresentar um aprofundamento nas questões conceituais que se propõe a expor.

Dessa maneira, nossa UE é constituída de um conjunto de dez aulas, as quais foram ministradas pelo pesquisador em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio e

por três alunos de Iniciação Científica em outras três turmas, também do terceiro ano do Ensino Médio, sobre o tema “Física das Radiações Ionizantes”.

No primeiro dia de implementação, apresentamos aos alunos a proposta da UE a respeito do tópico “Física das Radiações” explicando que a mesma se constituiria de um conjunto de dez aulas. Após a apresentação do pesquisador, foi exposto à turma um colaborador, que estaria auxiliando a pesquisa por meio da vídeo-gravação das aulas. O colaborador é aluno de Iniciação Científica, regularmente matriculado no curso de Licenciatura em Física da UNESP, campus de São José do Rio Preto e cursa disciplinas do quarto semestre.

Feitas as devidas apresentações, entregamos aos alunos um questionário inicial e individual, com o intuito de conhecermos o perfil da turma em relação aos seus hábitos de leitura e se possuíam algum conhecimento acerca do tema a ser abordado.

O questionário é composto pelas seguintes questões: a) Você tem o hábito de ler? Quantos livros em média você costuma ler? b) Qual o tipo de leitura de que você mais gosta (revista, gibi, jornal)? Comente. c) Você já ouviu falar em radiações? E sobre radioatividade? Comente. d) Você já leu sobre algum tema relacionado a radiações? Em caso afirmativo, comente.

Após a realização do questionário, foi exposto aos alunos que, com exceção da primeira e da última aula, nas demais aulas da UE seriam realizadas leituras de textos que envolvem assuntos pertencentes à Física das Radiações, e que também seriam solicitadas, ao final de cada leitura, respostas a perguntas presentes em questionários.

Explicamos, ainda, que as atividades eram parte integrante do trabalho de coleta de dados do pesquisador, sendo que esta não seria utilizada como critério de atribuição de notas. Ao deixar isso claro, nosso objetivo era que os alunos se sentissem mais à vontade para responder os questionários, sem medo de que isso influenciasse suas respostas.

Após essas considerações, a primeira aula teve seu início. O objetivo da primeira aula foi o de apresentar conceitos que consideramos essenciais e que ajudariam no decorrer da implementação da UE. Realizamos uma aula expositiva, com auxílio de slides projetados e duração de quinze minutos. Os conceitos iniciais discutidos foram: definição de radiação, como sendo energia em transito; os diferentes tipos de radiação eletromagnética (ionizantes e não-ionizantes); o conceito de

radioatividade; significado do trifólio radioativo e sua origem histórica, além da construção de outros símbolos a partir dele como, por exemplo, o símbolo correspondente ao risco biológico (figura 3).

Figura 3 – Símbolo do risco biológico



Fonte: <http://terranova.blogs.com/terra_nova/images/biohazard.html>. Acesso em: 18 jul. 2018.

Ao final da apresentação dos conceitos iniciais, entregamos aos alunos um questionário com as seguintes questões: a) Você acredita ser possível sentir a radiação? b) Qual a diferença entre radiação e radioatividade? Comente. c) Por que hoje se fala da necessidade de proteção contra os raios solares? Justifique. d) A radioatividade está presente no seu dia a dia? Em caso afirmativo, cite pelo menos um caso.

Na segunda aula, abordamos o conceito de meia-vida de um elemento radioativo e os tipos de radiações emitidos por um elemento radioativo (radiação alfa, beta e gama), destacando suas energias e seus poderes de penetração. Aqui, utilizamos recortes do livro **Perdendo o Medo da Radioatividade**, de autoria de Felipe Damasio e Aline Tavares. A escolha desse livro ocorreu devido à linguagem acessível que ele apresenta, sendo no nosso entendimento um texto coeso e bem informativo, além de apresentar imagens que pensamos que auxiliariam na compreensão das informações transmitidas.

Nessa aula, ocorreu uma breve explanação sobre os conceitos de radiação ionizante (alfa, beta e gama) e de meia-vida de um elemento radioativo. Em seguida, definiu-se o termo **radiação induzida**, presente no corpo do texto. Na sequência, os alunos receberam os textos para realizarem a leitura e, após, responderem a um questionário com as seguintes questões: a) É possível um elemento não-radioativo vir a tornar-se radioativo? Justifique. b) Na sua opinião, todo tipo de radiação é prejudicial ao nosso organismo? Justifique. c) Você conhece alguma aplicação para o conceito

de meia vida? Qual(is). d) Imagine que lhe sejam dados três biscoitos radioativos: um deles emite radiação alfa, o outro beta e o outro gama. Você tem três opções, um deles você deve comer, o outro colocar no bolso e o outro segurar na mão. Qual escolha você deve fazer para se proteger ao máximo? Ou seja, qual deles você segurará, qual você comerá e qual você guardará no bolso? Por quê? (CAVALCANTI et al., 2016, p. 25).

Já na terceira aula, introduzimos a parte histórica da física das radiações, apresentando aos alunos os raios X e seu “descobridor”, o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen. Iniciamos a aula utilizando um trecho do livro **Bequerel e a radioatividade**: uma análise crítica, de autoria de Roberto de Andrade Martins. Embora consideremos essa obra uma leitura difícil para alunos do Ensino Médio, o trecho escolhido compõe uma parte da entrevista de Röntgen ao repórter Henry Dam. Nesse trecho, Röntgen discorre sobre as dificuldades que obteve para determinar que aquele raio que observara era, de fato, um fenômeno nunca antes observado.

Após a leitura do texto, realizamos uma aula expositiva com o intuito de apresentar aos alunos a unidade internacional que mede o impacto da absorção da radiação ionizante no corpo humano (o Sievert) e os índices de exposição aos raios X recomendados pela CNEN (quadro 05).

Situação	Dose média efetiva (Msv)
Dormir uma noite ao lado de alguém	0,00005
Raio X de um braço	0,001
Raio X Odontológico Intra-Oral de Todos os Dentes	0,005
Raio X Odontológico Panorâmico	0,01
Raio X de Tórax	0,02
Tomografia Computadorizada Odontológica	0,15
Mamografia	0,4
Radiação Natural (recebemos de forma natural anualmente - UNSCEAR 2008)	2,4

Limite Anual de Radiação para público em geral (Norma CNEN-NN-3.OI)	3,4 (Natural +1)
Limite Anual para Indivíduo ocupacionalmente Exposto (Norma CNEN-NN-3.OI)	20

Quadro 06 – Lista de doses para pacientes em exames radiológicos (Fonte: Adaptado de <<http://www.radiocentro.com.br/blog/informacoes-sobre-raios-x-aos-pacientes>>.)

Apresentamos também como são produzidos os raios X e como os mesmos são capazes de imprimir uma imagem em uma chapa, além de expor algumas utilizações dos raios X no cotidiano. Finalizamos a aula com a aplicação de um questionário com as seguintes perguntas: a) Os raios X emitidos para investigar possíveis fraturas ósseas apresentam algum risco à saúde? Justifique. b) Em geral, cientistas são tratados como “mentes brilhantes”. Você concorda com essa afirmação após a leitura?

Na quarta aula, discutimos um recorte do livro **Curie e a radioatividade em 90 minutos**, de autoria de Paul Strathern, que abordava os trabalhos de Becquerel com compostos de urânio e os impasses pelos quais encontrava-se sobre conceitos como fluorescência e os raios X. Nessa aula, realizamos a leitura do texto e posterior aplicação do questionário, já que consideramos que as contribuições de Becquerel seriam suficientemente supridas pelo conteúdo do texto.

O questionário desta aula contém as seguintes questões: a) Qual a sua opinião sobre a Radioatividade? Ela é benéfica ou maléfica para os seres vivos? Comente. b) Como você descreveria a Radioatividade por meio de um desenho?

A aula cinco teve como objetivo a apresentação das contribuições de Marie e Pierre Curie, extraídas do livro **Curie e a radioatividade em 90 minutos**, de autoria de Paul Strathern. Consideramos que a opção por essa obra foi apropriada uma vez que o autor expõe detalhes da vida de Madame Curie, desde o início de sua vida na Polônia, passando pelas dificuldades na França, seu relacionamento com Pierre, seu papel dentro do laboratório, o preconceito sofrido por parte da academia de ciências e as dificuldades em conseguir identificar os novos compostos químicos rádio e polônio.

As questões solicitadas aos alunos ao final desta aula foram: a) De acordo com o texto, Marie Curie teve que processar algo em torno de 20 toneladas de pitchblenda para conseguir um grama de rádio. Na sua visão, por que não aprendemos sobre as dificuldades pelas quais os cientistas passam? b) O texto apresenta a informação que quem fazia o “trabalho duro” era Marie. Você acha que isso tem a ver com a questão de ela ser mulher? c) O escândalo envolvendo Marie e Paul Langevin quase acarretou a perda do segundo prêmio Nobel. Na sua opinião, seria justo retirar o prêmio dela por esse motivo, tal como alegou o comitê do Nobel? d) Na sua visão, Marie Curie foi premiada com o primeiro Nobel devido às pesquisas em conjunto com Pierre? E se caso ela assinasse os trabalhos sozinha, você acredita que teria atingido tamanha façanha? e) Marie é considerada uma precursora da mulher na ciência. Você conhece ou se lembra de alguma outra grande mulher de fama internacional no meio científico? Em caso afirmativo, cite-a.

Na aula de número seis, abordamos as usinas nucleares. Nessa aula, discutimos inicialmente o que é uma Usina Nuclear e a forma que elas atuam como uma alternativa às limitações das fontes naturais renováveis (como os rios) e as não renováveis (carvão), além de apresentarmos algumas vantagens e desvantagens referentes ao uso dessa matriz energética.

Em seguida, os alunos receberam um trecho do livro **Perdendo o Medo da Radioatividade** para, posteriormente, responderem um questionário, composto pelas seguintes perguntas: a) Quais as vantagens na construção de uma Usina nuclear? E desvantagens? b) Diante da suposição da instalação de uma usina nuclear próxima a sua comunidade, como você acredita que as pessoas reagiriam? Por quê? c) Para você, produzir eletricidade por meio de elementos radioativos é um aspecto maléfico ou benéfico a respeito da radioatividade? Justifique.

A aula sete abordou a questão do lixo nuclear. Nesta aula, não realizamos nenhuma introdução teórica ou expositiva, uma vez que o intuito foi trabalhar a leitura mais extensa do livro **A radioatividade e o lixo nuclear**, de autoria de Maria Elisa Marcondes Helene. Esse livro apresenta uma série de tabelas e gráficos informativos acerca dos países que utilizam energia nuclear, além de apresentar a quantidade de lixo atômico produzido pelos mesmos.

No trecho escolhido, inserimos, ainda, uma passagem dedicada ao relato do destino que o governo brasileiro dá ao lixo atômico produzido pelas usinas nucleares de Angra I e Angra II. Ao final desta aula, os alunos responderam as seguintes

questões: a) Na sua opinião, o lixo nuclear é um problema para a sociedade moderna? Em caso afirmativo, quais as medidas você acredita serem cabíveis para solucioná-lo? b) Você conhece algum caso onde o lixo nuclear foi descartado de maneira incorreta? Qual a consequência disso?

Na aula oito, trabalhamos os acidentes radioativos de Chernobyl e Goiânia. Inicialmente, discutimos o trecho do livro **Radiação – efeitos, riscos e benefícios**, o qual aborda o acidente radioativo de Goiânia, além de citar os acidentes de Windscale, na Inglaterra, em outubro de 1957, o de Three Mile Island, nos Estados Unidos, em março de 1979, e finalmente o de Chernobyl, na União Soviética, em abril de 1986.

Após a leitura, os alunos assistiram a um trecho do documentário **Linha Direta Justiça – césio 137**, exibido pela TV globo em agosto de 2007¹, que exibe uma reconstituição do acidente de Goiânia. Após a exibição do documentário, os alunos responderam ao questionário com as perguntas: a) Em sua opinião, um acidente como o de Goiânia corre o risco de acontecer novamente? Por quê? b) Que conclusões podemos tirar desses acidentes? Ambos poderiam ter sido evitados? c) Quais as semelhanças e diferenças entre esses dois acidentes? d) Ainda hoje, as vítimas nos dois acidentes sofrem preconceito e discriminação por parte da população. Qual a sua posição a respeito desse comportamento? Justifique.

A penúltima aula abordou a questão do experimento Trinity e o lançamento das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki. O texto utilizado foi um recorte do livro **Trinity**, de autoria de Jonathan Fetter-Vorm. Assim, realizamos uma introdução teórica expositiva explicando o que foi o experimento Trinity e quais as suas consequências.

A escolha desse livro deu-se, principalmente, pelo seu formato, composto por história em quadrinhos. Ao final da leitura, entregamos o questionário com as seguintes perguntas: a) Para você, o que é uma bomba atômica? O que a diferencia de outras bombas? b) Na sua opinião, a ciência possui um caráter benéfico, maléfico ou neutro para o ser humano? Justifique.

Finalmente, na décima e última aula, relembramos os aspectos positivos do uso das radiações ionizantes (tomografias, exames de raio X, energia etc.), vistos anteriormente, e solicitamos aos alunos que respondessem, sem que tivessem

¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cO2g_XVC5XY>. Acesso em: 20 jul. 2018.

realizado a leitura, duas questões sobre as aplicações das radiações: a) Você conhece alguma aplicação benéfica para as radiações ionizantes? Cite exemplos. b) O fato de um produto ser cientificamente comprovado interfere na sua decisão de compra?

Em seguida, entregamos um texto retirado do livro **Perdendo o Medo da Radioatividade**, o qual apresentava aplicações das Radiações Ionizantes. A partir dessa leitura, os alunos foram informados que poderiam responder a seguinte questão: c) Alguns alimentos estão sendo irradiados para sua maior conservação. Você acredita que este processo pode prejudicar a sua saúde?

Depois de os estudantes redigirem a resposta desta pergunta, foi solicitada a atividade final, que consistia em uma análise sobre quais conceitos, após essas dez aulas, sobre os quais eles tinham adquirido maior conhecimento e qual(is) eles não conheciam.

3.3.3. O LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO, OS SUJEITOS E COLETA DE DADOS

O estudo foi realizado no segundo semestre de 2017, mais precisamente entre os meses de agosto e outubro, com alunos regularmente matriculados no terceiro ano do Ensino Médio de duas escolas da cidade de São José do Rio Preto (SP); uma escola particular (doravante escola A) e uma escola pública (escola B). O desenvolvimento da pesquisa ocorreu em parceria com o professor de Física da escola pública e o pesquisador desse trabalho na escola particular, uma vez que este atua como professor nessa instituição. A UE foi realizada em um conjunto de dez aulas dessa disciplina.

A escola A é uma instituição religiosa, localizada em uma região bastante valorizada economicamente.

Essa escola está organizada para atender o Ensino Infantil (Jardim II), o Ensino Fundamental I (1º ao 5º ano), o Ensino Fundamental II (6º ao 9º ano) e o Ensino Médio (1º ao 3º ano), atuando como uma escola regular, das 07:00 às 12:45 e das 13:00 às 17:30 (salvo às sextas-feiras). O Ensino Médio, em que se encontram os alunos participantes da pesquisa, opera apenas no período da manhã, num total de sete aulas diárias.

A escola A iniciou suas atividades em fevereiro de 1971. Naquela época não havia nenhuma escola vinculada a esta rede religiosa na região de São José do Rio

Preto. Assim, foi solicitado à administração central que abrissem uma nova unidade em São José do Rio Preto e uma outra na cidade vizinha, Catanduva.

Chegou-se ao final daquele ano letivo com vinte alunos, dos quais quatro são pastores, um médico, um engenheiro e uma professora na área médica. Em 1976, a escola passou a funcionar em prédio próprio. Em 1981, a escola teve a 1ª turma de concluintes do Ensino Fundamental, na época, 8ª série, com sete formandos.

A escola cresceu e em 21 de abril de 1996 foi inaugurado um novo prédio para abrigar o Ensino Médio. Em 1998, a escola teve o orgulho de comemorar a Formatura da 1ª turma de concluintes, com 13 formandos.

Em 2011, a escola teve seu prédio ampliado para 25 salas de aula climatizadas, atendendo a 973 alunos com um total de 83 funcionários, entre os quais 47 professores que lecionam da pré-escola até a 3ª série do Ensino Médio. Nos anos que se seguiram, continuaram as reformas e a adequação à lei da acessibilidade, com instalações de rampas, sanitários, elevador, piso tátil etc.

A construção do novo auditório, com capacidade para 800 pessoas, foi concluída em 2014 e ele foi inaugurado no dia 24 de abril daquele ano, com a presença de autoridades políticas, eclesiásticas, departamentais da educação, diretores das escolas da associação, funcionários, professores, pais, alunos e público em geral.

Por sua vez, a escola B é localizada na região próxima ao centro da cidade. Apesar de a Diretoria de Ensino da região de São José do Rio Preto tentar alocar os alunos em escolas próximas à sua residência, a escola B recebe alunos de todas as regiões da cidade. Assim, a escola é constituída por estudantes com diferentes situações econômicas.

A escola B é organizada para atender apenas o Ensino Médio (1º ao 3º ano), atuando como uma escola de tempo integral, das 07h às 16h, num total de nove aulas diárias e com ampliação nos componentes curriculares da Parte Diversificada da Matriz Curricular e inclusão de Atividades Complementares, contando com aulas de Orientação de Estudo, Projeto de Vida, Preparação Acadêmica/Mundo do Trabalho, Clube Juvenil e Práticas de Ciências.

A escola B atende à modalidade de escola integral desde o ano de 2012. Historicamente, a escola atendeu às modalidades de ensino regular e Educação de Jovens e Adultos (EJA), Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio, com funcionamento nos três turnos.

Cabe destacar que a escola se insere em uma comunidade de baixo e médio poder aquisitivo e médio nível de escolaridade e que mantém um bom relacionamento com a comunidade; apesar disso, a participação desta não é grande nas atividades regulares da escola, restringindo-se a número pequeno de pais colaborativos e participativos.

Quanto às características do espaço físico, a escola possui 18 salas de aula com lousas digitais, 2 laboratórios de ciências, sala de informática, 120 *netbooks*, sala de leitura, auditório para 120 pessoas, estacionamento e quadra poliesportiva, cozinha/refeitório, banheiros masculinos e femininos para alunos e professores, almoxarifado, arquivo morto, cantina, sala de Educação Física, sala dos agentes de limpeza, secretaria, sala dos professores, sala da direção, sala da vice-direção e coordenação pedagógica, zeladoria e uma sala destinada a perícia médica do Estado de São Paulo.

Os alunos envolvidos na pesquisa, em ambas as escolas, tinham uma faixa etária entre 16 e 18 anos e, na sua maioria não trabalhavam e nem frequentavam outros cursos (escolas técnicas, por exemplo).

A implementação do estudo ocorreu entre os dias 23 de agosto e 8 de novembro de 2017 na escola A, e entre os dias 21 de setembro e 31 de outubro de 2017 na escola B. Não foi possível iniciar o módulo conjuntamente, uma vez que o professor titular do colégio público comunicou que precisaria de um pouco mais de um mês para concluir os conteúdos obrigatórios do Currículo Oficial do Estado de São Paulo e que, ao fim do mês, poderia disponibilizar suas três aulas semanais para a aplicação da UE.

Já na escola A, na qual o pesquisador/autor deste trabalho é professor da disciplina de Física, foi permitida a utilização de uma aula semanal, visto que naquele segundo semestre os alunos estavam passando pela revisão dos conteúdos para o vestibular.

3.3.4. O REGISTRO DAS INFORMAÇÕES

O registro das informações foi realizado a partir da utilização de duas ferramentas: a vídeo-gravação e o uso de questionários. Esses instrumentos permitiram manter as condições reais de produção dos alunos ao observarmos o funcionamento da leitura na sala de aula, além de possibilitar o resgate dos discursos

dos alunos produzidos durante a atividade de intervenção com as leituras em sala de aula.

De acordo com Garcez, Duarte e Eisenberg (2011), o uso adequado da imagem, em conjunto ao áudio, permite capturar aspectos que seriam mais difíceis de serem registrados com outros recursos, tais como expressões corporais, faciais e verbais. Os autores destacam que a vídeo-gravação permite capturar o contexto das interações, assim como permite que façamos repetidas revisões, com o intuito de tornar mais clara as situações registradas, servindo como uma forma de *feedback* para o pesquisador. Entretanto, os autores destacam que:

O vídeo não é mera transcrição da realidade em imagens; há que se considerar o olhar de quem filma, seu posicionamento diante do que está sendo registrado, seus recortes, enquadramentos, escolhas. Muitas vezes, é necessário ter outro pesquisador operando a câmera, sobretudo quando o trabalho de campo exige uma atuação direta do pesquisador junto aos sujeitos da pesquisa, como frequentemente ocorre, por exemplo, nos estudos que envolvem crianças (GARCEZ; DUARTE; EISENBERG, 2011, p. 254).

As filmagens foram realizadas com foco no professor-pesquisador, em atividade docente junto aos alunos. Foram, também, registradas as participações dos alunos durante a realização das atividades propostas, com o intuito de registrar os discursos produzidos pelos alunos.

Em nossa pesquisa utilizamos como principal material para as análises as informações contidas nas produções textuais dos alunos. Estas produções foram realizadas pelos estudantes em sala de aula.

As produções referem-se aos registros das atividades solicitadas pelo professor-pesquisador. Podemos dizer que a análise das produções escritas visou obtermos informações para inferirmos conclusões sobre o funcionamento das leituras de divulgação científica referentes à Física das Radiações Ionizantes.

3.4. O TRATAMENTO DOS DADOS: O REFERENCIAL TEÓRICO DE ANÁLISE

3.4.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE DE DISCURSO

O referencial teórico utilizado nessa pesquisa para a análise dos dados coletados é a Análise de Discurso (AD) tal como desenvolvida no Brasil por Eni Orlandi, a partir daquela originada na França por Michel Pêcheux.

Orlandi (2007b) ressalta que a Análise de Discurso se constituiu a partir de três domínios disciplinares que ao mesmo tempo foram com o século XIX: a Linguística, o Marxismo e a Psicanálise. De acordo com Orlandi (2008), a AD surge em um contexto intelectual afetado por duas rupturas.

A primeira diz respeito ao progresso da linguística, na qual era impossível não mais considerar o sentido apenas como conteúdo. Dessa maneira, a AD não visa o **que** o texto quer dizer, mas **como** o texto funciona.

A segunda ruptura passa pelas releituras de Althusser (releitura de Marx) e Lacan (releitura de Freud); além dos trabalhos de Foucault (**Arqueologia do saber**) e de Barthes (a relação leitura-escritura).

Dessa maneira, podemos elencar alguns aspectos relevantes para a compreensão da AD: a **leitura**; o **sujeito**; a **linguagem** e seu processo histórico; os **dispositivos de análise**; as **condições de produção**, o **discurso**, a **memória**, a **repetição**, a **ideologia**, entre outros.

Para Orlandi (1988), existem diversas definições de leitura. A primeira delas pode ser entendida como uma “atribuição de sentidos”, tanto no que diz respeito à linguagem escrita como para a linguagem oral. Outra definição está atrelada à ideia de “concepção”, usada quando alguém se refere à “leitura de mundo”.

No sentido mais restritivo, atrelado à escola, a leitura apresenta um caráter mais formal. Com isso, é possível criar um vínculo entre a leitura e a escrita, fundamentais no processo de alfabetização. Podemos, então, perceber que a partir da leitura é possível construir um aparato teórico e metodológico com o intuito de interpretar um determinado texto.

Zilberman e Silva (2005) apresentam a leitura como algo positivo em nossa cultura e que apresenta benefícios tanto para o indivíduo quanto para a sociedade na qual este se apresenta. De acordo com as autoras:

Em nossa cultura grafocêntrica, o acesso à leitura é considerado como intrinsecamente bom. Atribui-se a leitura um valor positivo absoluto: ela traria benefícios óbvios e indiscutíveis ao indivíduo e a sociedade – forma de lazer e de prazer, de aquisição de conhecimentos e de enriquecimento cultural, de ampliação das condições de convívio social e de interação (ZILBERMAN; SILVA, 2005, p. 19).

Ainda de acordo com as autoras, crianças e pais das camadas populares veem na aprendizagem da leitura uma oportunidade para uma obtenção de melhoria da qualidade de vida, uma vez que “a leitura é avaliada em função de interesses utilitários” (2005, p. 22). Já para as crianças e pais de classes mais favorecidas, a

leitura atua mais como uma alternativa de expressão, de comunicação e de enriquecimento cultural e nunca como uma exigência do e para o trabalho (2005, p. 22).

No que se refere à noção de sujeito, definir o sujeito na AD não é algo simples e imediato, uma vez que, para definirmos o sujeito, devemos recorrer à obra de Althusser (1980), na qual o autor distingue a concepção de sujeito e indivíduo. Para ele,

Aqui está uma proposição que implica que distingamos, por agora, os indivíduos concretos por um lado, e os sujeitos concretos por outro, embora a este nível o sujeito concreto só possa existir assente num indivíduo concreto. Sugerimos então que a ideologia age ou funciona de tal forma que recruta sujeitos entre os indivíduos (recruta-os a todos), ou transforma-os indivíduos em sujeitos (transforma-os a todos) por esta operação muito precisa a que chamamos a *interpelação*. (ALTHUSSER, 1980, p. 99; grifo do autor).

Orlandi (2007b, p. 46) aponta que “a ideologia faz parte, ou melhor, é a condição para a constituição do sujeito e dos sentidos”. Assim podemos entender, a partir das concepções do autor que “não existe discurso sem sujeito e nem sujeito sem ideologia. Ideologia e inconsciente estão materialmente conectados” (ORLANDI, 2007b, p. 47).

Por sua vez, um sujeito necessita de uma ferramenta que possibilite a troca de informações com outros sujeitos. Para isso, dispõe-se da linguagem. De acordo com a definição apresentada no dicionário Michaelis, a linguagem é “conjunto de sinais falados, escritos ou gesticulados de que se serve o homem para exprimir esses pensamentos e sentimentos” (MICHAELIS, 2002, p. 472). A Linguagem está relacionada a fenômenos comunicativos; onde há comunicação, há linguagem.

Contudo, na AD, a linguagem é vista de uma forma particular. Ela passa a ser designada, de acordo com Orlandi, como um “objeto-linguagem diferente daquele instaurado pela linguística tradicional, porque procura tratar dos processos de constituição dos fenômenos linguísticos e não meramente do seu produto” (ORLANDI, 1988, p.17).

Orlandi (1988) destaca que a linguagem atua além da transmissão de informação; esta também é, em sua essência, um objeto constituído dentro de um processo histórico-social, cuja especificidade está em sua materialidade, que é linguística. Ela não é transparente, devido à articulação de dois grandes processos linguísticos: o processo polissêmico, responsável pelos múltiplos sentidos que a

linguagem oferece e o processo parafrásico, o qual permite o mesmo sentido sob diferentes formas.

Outro aspecto da AD é aquele que auxilia na interpretação do discurso: os dispositivos de análise. De acordo com Orlandi (2007b), os dispositivos de análise apresentam como característica:

Colocar o dito em relação ao não-dito, o que o sujeito diz em um lugar com o que é dito em outro lugar, o que é dito de um modo com o que é dito de outro, procurando ouvir, naquilo que o sujeito diz, aquilo que ele não diz, mas que constitui igualmente o sentido de suas palavras (ORLANDI, 2007b, p. 59).

Na mesma obra, a autora destaca que o trabalho do analista de discurso se baseia em apresentar os sentidos produzidos por um objeto simbólico, ou seja, quais os processos de significação que um texto é capaz de produzir.

Por fim, Orlandi (2007) evidencia que o dispositivo de análise deve permitir ao analista uma posição relativa em virtude da sua interpretação e não uma neutralidade frente ao discurso que o analista se depara. A autora enfatiza que, para o analista alcançar seu objetivo, é necessário que ele atravesse a transparência da linguagem, no descentramento do sujeito e no efeito metafórico, ou seja, na falha e na materialidade do discurso.

Já as condições de produção compreendem fundamentalmente os sujeitos e a situação na qual o sujeito se encontra. Para Orlandi (2007b),

Podemos considerar as condições de produção em sentido estrito e temos as circunstâncias da enunciação: é o contexto imediato. E se considerarmos em sentido amplo, as condições de produção incluem o contexto sócio-histórico, ideológico (ORLANDI, 2007b, p. 30).

Podemos então concluir que as condições de produção estão atreladas ao momento em que se produz o discurso, ou seja, de qual posição o sujeito produz seu discurso; para quem se faz o discurso; e qual a intencionalidade que esse discurso carrega. Dessa maneira, entende-se que, para produzir discurso, é necessário buscar outra ferramenta da AD: a memória.

Do ponto de vista conceitual, a memória pode ser entendida como a faculdade psíquica por meio da qual se consegue reter e relembrar o passado. Entretanto, na AD, a memória é ressignificada, passando a determinar as práticas discursivas do sujeito.

Da perspectiva da AD, Orlandi (2007a) classifica a memória em dois tipos: a memória histórica e a memória metálica. De acordo com a autora:

A memória metálica (formal) “lineariza”, por assim dizer, o interdiscurso reduzindo o saber discursivo a um pacote de informações, ideologicamente equivalentes, sem distinguir posições. O que produz o efeito da onipotência do autor e os deslimites dos seus meios (a memória metálica, a infinidade de informações) (ORLANDI, 2007a, p. 15-16).

Por sua vez, a memória histórica (ou memória discursiva) pode ser entendida como parte de um processo histórico resultante de uma disputa de interpretações de acontecimentos que ocorreram no passado.

Dessa forma, podemos entender que todo discurso já foi pré-construído por outro sujeito, não é algo inédito. O que o sujeito pode fazer é apropriar-se desse discurso, a partir do resgate em sua memória e, em seguida reproduzi-lo de acordo com os seus interesses.

Nas palavras de Orlandi (2007b), a AD não trata da língua e tampouco da gramática; ela trata do discurso. Etimologicamente a palavra discurso apresenta a ideia de percurso, de movimento. Em outra obra, Orlandi (1994) apresenta o discurso como efeito de sentido entre locutores. Essa é uma definição de discurso em seu sentido amplo e nos introduz em um campo disciplinar que trata da linguagem em seu funcionamento. Apresenta-se o discurso como a fonte de dados da Análise de Discurso. De acordo com a autora:

[...] há um certo sentido em que se pode dizer que existem dados em análise de discurso. O que seriam eles? São os objetos de explicitação de que se serve a teoria discursiva para se construir como tal: os dados são os discursos. Os discursos por sua vez, não são objetos empíricos, são efeitos de sentidos entre locutores, sendo análise e teoria inseparáveis (ORLANDI, 2007b, p. 37-38).

É a partir desse novo objeto (o discurso), que se produz uma nova disciplina; a Análise de Discurso, a qual vai se constituir, nas palavras de Orlandi (2007b, p. 38), “de um acontecimento na história das práticas da linguística e da história dos pensamentos marxistas sobre a linguagem”.

Para compreendermos o processo de constituição do discurso e, por conseguinte, sermos capazes de realizar uma interpretação do mesmo, é necessário observar uma característica que se apresenta dentro do discurso e que, para um leigo não passa de um mero descuido do autor: a repetição.

De acordo com Orlandi (2001, p. 36), toda repetição remete a uma “mexida nas redes de filiação dos sentidos”, mexida essa que só é possível, portanto, a partir de um já-dito. Sendo assim, Orlandi (2007a) distingue a repetição discursiva em três grupos:

a) **a repetição empírica**, exercício mnemônico que não historiciza;

b) **a repetição formal**, técnica de produzir frases, exercício gramatical que também não historiciza;

c) **a repetição histórica**, a que inscreve o dizer no repetível enquanto memória constitutiva, saber discursivo, em uma palavra: interdiscurso. Este, a memória (rede de filiações), que faz a língua significar. É assim que sentido, memória e história se intrincam na noção de interdiscurso (ORLANDI, 2007a, p. 70).

Assim, para a autora, pode-se concluir, de forma mais geral, que todo o discurso deriva de um preexistente, ou seja, todo discurso é repetição de outro produzido anteriormente. Não porque é o mesmo, mas por ser passível de interpretação.

Um mesmo discurso pode originar inúmeras interpretações. Uma das características da AD que justifica essa possibilidade é a ideologia. De acordo com Silva (2005), o conceito de ideologia contemplado pela Análise de Discurso surge do trabalho de Althusser sobre os **Aparelhos Ideológicos do Estado**. Contudo, Althusser se apropria de tal conceito estabelecido por Marx e Engels, os quais empregaram-no com um sentido negativo.

De acordo com Silva (2005), “[...] para eles a ideologia separa a produção de ideias das condições sócio-históricas em que são produzidas”. Por isso, baseiam suas formulações em verificação empírica, pois os dados da realidade são “[...] os indivíduos reais, sua ação e suas condições materiais de existência, aquelas que já encontraram à sua espera e aquelas que surgem com a própria ação” (MARX apud BRANDÃO, 1986, p. 20).

De acordo com Marx e Engels, as ideologias levam os homens e suas relações a ficarem totalmente desestabilizadas. É o momento em que o sistema de ideias e das normas e regras aparece como algo independente das condições materiais, uma vez que seus produtores não estão diretamente vinculados à produção material das condições de existência que nasce a ideologia.

Todavia, Althusser (1980) afirma que a ideologia compreende uma existência material, pois

Ao falar dos aparelhos ideológicos de Estado e das práticas destes, que cada um deles era a realização de uma ideologia (sendo a unidade destas diferentes ideologias regionais – religiosa, moral, jurídica, política, estética, etc. – assegurada pela sua subsunção à ideologia dominante). Retomamos esta tese: uma ideologia existe, sempre num aparelho, e na sua prática ou suas práticas. Esta existência é material (ALTHUSSER, 1980, p. 84).

Dessa maneira, a ideologia sempre se manifesta por meio de ações, que estão **inseridas em práticas**, por exemplo, rituais, comportamentos convencionais, etc. A partir da leitura de Althusser, seu conterrâneo Pêcheux vai pensar nas relações entre discurso e ideologia.

Partindo das contribuições do materialismo histórico, Pêcheux mostra o importante papel que a ideologia representa no processo de interdição dos sentidos, mostrando, a partir do conceito de **condições de produção**, que o discurso é efeito de sentidos entre os interlocutores.

Tendo em vista que investigaremos o funcionamento da leitura e a interpretação da física das radiações ionizantes, por alunos, quando da leitura de textos, devemos considerar que o discurso está relacionado ao efeito de sentidos expostos por seus interlocutores. Especificamente, utilizaremos a noção de autoria da Análise de Discurso. Assim buscaremos indícios da

passagem da “repetição empírica”, quando o estudante exercita a memória para dizer apenas aquilo que o professor ou o livro já havia dito (num mero exercício mnemônico), para a “repetição histórica”, ou seja, quando há incorporação de sentido próprio do aluno à memória constitutiva, isto é, o aluno passa a assumir o discurso como seu: a autoria. Entre essas interpretações teria uma intermediária, a “repetição formal”, na qual o estudante explicita as mesmas ideias vistas nas aulas, mas com uma outra roupagem, ou seja, repete o que foi dito com outras palavras (ALMEIDA et al., 2008, p. 40).

Com as definições das características que compõem a AD, bem claras, passemos então para as condições de produção que os alunos possuíam para a realização da leitura e posterior interpretação dos textos utilizados.

3.4.2. CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO PARA A LEITURA E INTERPRETAÇÃO DOS TEXTOS

As atividades de leitura de textos que versam sobre Física das Radiações foram desenvolvidas a partir de agosto de 2017, com 141 alunos (nem todos presentes em todas as aulas), de quatro turmas do 3º ano do Ensino Médio diurno de duas escolas, descritas anteriormente, da cidade de São José do Rio Preto.

Na escola A, o pesquisador possuía disponibilidade de aplicação da UE apenas um dia por semana, sendo a quinta aula, às quartas-feiras. Já na escola B, tínhamos duas aulas por semana em cada turma, sendo que essas aulas eram intercaladas em diferentes dias da semana. É importante salientar que desde o início da aplicação da UE, os alunos foram informados de que essa atividade não teria um caráter avaliativo; com isso pretendíamos deixar os alunos mais à vontade quanto à produção de suas respostas, sem a preocupação de haver uma resposta “certa” ou “errada”.

Como a pesquisa foi desenvolvida em quatro turmas, decidimos enumerar as turmas.

A turma 1 diz respeito à escola A, uma vez que nessa instituição só houve aplicação em uma única turma, além de ter sido a primeira a implementarmos a UE.

Na escola B, foi realizada a aplicação em três turmas (terceiro ano A, B e C), sendo renomeadas como turmas 2, 3 e 4, respectivamente.

No que diz respeito às condições de produção para a leitura e interpretação dos textos, cabe destacar que a abordagem adotada para a implementação da UE foi idêntica em ambas as escolas, mantendo-a mais fidedigna possível.

Os dados foram construídos a partir dos questionários que os alunos responderam nas dez aulas de aplicação da UE e também pelos áudios gravados durante as aulas.

Estabelecemos que as leituras e a elaboração das respostas ocorreriam durante as aulas e não em outro período. Tal decisão baseou-se em três aspectos que consideramos pertinentes: os textos são relativamente pequenos (média de quatro páginas); a possibilidade em despertar o interesse por diferentes gêneros textuais e desenvolver o vocabulário e a capacidade de leitura dos estudantes e finalmente auxiliar os alunos perante dúvidas relativas a termos relacionadas a física das radiações.

Ao analisarmos essas produções, levamos em consideração seu sentido mais restrito, ou seja, as condições imediatas. Todavia, devemos ter em mente que os alunos possuem conhecimentos prévios adquiridos, por exemplo, durante sua jornada escolar, da leitura de livros de ficção científica, de pesquisas para trabalhos de outras disciplinas etc. Sendo assim, também vamos considerar em suas produções seu contexto sócio-histórico e ideológico.

As respostas dadas pelos estudantes constituíram o material central das análises que serão apresentadas no capítulo seguinte. Além disso, algumas falas desses estudantes e a observação do professor das turmas durante o desenvolvimento das atividades também embasaram as considerações.

Cabe ressaltar que as respostas aparecem exatamente como escritas pelos alunos, ocorrendo alterações apenas referentes à gramática e/ou à ortografia. Ressaltamos também que, devido às questões éticas, o projeto foi submetido à **Plataforma Brasil**, sob o registro número 77555517.0.0000.5466.

Tendo esclarecido os encaminhamentos metodológicos, no próximo capítulo apresentamos os dados e resultados iniciais de nossa investigação, trazendo sempre que possível os discursos dos alunos.

CAPÍTULO 4. A LEITURA E A INTERPRETAÇÃO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Neste capítulo, apresentamos os discursos iniciais produzidos pelos alunos das duas escolas onde ocorreu a implementação da UE. Procuramos avançar na discussão detalhada dos casos que nos interessam mostrar, colocando as respostas dos alunos nas produções escritas.

Dada a quantidade considerável de material disponível para análise concentramos nossa atenção naqueles casos que parecem mais significativos de serem apresentados em função do propósito deste trabalho. Destacamos ainda que nossas considerações junto ao referencial da AD serão pautadas principalmente na questão da análise das repetições e nas interpretações dos alunos quanto à leitura e a compreensão dos textos sobre física das radiações.

4.1. DISCURSOS SOBRE HÁBITOS DE LEITURA

Como mencionamos, com o primeiro questionário procurávamos obter o perfil da turma em relação a seus hábitos de leitura e se possuíam algum conhecimento acerca do tema que seria abordado.

O questionário era composto, inicialmente, por seis questões, dentre as quais o pesquisador optou selecionar quatro para serem analisadas detalhadamente. São elas: 1) Você tem o hábito de ler? Quantos livros em média você costuma ler? 2) Qual o tipo de leitura que você mais gosta (revista, gibi, jornal)? Comente. 3) Você já ouviu falar em radiações? E sobre radioatividade? Comente 4) Você já leu sobre algum tema relacionado a radiações? Em caso afirmativo, comente.

A partir das respostas obtidas na primeira questão, foi possível constatar que cinquenta e seis por cento (56%) dos alunos não possuem o hábito de ler e/ou leem mais ou menos, enquanto quarenta e quatro por cento (44%) afirmaram que consideram possuir o hábito de leitura. Contudo, cabe destacar que, ao analisarmos essa questão posteriormente foi possível verificar que ela se apresenta incompleta, visto que não foi delimitado um intervalo temporal (um mês, um ano etc.). Além disso, o pesquisador também comete o equívoco ao formular a questão ao considerar que o hábito de ler se restringe apenas a leitura de livros. De acordo com Orlandi, a leitura se manifesta de diferentes formas, pois “no momento em que se realiza o processo

da leitura, se configura o espaço da discursividade em que se instaura um modo de significação específico” (ORLANDI, 1988, p. 38).

As falas a seguir reproduzidas são exemplos de respostas que obtivemos. Cabe ressaltar que os nomes foram escolhidos de forma aleatória com o intuito de manter a identidade dos alunos em sigilo.

“Leio raramente, em média 5 livros por ano.” (Aluna Luciana, turma 1; grifo nosso)

“Não. Só li um livro na vida, Até que faz sentido, do Felipe Neto. Gostava mais dos seus vídeos no YouTube” (Aluno Leonardo, turma 1)

“Não. Os únicos livros que leio são apenas para trabalhos escolares, que a média equivale a 3 por ano.” (Aluna Marcela, turma 1; grifo nosso)

“Não. Só leio quando precisa ou se me interessa.” (Aluna Bianca, turma 1; grifo nosso)

“Apenas leituras escolares e notícias em jornais. Se tivesse com menos preocupação com vestibular e a escola, leria mais livros. Geralmente não leio mais fora do aspecto estudantil.” (Aluno Diego, turma 1)

“Leio, porém não livros, e sim notícias” (Aluno Rafael, turma 2)

“Sim. Varia da condição financeira de meus pais” (Aluno Marcos, turma 3)

“Sim, porém, leio apenas a legenda das séries” (Aluna Marta, turma 4)

O discurso apresentado pela aluna Luciana mostra que, na sua visão, a quantidade de livros anuais lidos por ela não é a ideal, daí a utilização do advérbio de modo (raramente). Entretanto, a aluna destaca um número considerável de livros lidos em doze meses, inclusive, superior à média nacional de 4,96 livros/ano, estipulada a partir da pesquisa encomendada pelo instituto Pró-Livro e realizada pelo Ibope com mais de 5000 pessoas.

Por sua vez, o aluno Leonardo expõe em seu discurso uma realidade do jovem do século XXI, sendo os sites de redes sociais, os jogos online, os sites de compartilhamento de vídeo e os smartphones os acessórios de sua cultura.

Já o discurso das alunas Marcela e Bianca parece evidenciar que elas não percebem a utilidade prática da leitura. O discurso da primeira aluna, parece

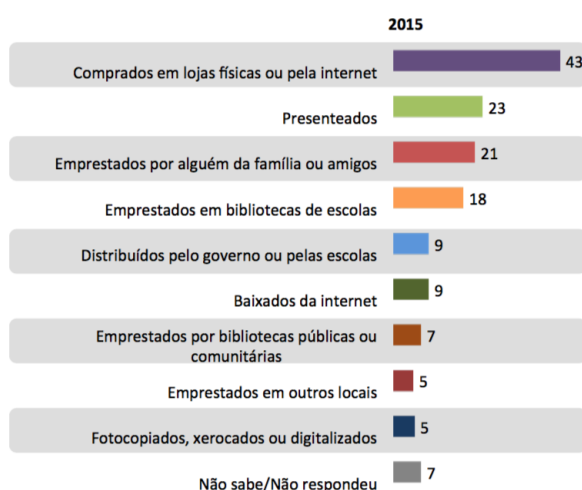
evidenciar que o uso da leitura se restringe às tarefas acadêmicas (provas, trabalhos, pesquisas etc.). Já no discurso da segunda estudante, evidenciamos novamente a questão acadêmica nas palavras “quando precisa”, dando a entender que a atividade de leitura não passa de uma obrigação, algo que não é prazeroso. Contudo, as palavras “quando me interessa” resgatam, mesmo que de forma acanhada, que a aluna gosta de ler, porém, as leituras que a escola lhe oferece não são de seu agrado. Dessa forma, a aluna só recorre à prática de leitura quando encontra algo que seja de seu agrado ou gosto.

Podemos notar no discurso do aluno Diego que existe um interesse na leitura, contudo, as preocupações das atividades acadêmicas, somadas à chegada dos vestibulares, limitam sua ação como leitor mais assíduo, mantendo apenas as leituras sugeridas pela escola.

O aluno Marcos expõe em seu discurso que realiza leituras com certa frequência, contudo essa regularidade fica restrita à condição financeira da família.

É importante salientar que, de acordo com a 4ª Edição da pesquisa **Retratos da Leitura no Brasil**, de 2016, as principais formas de acesso aos livros são por meio de aquisição, seja por meio das lojas físicas ou compras pela internet. Na figura 4, a seguir, é possível observar as formas de aquisição de livros pelos brasileiros segundo a 4ª Edição da pesquisa **Retratos da Leitura no Brasil**.

Figura 4 – Formas de aquisição de livros pelos brasileiros



Fonte: FAILLA, 2016, p. 266.

Podemos inferir que os alunos ficam limitados aos materiais fornecidos no ambiente escolar (livros da biblioteca, jornais e revistas), ou as demais categorias listadas.

Consideramos que a escola deve ter um papel imprescindível na formação de leitores competentes, reservando, na elaboração de projetos, um espaço especial para a leitura, promovendo atividades focadas nessa prática. Uma possibilidade é a leitura diária em sala de aula, porém, ela só será de grande valia se os alunos não a perceberem como obrigação, pois essa palavra afasta ainda mais os alunos dos livros.

Tão importante quanto à caracterização dos leitores de livros é a dos leitores que não utilizam o livro em suas práticas de leitura. No discurso do aluno Rafael (turma 2), percebe-se que ele tem interesse na prática da leitura. Contudo, ele apresenta que seu foco não está na leitura de livros, mas em outros meios, os quais podemos supor que sejam jornais e revistas, já que o aluno direciona seu interesse para as notícias.

Por sua vez, para a aluna Marta (turma 4), a leitura não está atrelada simplesmente a livros, revista e jornais. Em seu discurso é possível notarmos que a prática da leitura também se realiza por meio da visualização de legendas de séries de televisão.

Em seguida, perguntamos aos alunos quais materiais de leitura (livros, revistas, jornais, gibi etc.) eles mais apreciavam. As respostas indicam que existe uma preferência pelo livro como tipo de leitura de que os alunos mais gostam, uma vez que essa resposta apareceu em 68 citações nos questionários, contra 34 das revistas, 31 dos gibis, 27 dos jornais e mais 12 outras opções que incluem: internet (4 citações); mangá (3 citações); artigos científicos (2 citações); fanfics (2 citações) e contos (1 citação). Alguns alunos responderam mais de uma opção e que todas foram contabilizadas.

Nossos dados contrastam um pouco com aqueles apresentados na 4ª Edição da pesquisa **Retratos da Leitura no Brasil**. De acordo com a pesquisa, a utilização da internet como meio de acesso a outros materiais de leitura é uma prática cada vez mais usual entre a população leitora. No Brasil, 74% dos leitores afirmaram utilizar a internet para ler notícias ou se informar (27%), realizar atividades acadêmicas (24,9%), ler livros (15,8%) e ler jornais (6,8%). Dessa forma, entendemos que ou nossos alunos não consideram a internet como um tipo de material de leitura, ou nossa pergunta não propiciou aos alunos tal indicação.

Na segunda parte do questionário, na qual procurávamos mapear as concepções dos alunos a respeito das radiações e da radioatividade, notamos que, na resposta da terceira pergunta, noventa e sete por cento (97%) dos alunos já tinham ouvido falar (possuíam conhecimentos) sobre radiações e/ou radioatividade, seja por meio da escola, nas disciplinas de física e química, ou de documentários e jornais. Entretanto, setenta por cento (70%) afirmaram nunca terem lido nada a respeito de radiações e/ou radioatividade. A figura 5, extraída da 4ª Edição da pesquisa **Retratos da Leitura no Brasil**, ilustra os gêneros que cada faixa etária prefere ler no Brasil.

Figura 5 – Gêneros literários preferidos de acordo com a faixa etária

(%)	2015	TOTAL	FAIXA ETÁRIA								
			5 a 10	11 a 13	14 a 17	18 a 24	25 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 69	70 e mais
Base: Leitores		2798	307	204	321	403	254	474	332	439	66
Bíblia		42	32	31	24	39	39	49	56	52	63
Religiosos		22	14	6	12	17	25	27	30	35	34
Contos		22	37	40	31	23	21	12	14	13	11
Romance		22	9	20	33	33	25	20	18	19	16
Didáticos, ou seja, livros utilizados nas matérias do seu curso		16	23	27	21	23	18	15	10	6	0
Infantis		15	41	22	9	8	18	15	11	6	4
História em quadrinhos, gibis ou RPG		13	29	21	15	11	12	10	9	6	3
Poesia		12	14	27	19	14	10	8	7	8	7
História, Economia, Política, Filosofia ou Ciências Sociais		11	6	8	11	14	11	11	12	11	6
Ciências		10	22	21	15	8	9	6	8	5	3
Culinária, Artesanato, "Como Fazer"		10	6	3	3	9	12	12	13	17	3
Técnicos ou universitários, para formação profissional		10	0	0	3	19	17	16	10	7	0
Saúde e dietas		8	3	3	5	8	10	11	10	13	5
Biografias		8	5	6	12	12	10	7	8	7	3
Autoajuda		8	1	1	3	6	12	12	13	10	3
Artes		7	16	11	8	8	6	3	5	5	0
Juvenis		7	7	20	14	9	3	4	5	2	2
Educação ou pedagogia		6	5	5	4	9	5	9	7	2	0
Viagens e esportes		5	3	6	5	7	4	5	6	4	1
Línguas (como inglês, espanhol, etc.)		5	6	9	6	7	7	5	2	3	4
Enciclopédias e dicionários		4	4	3	4	6	2	4	5	1	1
Direito		3	1	1	2	6	5	4	2	3	1
Esoterismo ou ocultismo		2	0	0	0	1	1	1	4	4	0
Não sabe/Não respondeu		5	10	4	9	5	4	5	4	4	4
MÉDIA DE GÊNEROS POR ENTREVISTADO		2,8	3,1	3,0	2,8	3,1	2,9	2,8	2,8	2,5	1,8

Fonte: FAILLA, 2016, p. 217.

Percebe-se, a partir desses dados, que a faixa etária envolvida em nosso estudo (entre 14 e 17 anos) possui preferência por livros de romances, seguido por contos, a Bíblia, livros didáticos e poesias.

Na quarta questão, perguntamos aos alunos: “Você já leu livros relacionados à ciência? Em caso afirmativo, cite pelo menos um”. Essa questão tinha como intuito quantificar o interesse dos alunos pela opção de leitura para esse tipo específico de gênero literário. Observamos que setenta e um por cento (71%) dos alunos responderam nunca terem lido livros relacionados a assuntos sobre ciências. Tal resultado vem de encontro com os dados apresentados na figura 5, a qual expõe que o interesse por livros de ciências aparece somente como a sexta opção, empatado com histórias em quadrinhos. Tamanho desinteresse pode estar relacionado fato de

as disciplinas de ciências serem consideradas “difíceis” ou pouco atrativas para os alunos nessa faixa etária.

Cabe ressaltar que a utilização da leitura nesse trabalho remete à leitura na perspectiva da AD, a qual é tratada por Cazarin (2006) como sendo:

Ler constitui-se, assim, em uma prática social que mobiliza o interdiscurso, conduzindo o leitor, enquanto sujeito histórico, a inscrever-se em uma disputa de interpretações. Este desestabiliza sentidos já dados, daí o efeito de inconsistência de todo e qualquer texto, que se caracteriza como uma heterogeneidade provisoriamente estruturada. [...] Na prática da leitura, o sujeito-leitor vai ocupar uma posição-sujeito em relação àquela ocupada pelo sujeito-autor, identificando-se ou não com ele. A leitura constitui-se, então, como momento crítico de uma relação entre autor / texto / leitor; e a interpretação é possível porque há o *outro* nas sociedades e na história (CAZARIN, 2006, p. 301).

Dessa maneira, abordamos leitura como produção de sentidos referente a textos (tanto orais quanto escritos) e imagens. Nessa perspectiva, a leitura seria o momento em que ocorre a difusão das informações entre autor e leitor. O texto teria como função ser o portador de significações que então seriam resgatadas pelo leitor no ato da leitura.

4.2. DISCURSOS SOBRE RADIAÇÃO E RADIOATIVIDADE

Na primeira aula, os alunos tiveram uma aula expositiva a respeito de conceitos iniciais de radiação e radioatividade. Foram apresentadas aos alunos as definições de radiação, na perspectiva das ondas eletromagnéticas; diferença entre radiações ionizantes e não-ionizantes; de que maneira se pode caracterizar a radioatividade e sua diferença em relação à radiação; além de apresentar o símbolo universal do trifólio radioativo e a maneira como ele foi criado. Ao final da aula, eles foram solicitados a responderem um questionário.

Quando questionados se era possível sentir a radiação, sessenta e sete por cento (67%) afirmaram não ser possível sentir a radiação, enquanto que trinta e três por cento (33%) responderam que a radiação é perceptível. Tamanha discrepância pode ter sido causada por um trecho da fala do pesquisador enquanto descrevia as diferenças entre as radiações ionizantes e as não-ionizantes.

Pesquisador: *“Então, radiações ionizantes são todas aquelas [radiações] que penetram pelo nosso corpo e a gente nem sente. Por exemplo, o raio X. O raio X a gente não consegue sentir ele passando pelo nosso corpo quando a gente está fazendo o exame, né?”*

Cabe ressaltar que a definição apresentada pelo pesquisador, ao analisar posteriormente seu discurso, apresenta algumas falhas do ponto de vista conceitual, uma vez que seria mais apropriado caracterizar as radiações ionizantes como “o tipo de radiação capaz de arrancar um elétron de um átomo ou molécula, ao qual o mesmo se mantém ligado devido a força elétrica”. Entendemos que tal erro possa se justificar devido ao momento da aula, onde o professor busca muitas vezes realizar uma transposição didática de um dado conceito a fim de torná-lo mais simples para o aluno. Dessa forma, parte da informação acaba se perdendo, ocasionando, em alguns casos, erros como o apresentado.

Apresentamos, a seguir, algumas respostas a essa questão, ressaltando que, em todos os casos, optamos por manter a grafia original das respostas.

“Não, como por exemplo o raio – X, você não consegue sentir, a radiação pode também ser vista, como por exemplo a luz.” (Aluna Luiza, turma 1)

“Depende da intensidade que é emitida, por exemplo: não sentimos durante um raio – X, mas ouvimos rádios FM e AM.” (Aluna Graziela, turma 1)

“Não, pois quando ela penetra no nosso corpo, nós nem percebemos” (Aluna Mônica, turma 1)

Essas três respostas foram classificadas como repetições formais (cópias parafraseadas de trechos) da fala do professor. Pelo discurso apresentado pelas alunas, é possível verificar que essas repetições empíricas foram bastante sucintas quando comparadas com o discurso do professor. É importante frisar que, durante as aulas, os alunos solicitavam a repetição de um determinado conceito a fim de registrá-lo em seus cadernos.

Na segunda questão (“Qual a diferença entre radiação e radioatividade? Comente”), solicitamos aos alunos que respondessem se havia diferença entre o conceito de radiação e o de radioatividade. Noventa e seis por cento (96%) dos alunos afirmaram que são conceitos distintos, embora estejam diretamente ligados. Apenas quatro por cento (4%) dos alunos consideraram a mesma coisa ou não souberam diferenciar os conceitos. Tal dado pode ser corroborado pela fala do pesquisador, apresenta abaixo, na qual é definido o conceito de radioatividade:

Pesquisador: *“Então, radioatividade, diferenciando de radiação ela é basicamente, a emissão espontânea de radiação. Radiação lembra? Ela se comporta...ela pode ser tanto uma onda ou um feixe de partículas dentro do espectro eletromagnético. A luz é um exemplo de radiação.”*

A seguir são expostas as respostas selecionadas, mantendo-se a grafia original.

“Sim. A radiação é a emissão de ondas, tanto eletromagnéticas como de partículas. Já a radioatividade é a capacidade que um elemento consegue emitir a radiação.”
(Aluna Rafaela, turma 1)

“Radiação é uma onda eletromagnética. Radioatividade é a emissão espontânea e sem controle.” (Aluno Carlos, turma 1)

“Sim, a radiação são ondas eletromagnéticas e a radioatividade é a emissão de radiação.” (Aluno Thiago, turma 4)

Nos discursos formulados pelos alunos houve forte predominância de respostas que podem ser classificadas como repetições formais, ou seja, são reproduções parafraseadas em relação à fala do professor.

Aqui, quando perguntamos diretamente sobre os conceitos de radiação e radioatividade, esperava-se que os alunos respondessem utilizando-se da repetição empírica ou formal, uma vez que, ao retornarmos ao questionário prévio e analisarmos os dados, verificamos que grande parte dos alunos possui um conhecimento muito superficial sobre o tema (como foi visto, 97% já ouviram falar sobre radiações e radioatividade, porém, 70% nunca leram nada a respeito). Por isso, acreditamos que os alunos consideram a fala do professor um tipo de saber confiável.

Apesar de as respostas se constituírem de uma repetição formal, nota-se que os alunos selecionaram um trecho adequado (radiação como sendo emissão de ondas eletromagnéticas e radioatividade sendo um fenômeno espontâneo) para responder e que esse processo pode, dependendo da dificuldade do assunto, ser considerado como positivo para atividades que ocorram em ambiente escolar.

A terceira questão do questionário foi elaborada com o objetivo de identificar se o aluno saberia reconhecer a presença da radioatividade em seu cotidiano. Do total, apenas três por cento (3%) não souberam ou não identificaram nenhuma presença de

radioatividade em seu dia a dia. Todavia, foi possível constatar algumas concepções iniciais por parte dos alunos, como nas falas reproduzidas a seguir.

“Sim, sol, som, TV, raio X.” (Aluno Michel, turma 4)

“Sim, a luz solar, raios ultra violetas, etc.” (Aluna Mônica, turma 1)

“Sim. Como por exemplo, a luz, luz é uma onda eletromagnética de radiação.” (Aluna Gisele, turma 1)

“Sim, microondas.” (Aluno Nicolas, turma 1)

Observamos nos discursos que os alunos apresentam dificuldade em distinguir o conceito de radiação e radioatividade, visto que a luz solar na forma dos raios ultravioletas compreende um tipo de radiação, tal qual os aparelhos eletrônicos citados (aparelho de som, TV, forno micro-ondas).

Outra concepção que percebemos diz respeito aos raios X. Evidenciamos que os alunos não especificam se o raio X refere-se à radiação eletromagnética ou ao equipamento. Contudo, em ambos os casos, trata-se de um fenômeno relacionado exclusivamente à radiação.

A radioatividade, como mencionado, está vinculada à emissão espontânea de radiação pelo núcleo de um átomo e suas aplicações em nosso dia a dia passam pelo seu uso na medicina, como, por exemplo, no diagnóstico da tireoide ou em uma cintilografia. Em ambos os exames, o paciente recebe uma pequena dose de material radioativo. Outros exemplos que poderiam ser citados são a radioterapia (tratamento de câncer), esterilização de alimentos e materiais farmacêuticos.

Com a quarta questão, procuramos conhecer as justificativas apresentadas pelos alunos para sobre a necessidade de proteção contra os raios solares. Esperávamos que os alunos relacionassem o tempo de exposição aos raios solares com os danos que podem ser causados à saúde, tais como heliose (popularmente conhecida como insolação) e até mesmo o câncer de pele. Todos responderam algo dentro do esperado. Abaixo são expostos alguns exemplos dos discursos produzidos pelos alunos na quarta questão.

“Porque os raios solares emitem radiação ultra-violeta e estas ondas possuem uma alta frequência.” (Aluna Rafaela, turma 1)

“Pois a camada de ozônio não impede mais os raios U.V como antigamente. Logo temos que nos proteger por outros meios.” (Aluna Bruna, turma 1)

No discurso da aluna Rafaela notamos que ela se apropriou da repetição formal, pois reproduziu conceitos abordados pelo professor que distinguia a radiação ionizante como uma radiação de alta energia e que as radiações ultravioletas se encontravam dentro do conjunto das quais se constituem as radiações ionizantes.

Por sua vez, ao analisarmos o discurso da aluna Bruna, percebemos que ela apresenta uma correlação lógica entre a exposição à radiação solar com um problema ambiental mundial. Consideramos que a aluna mobilizou sua memória discursiva, por meio de seu contexto sócio-histórico, apresentando uma repetição histórica. Tal afirmação se faz uma vez que, em seu discurso, a aluna julga que a camada de ozônio não possui mais a mesma eficácia de proteção contra os raios ultravioletas, o que talvez tenha sido apresentado em aulas de ciências no ensino fundamental, ou seja, o discurso exposto pela aluna advém de um discurso produzido anteriormente e que, sendo reestruturado, auxiliou-a na construção da sua resposta, a partir de uma interpretação que ela julgou ser correta.

4.3. OS DISCURSOS DE ALICE, BRUNA, RAFAELA E MIGUEL

A partir de agora, iremos focar nossa atenção para as produções de quatro alunos, realizadas ao longo do conjunto de aulas, uma vez que em todas as aulas ocorreu a aplicação de questionários. Cabe destacar que esses alunos estiveram presentes em todas as aulas e demonstraram um grau de seriedade durante toda a UE, além de apresentarem produções textuais suficientemente satisfatórias para que pudesse ser realizada uma análise. Julgamos razoável o número de quatro alunos para acompanharmos, tendo em vista a quantidade de questões trabalhadas nessa UE.

Perante isso, analisaremos as produções das alunas Alice, Bruna e Rafaela, e do aluno Miguel, todos da turma 1. A opção por esses alunos justifica-se pela participação e dedicação dos mesmos em todas as aulas além de apresentarem respostas que foram julgadas possíveis de serem analisadas (apresentavam coesão,

coerência e eram bem argumentativas). Da mesma forma, a opção exclusiva pela turma 1 se deve ao fato de que o pesquisador ministra as aulas de Física de modo que foi possível conciliar os conteúdos trabalhados em paralelo com a UE. Ressaltamos que todos os nomes utilizados são fictícios.

4.3.1. DISCURSOS SOBRE MEIA-VIDA E EMISSÕES RADIOATIVAS α , β e γ

Na segunda aula, antes da realização da leitura do texto, foi apresentado aos alunos o conceito de radiação induzida. O pesquisador iniciou a aula com a seguinte fala:

“Vimos que a radiação é um tipo de onda eletromagnética que se propaga no espaço e a radiação, ela pode ser induzida, ou seja, você pode tornar algo radioativo por meio da radiação.”

A explicação do pesquisador nesse momento se volta para um exemplo sobre o funcionamento da radiação induzida. Nesse exemplo, o pesquisador aproxima, de maneira hipotética, um caderno de um elemento químico radioativo (Urânio). O pesquisador esboça, então, uma maneira de um objeto não-radioativo vir a se tornar radioativo. Esse exemplo, no entanto, carece de uma explicação mais detalhada sobre o bombardeamento do núcleo atômico pelas partículas alfa, beta e gama e, posteriormente a transmutação desse elemento, ou seja, a capacidade de o elemento químico vir a tornar-se outro.

Com essas explicações e com a realização da leitura, esperávamos que os alunos iriam relacionar os conceitos abordados e formular perguntas sobre a maneira como esses conceitos se relacionam. Após a apresentação do conceito de radiação induzida, os alunos realizaram a leitura integral dos textos e elaboraram as respostas das perguntas presentes no questionário.

A primeira questão (“De acordo com seus conhecimentos, você acredita que existe alguma maneira de reduzir o tempo de radioatividade de um elemento?”) diz respeito ao fato de um objeto não-radioativo adquirir a capacidade de vir a tornar-se radioativo. A seguir, apresentamos e comentamos as respostas dadas pelos alunos selecionados.

“Sim, por meio da radiação induzida, ou seja, a aproximação de um elemento radioativo a um elemento não-radioativo, tornando-o radioativo.” (Alice)

“Sim, isso acontece através do contato com um elemento radioativo, com a ocorrência da radiação induzida.” (Bruna)

“Sim, um elemento pode vir a se tornar radioativo se for induzido (por meio da radiação induzida) por outro elemento radioativo.” (Miguel)

“Sim, por meio da radiação induzida. Quando um elemento é exposto a outro elemento radioativo, esse se tornará radioativo também.” (Rafaela)

Assim, identificamos aspectos da repetição formal na interpretação desses alunos, ou seja, neste caso, a atribuição de sentidos se resumiu a uma técnica de produzir frases em um exercício gramatical que não historiciza, já que pareceu repetir, com suas próprias palavras, como um material pode vir a se tornar radioativo, uma vez que essa característica não é natural.

Com a segunda questão (“Na sua opinião, todo tipo de radiação é prejudicial ao nosso organismo? Justifique”), objetivávamos resgatar implicitamente o conceito de radiação trabalhado na primeira aula, já que foi formulada da seguinte maneira: “Em sua opinião, todo tipo de radiação é prejudicial ao nosso organismo? Justifique.” As respostas dos alunos são apresentadas a seguir.

“Eu acho que o raio alfa é menos prejudicial e a (radiação) gama é muito prejudicial.” (Alice)

“Sim, pois são rejeitadas pelo organismo e pode causar mutações.” (Bruna)

“Não, muitos tipos de radiação estão presentes todos os dias, como a radiação solar e outras que não são tão intensas.” (Miguel)

“Não, pois alguns tipos de radiação, como a solar são benéficas para o nosso organismo.” (Rafaela)

É interessante notar como as condições de produção imediatas atuaram nos discursos de cada aluno. Na resposta de Alice, por exemplo, observamos que ela se apropriou das informações contidas no texto, sem fazer nenhum tipo de referência aos tipos de radiações estudadas na aula anterior (radiações ionizantes e não-ionizantes). Dessa maneira, as condições de produção imediatas das atividades (leitura de um texto de divulgação científica, questões abertas etc.) parecem ter desencadeado outra possibilidade para responder à questão.

Por sua vez, o discurso de Bruna pode ser caracterizado como uma repetição histórica, posto que nos textos não há referência direta a efeitos das radiações sobre o corpo humano, como quando a aluna se utiliza da palavra mutações, algo que ainda não havia sido discutido.

Entretanto, Miguel e Rafaela retomaram da aula anterior o conceito de radiações ionizantes e não-ionizantes para elaborar suas respostas. Assim, podemos considerar que houve um resgate da memória discursiva, uma vez que esta é concebida numa esfera coletiva e social (neste caso, a sala de aula), responsável por produzir as condições necessárias de um funcionamento discursivo e, conseqüentemente, empregada na interpretação de textos.

Na terceira questão, os alunos deveriam informar se conheciam alguma aplicação para o conceito de meia-vida. Esperávamos que eles citassem, por exemplo, o iodo¹³¹, utilizado em exames médicos e que é apresentado como um exemplo de decaimento de meia-vida no texto; ou ainda o carbono¹⁴, isótopo utilizado na datação de fósseis, múmias, pergaminhos etc. Entretanto, os alunos relacionaram sua aplicação ao conceito trabalhado em sala de aula, na disciplina de Química, com exceção da aluna Rafaela:

“Sim, o processo de meia-vida é usado para elementos radioativos instáveis se tornarem estáveis, ocorrendo a transmutação deles.” (Rafaela)

É possível notar que a aluna ultrapassou os limites dos demais colegas, mesmo que por meio da repetição formal, já que ela parafraseou o seguinte trecho do texto trabalhado:

“Esse termo (meia-vida) significa o tempo que a metade dos átomos de uma amostra de certo elemento radioativo demorará para ser transmutada em um outro mais estável.”

Neste funcionamento, a voz dos estudantes é frequentemente a voz da repetição formal (ORLANDI, 1998), por meio da qual o aluno subentende que se deve dizer/fazer o que o professor ou o material didático lhe propõe e da forma como este ou aquele diz e faz. Percebemos também que se produz, no e pelo discurso, uma representação do espaço (institucional) do dizer, a escola, a sala de aula, e, simultaneamente, da ciência. Dessa maneira, implicitamente se desqualifica toda forma de dizer (e interpretar) que não seja a científica.

Por fim, a quarta questão apresenta um “desafio” aos alunos. Propúnhamos que os alunos possuísem três biscoitos radioativos: um deles emitindo radiação alfa, o outro, radiação beta e o terceiro, radiação gama. Com esses três biscoitos em mãos, os alunos tinham três opções, um deles o aluno deveria comer, o outro colocar no bolso, e o último segurar nas mãos. Perguntamos o que eles deveriam fazer para se proteger ao máximo, ou seja, qual eles comeriam, qual segurariam e qual colocariam no bolso. A seguir, apresentamos as respostas dadas pelos alunos.

“Eu comeria o alfa, seguraria o beta e colocaria o gama no bolso, pois o alfa é o menos perigoso de todos.” (Alice)

“Comeria a partícula alfa, pois é menos prejudicial ao organismo, na mão ficaria com o beta que tem impacto intermediário e no bolso ficaria com o gama, pois é cheio de partículas neutras, mas tem forte poder de penetração.” (Bruna)

“Eu comeria o biscoito alfa, porque é o menos radioativo, colocaria o biscoito beta no bolso e seguraria o biscoito gama, pois é o mais radioativo e ficaria mais distante.” (Miguel)

“Eu seguraria o biscoito beta, comeria o alfa e guardaria o gama no bolso, pois o biscoito alfa tem menor poder de penetração, o beta tem um poder de penetração um pouco mais forte e o gama tem um grande poder de penetração.” (Rafaela)

Observamos que houve um padrão nas respostas dos alunos, posto que, para todos eles, o mais importante era manter o biscoito gama o mais afastado possível do corpo, pois seu poder de penetração é mais intenso. Ao mesmo tempo, nenhum dos alunos cogitou a possibilidade de que o biscoito contendo radiação gama pudesse ser ingerido, já que nenhuma das outras duas possibilidades evitaria sua interação com o organismo. Nesse momento, percebemos que os alunos começaram a se apropriar mais dos conceitos trabalhados, pois demonstraram nessa questão que são capazes de atribuir sentidos em relação aos diferentes tipos de radiação e seus poderes de penetração, o que pressupõe uma memória discursiva.

4.3.2. AULA 03, 04 e 05 – RÖNTGEN, BECQUEREL E O CASAL CURIE: SUAS CONTRIBUIÇÕES NOS CAMPOS DA RADIAÇÃO E DA RADIOATIVIDADE

Aqui, sistematizamos as respostas elaboradas nos questionários das aulas três, quatro e cinco, uma vez que nessas aulas abordamos a parte histórica das descobertas que iniciaram os estudos no campo das radiações ionizantes e da radioatividade. Na aula três, trabalhamos com os alunos os raios X, sua descoberta e suas aplicações. Nessa aula elaboramos duas perguntas, sendo a primeira relacionada a um possível risco associado ao uso de raios X para exames clínicos. A seguir são apresentadas as respostas dos alunos.

“Quando se ultrapassa o limite estipulado por ano sim, mas se não ultrapassar não faz mal a saúde.” (Alice; grifo nosso)

“Depende da frequência de exposição, se for contínua eles oferecem riscos, como por exemplo, o câncer. Porque está exposto a radiação.” (Bruna; grifo nosso)

“Sim, os raios X são um tipo de radiação, quando é utilizado para fazer exames médicos, entram em contato com o corpo. Realizar um procedimento destes uma vez não causa mal nenhum a saúde, porém pode causar se este for feito mais de uma vez em pouco tempo.” (Miguel; grifo nosso)

“Sim, pois quando uma pessoa fica a uma exposição contínua, ela pode acumular esses raios no organismo, provocando doenças como o câncer.” (Rafaela; grifo nosso)

Nas quatro respostas é possível verificar o uso da repetição formal, uma vez que os alunos procuram parafrasear um trecho da explicação do pesquisador, apresentada a seguir:

“Existem alguns riscos da exposição aos raios X. Se você fica muito tempo exposto ao raio X, isso pode causar algumas complicações, como câncer, leucemia. Existe um limite [...] a média anual aceita pela OMS é de 2,4 mSv por ano.” (Pesquisador)

O pesquisador apresentou alguns valores que estão presentes no quadro 05 (raio X do tórax, tomografia e mamografia) como forma de quantificar a absorção de radiação que o corpo humano está sujeito a receber. Quanto aos discursos, é possível notar que os alunos entendem que a exposição contínua e constante aos raios X é prejudicial à saúde, como, por exemplo, com o surgimento de doenças mutagênicas como o câncer, o que está presente no discurso da aluna Rafaela. Contudo, também foi possível verificar em seus discursos que eles compreenderam que, tomadas as devidas precauções, quanto ao excesso de exposição aos raios X, esses exames não acarretam dano algum ao organismo.

Na outra questão, referente à aula três, foi perguntado aos alunos sobre sua opinião sobre se tratarem os cientistas como “mentes brilhantes” e se, mesmo após a leitura do texto, eles concordavam com essa afirmação. Tal questão é discutida em um trecho da entrevista de Röntgen ao jornalista Henry Dam, trabalhado em sala de aula e apresentado a seguir:

“E o que o senhor pensou?”

“Eu não pensei; eu investiguei. Assumi que o efeito devia vir do tubo, pois seu caráter indicava que ele não poderia vir de nenhum outro lugar. Eu o testei. Em poucos minutos não havia dúvida sobre isso. Estavam saindo raios do tubo, que tinham um efeito luminescente sobre o papel. Testei – o com sucesso a distâncias cada vez maiores, até mesmo a dois metros. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, algo não registrado.”

“É eletricidade?”

“Não em qualquer forma conhecida.”

“O que é?”

“Eu não sei.”

E o descobridor dos raios X afirmou assim tão calmamente sua ignorância sobre sua essência quanto todos os outros que tinham escrito até então sobre o fenômeno: “Tendo descoberto a existência de um novo tipo raios, é claro que comecei a investigar o que eles fariam”.

Nesse trecho é possível notar a forma com que Röntgen lidou com a sua descoberta. Embora seja apresentado que as descobertas no campo das ciências aparentam ser **magníficas, espontâneas** e cheias de um certo **misticismo**, o trecho acima ilustra uma realidade bem diferente: a de um cientista que trabalhou duro e que em um certo momento não soube superar de forma “mágica” sua falta de conhecimento. Para resolver esse impasse, Röntgen optou por investigar o comportamento daquele novo tipo de raio e concluiu que aquilo era um tipo totalmente novo de radiação.

A seguir são apresentadas as respostas dos alunos:

“Sim, pois eles estudam muito para saber sobre novos elementos.” (Alice)

“Sim, porque encontram novidades e tem a responsabilidade de publicar somente após experimentar e comprovar.” (Bruna)

“Não, pois todos eles erram muito fazendo testes para chegar em algumas respostas e muitas vezes estas não são encontradas.” (Miguel)

“Não, pois o próprio cientista Röntgen disse que ainda não conhecia direito sobre os raios X.” (Rafaela)

Nos discursos de Alice e Bruna, a figura do cientista brilhante permanece enraizada, pois são vistos como aqueles responsáveis pelas novas descobertas e pela responsabilidade de testar e comprovar a eficácia de novos produtos. De acordo com Kosminsky e Giordan (2002), uma influência determinante para moldar as visões de ciências dos alunos é a dos veículos de comunicação, em especial a mídia televisiva não especializada, devido à sua difusão por todos os estratos sociais. Dessa forma, podemos considerar que o discurso das alunas apresenta traços de repetição histórica, pois convém salientar que apenas nesse tipo de repetição o sujeito é que produz um evento interpretativo.

Já o discurso de Miguel apresenta o oposto, ou seja, a figura de um ser humano passível de erros que pode passar vários anos trabalhando em um determinado problema sem encontrar uma solução. Mesmo indo contra o ponto de vista de Alice e Bruna, o discurso de Miguel também pode ser considerado um tipo de repetição

histórica, pois o aluno foi capaz de ir além do texto, apresentando sua própria interpretação.

Nessa questão Rafaela foi a única que se apropriou da repetição formal, citando o caso de Röntgen, que não conhecia bem as propriedades dos raios X. Dessa forma, a aluna apropriou-se dos discursos presentes no texto e o parafraseou para elaborar a sua resposta.

Na aula quatro, em que trabalhamos com a questão da “descoberta” da radioatividade por Becquerel e de seus trabalhos com compostos de urânio, perguntamos aos alunos como eles representariam a radioatividade a partir de um desenho. A seguir são apresentados os desenhos:

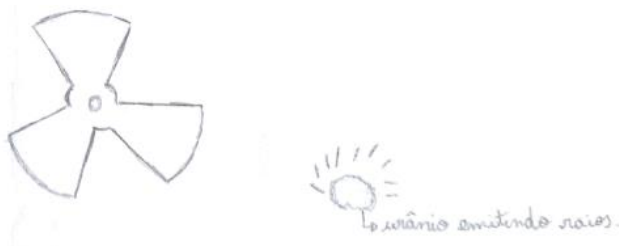


Figura 6: Representação de Alice sobre seu entendimento de radioatividade.

Fonte: Reprodução da própria aluna.

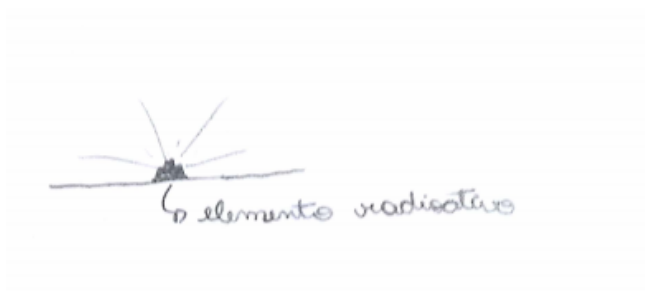


Figura 7: Representação de Bruna sobre seu entendimento de radioatividade.

Fonte: Reprodução da própria aluna.

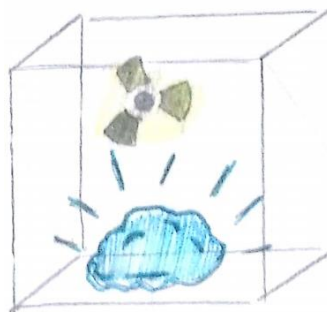


Figura 8: Representação de Miguel sobre seu entendimento de radioatividade.

Fonte: Reprodução do próprio aluno.

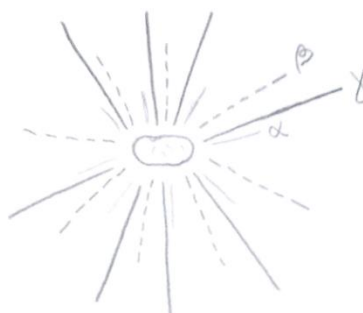


Figura 9: Representação de Rafaela sobre seu entendimento de radioatividade.

Fonte: Reprodução da própria aluna.

Segundo Orlandi (2006), a interpretação está presente em toda e qualquer manifestação da linguagem. Para a autora, não há sentido sem interpretação, ou seja, interpretar é atribuir sentidos. Assim, ao analisarmos os discursos proferidos estamos procurando compreender os sentidos atribuídos pelos sujeitos.

Nos desenhos de Alice e Miguel, estão representados o símbolo do trifólio e um elemento radioativo. Talvez, para esses alunos a indicação do símbolo no desenho seja algo pertinente em suas memórias, já que ele lhes foi apresentado na primeira aula. Já no que diz respeito ao elemento radioativo, os alunos materializaram os trabalhos de Becquerel, os quais eram realizados utilizando-se compostos a base de urânio.

Por sua vez, Bruna e Rafaela também expõem suas interpretações sobre a radioatividade retratando um elemento radioativo, muito provavelmente devido às

condições de produção imediatas (informações sobre compostos de urânio citados no texto). Entretanto, Rafaela vai um pouco além, resgatando o conceito sobre as radiações alfa, beta e gama, trabalhados na aula dois. Podemos notar que esses elementos estão em sua memória como aspectos relevantes no ensino da física das radiações.

A aula cinco abordou as contribuições de Marie e Pierre Curie no campo da radioatividade. Essa aula contou com quatro perguntas, sendo duas delas selecionadas para análise: “De acordo com o texto, Marie Curie teve que processar algo em torno de 20 toneladas de pechblenda para conseguir um grama de rádio. Na sua visão, por que não aprendemos sobre as dificuldades pelas quais os cientistas passam?”

Os quatro alunos apontaram em seus discursos que o fato de se aprender sobre as dificuldades nas quais os cientistas passam até realizarem suas descobertas não é necessário, ou seja, não acarreta nenhum tipo de contribuição à descoberta final, como apresentado no discurso de Alice:

“Pois só devemos aprender o necessário, ou seja, o resultado das pesquisas.” (Alice)

Talvez para eles, a ideia de “humanizar” o cientista não seja necessária uma vez que, na concepção dos alunos, a descoberta acaba por sobrepor o cientista. Tal discurso pode ser interpretado como algo que já faz parte da vida acadêmica (já-lá) dos alunos, já que as dificuldades nas quais os cientistas passam não são trabalhadas no âmbito escolar.

Em seguida a essa etapa, perguntamos aos alunos qual a opinião deles sobre Marie realizar o “trabalho duro” dentro do laboratório e se isso tinha a ver com a questão de ela ser mulher.

“Não, eu acho que tem a ver com ela ter corrido atrás do trabalho e fazê-lo, mas se ela fosse homem não faria diferença.” (Alice)

“Sim, pois o trabalho de todo cientista é complicado e a figura do marido pode representar um apoio ao trabalho dela.” (Bruna)

“Não, diversos fatores colaboraram para o fato de ela começar e terminar estes estudos sozinha, como a morte de seu marido, por exemplo.” (Miguel)

“Não, pois Pierre também poderia ter feito o ‘trabalho duro’ e até mesmo ter ajudado Marie, mas ela escolheu fazer sozinha.” (Rafaela)

Na visão dos alunos é possível notar que o fato de Marie ser do gênero feminino não influenciou na questão de ela realizar o trabalho mais pesado, o qual consistiu em processar quase dez toneladas de refugo de pechblenda para extrair um grama de rádio. Tanto Alice quanto Rafaela indicam em seus discursos a sua interpretação de Marie como uma pessoa independente, talvez devido à leitura do trecho apresentado a seguir:

Quando Pierre foi visitar Marie em sua mansarda, ficou imediatamente impressionado por seu estilo de vida simples e independente, que dispensava formalidades como uma chaperone. Ali estava realmente uma mulher de ciência progressista.

A escrita de Miguel aponta para outra interpretação. De acordo com seu discurso, Marie realizou o trabalho pesado devido à morte de seu marido, Pierre. Entretanto, como apresenta o texto, tal fato ocorreu após Marie processar a grande quantidade de pechblenda para obter o rádio.

De acordo com Orlandi, “interpretar não é atribuir sentido, mas expor-se, à opacidade do texto, ou seja, é explicitar como um objeto simbólico produz sentidos” (2010, p. 24). Miguel foi capaz de explicitar o objeto simbólico na sua interpretação, ou seja, que Marie realizou o processamento de pechblenda independentemente de ser mulher. Contudo, ao interpretar o texto, o aluno acabou por citar um fato histórico (morte de Pierre) que sucede à condição anterior (extração de rádio), o que fez com que seu discurso perdesse sentido.

Por sua vez, Bruna indica uma interpretação distinta dos demais. Em sua resposta a aluna afirma que o fato de Marie ser mulher foi uma condição para que a mesma realizasse o trabalho pesado de processar toneladas de pechblenda. Todavia, a aluna justifica que o trabalho de todo cientista é complicado, ou seja, a aluna desqualificou sua afirmação inicial uma vez que ela generaliza o trabalho de todo cientista como “complicado”. Além disso, a aluna segue seu discurso dizendo que o marido poderia representar um apoio ao trabalho dela, sendo que o texto apresenta Marie como uma mulher independente e que trabalhava em conjunto com seu marido.

Talvez a falta de detalhes sobre o papel que Pierre desempenhava dentro do laboratório tenha contribuído para tal interpretação de Bruna.

4.3.3. AULA 06 e 07 – USINAS NUCLEARES E O LIXO ATÔMICO

Da mesma forma como feito nas aulas anteriores, julgamos ser mais interessante sistematizarmos as respostas elaboradas nos questionários das aulas seis e sete, visto que nessas aulas abordamos duas temáticas que estão diretamente relacionadas: usinas nucleares e a produção/descarte dos lixos atômicos produzidos pelas usinas nucleares.

Na aula de número seis, discutimos inicialmente sobre o que é uma usina nuclear e como se dá o seu funcionamento, além de apresentarmos algumas vantagens e desvantagens referentes ao uso dessa matriz energética. Assim, selecionamos apenas uma questão para analisarmos. A pergunta feita aos alunos foi: Diante da suposição da instalação de uma usina nuclear próxima a sua comunidade, como você acredita que as pessoas reagiriam? Por quê? A seguir, são apresentadas as respostas dos alunos.

“Elas ficariam preocupadas, pois a usina nuclear, pois caso a usina nuclear, caso aconteça uma explosão, acarretará vários problemas”. (Alice; grifo nosso)

“Se sentiriam em estado de perigo pela presença de material radioativo e por não terem muito conhecimento”. (Bruna; grifo nosso)

“Acho que teriam medo, devido as consequências da radiação conhecidas”. (Miguel; grifo nosso)

“Elas teriam um pouco de medo, pois se ocorrer um acidente na usina, o local ficará contaminado pela radiação”. (Rafaela; grifo nosso)

No primeiro momento, essas respostas parecem indicar o fato de que os alunos consideram as usinas nucleares como lugares perigosos, que causam medo e onde se deve estar sempre em estado de alerta, pois a chance de um acidente é iminente. Tal interpretação pode ser atribuída as notícias veiculadas na mídia sobre catástrofes

e acidentes, pois os veículos de informação acabam priorizando aspectos do contexto social e político como, por exemplo, as crises diplomáticas entre nações, o medo de que a tecnologia de enriquecimento de Urânio caia em mãos de grupos terroristas e o acidente em 2011 envolvendo a usina de Fukushima no Japão.

Tais notícias reforçam acontecimentos históricos que nos lembram do terrível poder atômico, suas consequências devastadoras à saúde humana e das condições imprevisíveis sob as quais ele pode ser desencadeado em vez de esclarecer o funcionamento de aspectos específicos relacionados aos fenômenos científicos (nesse caso fissão e fusão nuclear) e de sua importância na geração de energia e aplicabilidade da área médica.

Por sua vez, a aula sete abordou a questão do lixo nuclear. Dessa aula, selecionamos duas questões para serem analisadas. A primeira delas foi a seguinte: “Na sua opinião o lixo nuclear é um problema para a sociedade moderna? Em caso afirmativo, quais as medidas você acredita serem cabíveis para solucioná-lo?”

“Se descartado de maneira correta, não é um problema”. (Alice)

“Sim, pois é perigoso em caso de acidentes com elementos radioativos e ocupam muito espaço para armazená-lo. Fazer o reprocessamento desse lixo e armazená-lo em locais desabitados.” (Bruna)

“Sim, optar por tipos de energias mais limpas como eólica, solar ou hidroelétricas por exemplo e parar de investir em energia nuclear”. (Miguel)

“Não, pois hoje existem meios tecnológicos para o descarte desses lixos radioativos.” (Rafaela)

Na resposta de Alice percebemos que a aluna priorizou uma resposta muito vaga, não deixando claro qual seria o procedimento adequado para descartar o lixo radioativo proveniente das usinas nucleares. Intriga-nos também o fato de que a aluna considerou que, mesmo tomando as medidas “cabíveis”, esse material armazenado corre o risco de ser exposto ao meio ambiente, por exemplo, por meio de eventos cataclísmicos. Por fim, retomamos a resposta apresentada na aula anterior por Alice (“Diante da suposição da instalação de uma usina nuclear próxima a sua comunidade,

como você acredita que as pessoas reagiriam? Por quê?”). A seguir são apresentadas as respostas dos alunos.

“Elas ficariam preocupadas, pois a usina nuclear, pois caso a usina nuclear, caso aconteça uma explosão, acarretará vários problemas.” (Alice; grifo nosso)

Cabe destacar que, de alguma maneira, a memória discursiva de Alice, no que diz respeito à preocupação da instalação de uma usina nuclear, foi modificada. A análise de discurso compreende a linguagem como uma mediação fundamental entre o homem e a realidade social na qual ele está inserido, e o discurso como efeito de sentidos entre locutores. Assim, segundo Orlandi,

As palavras não são só nossas. Elas significam pela história e pela língua. O que é dito em outro lugar também significa nas “nossas” palavras. O sujeito diz, pensa que sabe o que diz, mas não tem acesso ou controle sobre o modo pelo qual os sentidos se constituem nele. Por isso é inútil, do ponto de vista discursivo, perguntar para o sujeito o que ele quis dizer quando disse “x” (ilusão da entrevista in loco). O que ele sabe não é suficiente para compreendermos que efeitos de sentido estão ali presentes (1999, p. 32).

Por sua vez, as alunas Rafaela e Bruna, embora discordem em suas opiniões a respeito do lixo nuclear ser um problema para a sociedade, concordam que é necessário e possível, graças ao desenvolvimento de tecnologias, que o descarte do refugo radioativo seja realizado de maneira que o impacto ao meio ambiente seja o menor possível. Entretanto, o texto aborda que o reprocessamento do lixo radioativo é reaproveitado tanto para o uso energético quanto para a produção de bombas atômicas. Além disso, o texto ainda destaca que o reprocessamento é responsável por formar novos elementos químicos, como o Américo e o Neptúnio, os quais possuem meia-vida muito longa, o que torna ainda mais lento o tempo de decaimento do lixo reprocessado. É possível que as alunas tenham interpretado a palavra “reprocessamento” com o significado de “reciclagem”. De acordo com Orlandi (2007b, p. 70), “compreender como o texto funciona, como ele produz sentidos, é compreendê-lo enquanto objeto linguístico-histórico, é explicitar como ele realiza a discursividade que o constitui”. Assim, uma mesma palavra muda de sentido dependendo da formação discursiva em que está inscrita.

A outra pergunta que selecionamos para realizarmos nossa análise foi a seguinte: “Em sua opinião quais as consequências para a saúde das pessoas que habitam regiões próximas onde se encontram os resíduos radioativos?”

Para esta pergunta obtivemos as seguintes respostas:

“Câncer, tumores, problema na regeneração das células, deficiência na estrutura das células.” (Alice; grifo nosso)

“Ter o organismo debilitado devido a proximidade com esses elementos que podem desenvolver até câncer.” (Bruna; grifo nosso)

“Se o lixo nuclear for descartado de maneira correta não irá apresentar nenhum perigo a saúde. Porém se for descartado inadequadamente pode comprometer a saúde da população, e levar até a morte.” (Miguel; grifo nosso)

“As consequências para a saúde das pessoas podem ser doenças, como câncer, morte, mutações provocando deformações.” (Rafaela; grifo nosso)

Nota-se que a ideia de que a radiação nuclear pode causar prejuízos ao nosso organismo após uma intensa exposição está fortemente presente nos discursos dos alunos, uma vez que são descritas características como mutações, deformações, surgimento de tumores e morte. Contudo, apenas Miguel destacou que, se descartado de maneira correta, o resíduo radioativo não acarreta em nenhum tipo de dano à saúde. Isso pode significar que a memória discursiva de Miguel está atrelada ao conteúdo trabalhado na aula dois, em que foram discutidos os tipos de radiação (alfa, beta e gama) e o poder de penetração de cada uma. Embora o lixo radioativo possa se manifestar na forma de radiação gama, é possível que o aluno tenha se atentado ao fato de que essa radiação pode ser interceptada, mediante a utilização de uma estrutura de concreto e chumbo. Vale destacar que a maneira correta de realizar o armazenamento do resíduo radioativo é dividindo-o em resíduos de baixo e alto nível, classificação baseada na quantidade de radioatividade emitida.

Os resíduos de baixo nível podem ser armazenados em locais de produção, compartimentos especiais ou enterrados. Por sua vez, os de alto nível requerem um tratamento especial, pois precisam ser lacrados em vidros e, posteriormente, em tambores para só então serem enterrados no subsolo.

Aqui os alunos apresentaram respostas muito similares quanto às consequências que a exposição à radioatividade pode causar ao organismo. As

respostas dos alunos evidenciam a presença de elementos que compõem uma repetição histórica, uma vez que, nas condições de produção imediatas (texto da aula sete), não é abordado diretamente nenhum tipo de risco à saúde das pessoas devido a exposição, inalação ou ingestão de materiais radioativos, e sim características associadas ao lixo radioativo, tais como número de reatores nucleares no mundo e o destino do lixo produzido pelas usinas de Angra dos Reis.

4.3.4. AULA 08 – ACIDENTES RADIOATIVOS DE CHERNOBYL E GOIÂNIA

Na aula oito trabalhamos com os alunos os acidentes radioativos na Usina nuclear de Chernobyl e o acidente radioativo de Goiânia.

No ano de 1986, os operadores da usina nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, realizaram um experimento com o reator 4. O objetivo desse experimento consistia em observar o comportamento do reator nuclear quando utilizado com baixos níveis de energia. Todavia, para que o teste fosse possível, os responsáveis pela unidade teriam que quebrar o cumprimento de uma série de regras de segurança indispensáveis. Entre outros erros, os funcionários envolvidos no episódio interromperam a circulação do sistema hidráulico que controlava as temperaturas do reator. Dessa forma, mesmo operando com uma capacidade inferior, o reator entrou em um processo de superaquecimento incapaz de ser revertido. Em poucos instantes, a formação de uma imensa bola de fogo anunciava a explosão do reator rico em Urânio-235, causando a maior contaminação radioativa da História. Até hoje, milhares de pessoas sofrem os efeitos da radiação emitida pela explosão de Chernobyl.

No mês de setembro de 1987, provavelmente no dia 13, teve início o que foi considerado o maior acidente radioativo do Brasil e o maior acidente radioativo do mundo fora de usinas nucleares: o acidente com Césio-137 em Goiânia. Nesse ano, o IGR (Instituto Goiano de Radiologia) estava fechado e no local havia um aparelho abandonado, anteriormente utilizado para fazer radioterapia. Em seu interior havia o isótopo Césio-137 dentro de uma cápsula, que até então era blindada. Catadores de papel, em busca de sucatas que pudessem ser vendidas a um ferro velho, invadiram o antigo IGR e levaram para casa a cápsula que continha o Césio. O problema surgiu quando eles violaram a cápsula e tiveram acesso ao elemento radioativo que lá estava. No dia 29 de setembro de 1987 foi dado o alerta de contaminação radioativa.

A partir de então, teve início uma força-tarefa para remover os objetos contaminados e tratar as vítimas. Os dados apontam que 249 pessoas foram examinadas e, destas, 22 foram isoladas em razão da alta taxa de contaminação. Passaram a receber monitoramento 129 pessoas, e 14 estavam com um quadro clínico muito grave.

Dessa aula selecionamos duas perguntas cujas respostas poderiam ser analisadas: “Que conclusões podemos tirar desses acidentes? Ambos poderiam ter sido evitados?”; “Ainda hoje, os envolvidos nos dois acidentes sofrem preconceito e discriminação por parte da população. Qual a sua posição a respeito desse comportamento? Justifique.”

As respostas dos alunos sobre a primeira questão são apresentadas a seguir:

“Se tivessem estudado a radioatividade e, no caso do césio-137 descartado da maneira correta, poderia ser evitado”. (Alice; grifo nosso)

“É importante ter conhecimento e mediante a uma nova substância ou objeto extraordinário devemos procurar ajuda da ciência e não estabelecer contato com o objeto”. (Bruna)

“A radiação e a sua condução incorreta pode gerar vários danos. Com a correta eliminação e com conhecimento adequado poderiam ser evitados”. (Miguel; grifo nosso)

“Com o ocorrido nesses acidentes, podemos ver que não se tinha conhecimento sobre a radiação por parte do governo e também das pessoas, fazendo com que ele se prolongasse até outros locais. Não, pois até mesmo o governo não sabia dos riscos que poderiam ser causados pela radiação”. (Rafaela)

Tanto Alice quanto Miguel propõem em seus discursos que o acidente de Goiânia poderia ter sido evitado se houvesse um tratamento correto com o Césio-137. Contudo, a grande questão é que tanto as pessoas que trabalhavam como coletores de matérias recicláveis quanto os funcionários do ferro-velho não possuíam conhecimento sobre o perigo do material que estavam manipulando. De acordo com Orlandi, essa interpretação dos alunos é dada a partir da sua memória discursiva ou interdiscurso, na qual está implícita sua ideologia. De acordo com a autora:

Essa é a posição da análise de discurso que, teorizando a interpretação, propõe que se considere o sentido como “relação a”, compreendendo que a língua se inscreve na história para significar: quando se fala, mobiliza-se, pois, um saber que no entanto não se aprende, que vem por filiação e que nos dá a impressão de ter sempre estado lá (1998, p. 10).

Já Bruna sugere que é necessária certa precaução com o desconhecido. Uma possibilidade dessa interpretação deriva do fato de que o mundo atual é especialmente influenciado pela ciência e tecnologia, atuando em todas as esferas do comportamento do ser humano, desde tarefas rotineiras como mexer em um *smartphone*, até funções mais sofisticadas como procedimentos médicos realizados na escala do nanômetro. Isso ocasionou uma “divinização” da ciência e consequentemente acarretou em uma supervalorização da ciência: as pessoas acreditam no mito da salvação da humanidade, considerando que todos os problemas humanos podem ser resolvidos cientificamente. Dessa interpretação surge a importância e a necessidade da alfabetização científica, a fim de disponibilizar as representações que permitam ao cidadão agir, tomar decisão e compreender o que está em jogo no discurso dos especialistas (FOUREZ, 1995).

Rafaela apresenta em sua resposta uma visão oposta à dos colegas, mostrando que a falta de informação científica tanto por parte dos coletores de material reciclável como das autoridades (por exemplo, o médico que atendeu as pessoas contaminadas pelo Césio, policiais e os próprios funcionários da vigilância sanitária) acabaram retardando em vários dias o prognóstico correto de contaminação radioativa. Embora tenha sido um marco negativo na história recente do Brasil, o acidente de Goiânia serviu de certa forma para mostrar que a falta de conhecimento sobre ciências é latente e exige soluções. Nesse contexto, torna-se crucial o modo pelo qual a sociedade percebe a atividade científica (a importância e os riscos que a radioatividade implica) e a maneira como lida com seus resultados, ou seja, quais lições tira desse acidente. O discurso de Rafaela reforça a importância da divulgação de ciências nos dias atuais, contribuindo para que catástrofes como a de Goiânia, não voltem a ocorrer, visto que o conhecimento em ciências tem como finalidade contribuir para diminuir a distância entre a ciência e as relações cotidianas.

Já sobre a segunda pergunta, relacionada ao preconceito que as vítimas dos dois acidentes sofrem até os dias atuais os alunos expressaram suas posições como apresentado a seguir:

“As pessoas ainda acham que isso é uma coisa absurda, ou até mesmo uma doença” (Alice; grifo nosso)

“O preconceito é derivado do medo de serem contaminadas com a radiação que essas pessoas foram expostas” (Bruna; grifo nosso)

“Demonstra o medo que está implícito nas pessoas de se contaminarem, mesmo não havendo riscos” (Miguel; grifo nosso)

“Errada, pois de maneira científica, a emissão de radiação nas pessoas afetadas é menor devido ao tempo de meia-vida” (Rafaela)

De maneira geral, os alunos concordaram em suas respostas que o preconceito sofrido pelas vítimas é absurdo, muito devido à desinformação das pessoas. Nas respostas de Alice, Bruna e Miguel, percebemos que a desinformação está diretamente atrelada ao medo pela contaminação que vem de encontro ao discurso produzido pela grande mídia, com o intuito de atingir as grandes massas e assim conseguir altos índices de audiência, utilizando-se de argumentos sensacionalistas, enfatizando fatos negativos como crimes, acidentes, catástrofes etc., disseminando assim um sentimento de insegurança social aliado ao desenvolvimento da “cultura do medo”. De acordo com Oliveira (2016), cujo trabalho teve um enfoque no acidente radiológico de Goiânia,

Os momentos de incertezas em que se desenvolveram as ações de controle do acidente radiológico com o Césio-137 em Goiânia, sobretudo em seus instantes iniciais, tiveram como principal consequência o desenvolvimento de um universo de sentimentos onde prevaleceu a insegurança e o medo, intensificando os sentimentos de desamparo das pessoas, sobretudo das vítimas do acidente. Nesse contexto, a mídia desempenhou um papel primordial, com sua vocação alarmista, disseminando ideias obscuras sobre o acidente radiológico além de alavancar a construção da “cultura do medo” (OLIVEIRA, 2016, p. 105).

Dessa forma, o sentimento de insegurança intensificou um clima generalizado de pavor na sociedade, contribuindo para a disseminação da cultura do medo, levando as pessoas a desenvolver uma série de mecanismos de defesa, como isolamento e discriminação das vítimas de ambos os acidentes.

Rafaela e Miguel destacam em suas respostas que, embora ainda exista preconceito, ele se mostra inadequado do ponto de vista social, já que muitas dessas vítimas experimentam diversas formas de preconceitos, muitas vezes pelo fato de serem oriundos de locais atingidos por tragédias como a que aconteceu em Goiânia

e em Chernobyl e que acarretam em danos permanentes (dificuldade em matricular os filhos na escola, tomar um táxi ou mesmo conseguir um emprego), causando efeitos tão ou mais nocivos do que aqueles provocados pela própria radiação.

Rafaela destaca ainda que, do ponto de vista científico, o preconceito também se mostra indevido na visão da aluna quando cita a questão da meia-vida. Entretanto, o tempo de meia-vida do Césio é de trinta anos, completados no ano de 2017, ou seja, a radiação emitida só teria perdido metade de sua atividade radioativa no final do ano passado. O discurso da aluna se mostra incompleto, pois nele a aluna não cita a questão dos banhos de descontaminação que as pessoas passaram, além da captação de todo material que pudesse ter tido contato com o Césio-137. Desse modo, entendemos que no discurso de Rafaela se faz presente uma característica da Análise de Discurso conhecida como esquecimento. Orlandi (2007b) justifica que o esquecimento é importante na AD por possuir um papel fundamental na cristalização dos sentidos, responsáveis por criar o efeito de um sujeito pleno com o controle do que diz e o efeito de língua como sistema transparente, produtor de sentidos evidentes. Dessa forma, a autora aponta dois tipos de esquecimentos. O primeiro esquecimento é o esquecimento ideológico: o sujeito pensa ser a fonte do sentido quando, na verdade, ele apenas retoma sentidos já-ditos, a partir do trabalho que o inconsciente e a ideologia realizam sobre ele. O segundo esquecimento é o de que aquilo que o sujeito diz significa exatamente aquilo que ele quis dizer, e não poderia ser dito de outro modo. Talvez para a aluna, a informação contida na resposta seria suficientemente satisfatória para atribuir significado ao seu discurso.

4.3.5. AULA 09 – EXPERIMENTO TRINITY

A penúltima aula abordou a questão do experimento Trinity e o lançamento das bombas atômicas em Hiroshima e Nagazaki. O texto utilizado foi um recorte do livro **Trinity**.

Considerado o primeiro teste nuclear, o experimento Trinity foi conduzido pelos Estados Unidos da América em 16 de julho de 1945 e chefiado pelo físico Robert Oppenheimer no deserto do Novo México, em Los Alamos, uma cidade construída estrategicamente para a experiência, uma vez que deveria garantir o segredo dos objetivos do projeto, mesmo sendo esse experimento um teste de explosão de uma arma nuclear de potência e efeitos desconhecidos.

A primeira bomba atômica da história explodiu com uma energia equivalente a 19 kilotons de TNT, deixando no deserto uma cratera radioativa de 3 metros de espessura por 330 metros de diâmetro. O som da onda de choque levou 40 segundos para chegar até os observadores e a explosão foi sentida a mais de 160 km de distância, tendo o cogumelo atômico chegado a 12 km de altura. Cerca de 260 pessoas estavam presentes no teste, nenhuma a menos de 9 km. Em face do sucesso da Experiência Trinity, duas bombas foram preparadas para uso contra o Japão. A primeira, batizada de Little Boy, foi lançada em Hiroshima no dia 6 de agosto. A segunda, conhecida como Fat Man, foi lançada em Nagasaki em 9 de agosto. Os bombardeamentos de Hiroshima e Nagasaki mataram de imediato, pelo menos, 120.000 pessoas e forçaram a rendição incondicional japonesa nos dias consequentes.

Selecionamos as seguintes perguntas para analisarmos as repostas dos alunos: “Quais as implicações que o lançamento das bombas em Hiroshima e Nagasaki trouxeram para a humanidade? Justifique”; “Qual a sua opinião sobre o formato desse texto? Achou melhor ou pior do que os outros já trabalhados? Justifique sua resposta”.

A primeira questão mostrou-se bem abrangente, pois esperávamos respostas voltadas para os efeitos destrutivos das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, como podemos atentar na resposta de Bruna:

“Provocou a morte de pessoas inocentes, devastou o território e os habitantes que voltaram para aquela região estão expostos a radiação”. (Bruna)

É notório no discurso de Bruna o uso da repetição formal, já que a aluna pareceu repetir, com suas próprias palavras, as consequências resultantes da explosão das duas bombas atômicas. Embora os textos contidos nessa aula não explicitem a destruição causada pelas bombas atômicas, o conjunto de imagens que compõem a história em quadrinhos retrata o discurso da aluna por meio de imagens como o sobrevoo dos bombardeiros sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki, além das explosões das bombas atômicas que dizimaram milhares de vidas japonesas. De acordo com Silva (2002):

A leitura de imagens se dá pela articulação com outras imagens, implícitas, silenciadas, ausentes, presentes, passadas. Na leitura da imagem intervêm imagens que não estão visíveis, porém sugeridas, implícitas a partir de um jogo, previamente oferecidas, e outras que podem ter sido apagadas, silenciadas (SILVA, 2002, p. 81).

Assim, entendemos que a aluna apropriou-se das imagens contidas no texto para reproduzir, com suas próprias palavras, o discurso trazido simbolicamente por meio das imagens.

Contudo, dois outros alunos foram além dessa interpretação, manifestando as seguintes respostas:

“O desenvolvimento tecnológico; fim da Segunda Guerra Mundial”. (Alice)

“Trouxeram problemas físicos, como a destruição em massa e a radioatividade e problemas geopolíticos, pois foi um ato desnecessário para demonstrar ‘poder’ por parte dos EUA”. (Miguel)

Nesses dois casos podemos notar indícios da repetição histórica, pois, apesar de o texto tratar das bombas atômicas e sobre reação em cadeia, em nenhum trecho do livro há considerações sobre as questões geopolíticas que se sucederam ao final da Segunda Guerra Mundial (bipolarização mundial entre os blocos político-econômicos liderados por Estados Unidos e União Soviética) citadas no discurso de Miguel, bem como o avanço tecnológico citado por Alice (desenvolvimento de áreas como a ciência da computação, ciência aeroespacial, bélica etc.), o que caracteriza uma interpretação ligada a interdiscursos externos ao texto, característica da repetição histórica.

Já na segunda questão, três dos quatro alunos responderam que consideraram o texto mais atrativo e dinâmico em relação aos textos trabalhados anteriormente. A seguir apresentamos uma das respostas:

“Muito bom e legal, pois ele é mais dinâmico e mostra como foi os acontecimentos através do desenho. Foi melhor que os outros textos trabalhados, por ele ser mais dinâmico”. (Rafaela)

Em nossa análise consideramos que a maior parte dos alunos tenha considerado interessante a abordagem textual da História em Quadrinhos uma vez

que os quadrinhos têm sua própria sedução por apresentar uma sequência lógica de imagens. Seu sucesso está atrelado ao uso de imagens em situações contextuais que facilitam o entendimento da leitura, além de explorar a linguagem não verbal, complementada pelo uso da linguagem verbal, trazendo certo dinamismo à leitura.

A exceção foi a aluna Alice, conforme podemos verificar sua resposta a seguir:

“Eu achei essa maneira mais difícil de compreender, pois é mais difícil de entender o que eu quero saber”. (Alice)

É evidente que a leitura não despertou grande interesse e, aparentemente, não possibilitou a produção de sentidos da maneira como era esperado. Ressaltamos ainda que essa é a análise que realizamos ao olharmos para a resposta de Alice. Apesar de se tratar de uma história em quadrinhos, o texto apresentado era mais longo que os demais, trabalhados anteriormente. O fato de ter em mãos um texto mais longo pode ter contribuído para o desinteresse e conseguinte dificuldade de leitura.

Em nossa análise percebemos que a utilização específica da história em quadrinhos **Trinity** – a história em quadrinhos da primeira bomba atômica (FETTER-VORM, 2013) pode ter sido um pouco densa de conteúdo e sem muitos atrativos lúdicos, o que a tornou muito “pesada” para a leitura em apenas uma aula e que consequentemente acabou se tornando de difícil compreensão para Alice. Não desconsideramos, entretanto, a validade de se trabalhar com outras histórias em quadrinhos, e até mesmo com essa, mas com uma proposta alternativa a essa apresentada.

4.3.6. AULA 10 – APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Na décima e última aula, relembramos os aspectos positivos do uso das radiações ionizantes (tomografias, exames de raio X, energia etc.), vistos anteriormente. Em seguida, solicitamos aos alunos que respondessem, sem que tivessem realizado a leitura, uma questão sobre as aplicações das radiações (“O Fato de um produto ser cientificamente comprovado interfere na sua decisão de compra?”).

Quando confrontados com essa questão, todos os alunos afirmaram que o fato de um produto ser cientificamente testado faz toda diferença, como podemos observar nas respostas de Alice e Bruna:

“Sim, pois é uma certificação de que o produto é de boa qualidade”. (Alice)

“Sim, pois traz confiança ao consumidor e a segurança de que foi testado em organismo semelhante com obtenção de sucesso”. (Bruna)

As respostas das alunas reforçam o trabalho de Adinolfi (2007), segundo o qual a autora apresenta o cientista enquanto produtor de um determinado discurso científico, como um sujeito que fala de acordo com mecanismos e técnicas de determinação e produção da verdade científica, do dizível e não-dizível na formação discursiva da ciência, e é por esse processo de assujeitamento, que é autorizado a falar a partir da posição de cientista. Por consequência, os meios de comunicação apropriam-se desse discurso para garantir ao consumidor a tão aclamada frase “testado e comprovado cientificamente”.

Entretanto, de acordo com Orlandi (2012, p. 134) a língua do cientista tem sua materialidade específica, não transparente, pois tanto o cientista quanto o discurso científico são, como os demais, heterogêneos em sua essência. Essa noção de um discurso único, dotado de objetividade e neutralidade, não passa de ilusão. Na visão de Adinolfi (2007),

Ao se constituir, o discurso científico apaga as marcas dos outros discursos possíveis e da historicidade na formação dos sentidos, onde vem a ilusão de universalidade. Ao fazê-lo, silencia a história, e aparece como um discurso já pronto, acabado, a-histórico, mediando a relação do cientista com o mundo através da linguagem, determinando os sentidos de sua fala, filiando-o a uma formação discursiva própria, caracterizando-o, interpelando-o enquanto sujeito assujeitado às regras dessa formação discursiva (ADINOLFI, 2007, p. 8-9).

Em seguida, entregamos um texto no qual se apresentavam aplicações das Radiações Ionizantes, com o intuito de serem potencializados aspectos positivos acerca das radiações ionizantes. A partir dessa leitura, os alunos foram informados que deveriam responder à seguinte questão: “Alguns alimentos estão sendo irradiados para sua maior conservação. Você acredita que este processo pode prejudicar a sua saúde?”

A seguir são apresentadas as respostas dos alunos:

“Não, pois pode-se eliminar pragas sem o uso de inseticidas muito prejudiciais a saúde humana, pode-se também conservar os alimentos por mais tempo, irradiando

radiação gama, pode também matar bactérias evitando doenças provocadas quando ingeridas pelos humanos”. (Alice)

“Não, ela pode auxiliar no combate as pragas e bactérias prejudiciais ao corpo humano”. (Bruna)

“Não, somente produtos químicos fazem mal ao nosso organismo. Porém, de acordo com várias pesquisas a radiação não faz mal”. (Miguel)

“Depende, pois deve-se ter muitas pesquisas e muitos testes antes de ser usado. Se ele foi testado e comprovado que não é prejudicial a saúde, então ele é benéfico”. (Rafaela)

As respostas dos alunos Alice, Bruna e Miguel configuram uma repetição formal, uma vez que os alunos repetem o que leram de maneira um pouco diferenciada, alterando algumas frases, ou seja, dizendo a mesma coisa com palavras diferentes. É possível verificar esse tipo de repetição ao analisarmos o seguinte trecho do texto trabalhado em sala:

“A mesma técnica possibilita estudar o comportamento de insetos, como formigas e abelhas. No caso das formigas, permite, por exemplo, localizar o formigueiro e até as flores de sua preferência. O combate de pragas pode ser auxiliado com o uso destes isótopos radioativos. Por meio deles, podem-se conhecer quais são os predadores da praga, e então tais predadores serão utilizados para eliminá-la, evitando-se, assim, o uso de inseticidas muito prejudiciais a saúde humana”. (Grifo nosso)

Também foram utilizados trechos do texto para se referirem ao benefício das radiações contra bactérias na seguinte frase:

“A irradiação de alimentos também mata bactérias, como a *Escherichia coli*, salmonela, estafilococos e *Listeria*, evitando o risco de doenças que essas bactérias podem provocar quando ingeridas pelos humanos”. (Grifo nosso)

Por fim, na resposta de Miguel, encontramos o seguinte trecho utilizado para justificar sua resposta sobre não haver riscos à saúde humana quando da ingestão de alimentos irradiados:

“Comer alimentos irradiados não causa nenhum tipo de prejuízo à nossa saúde. O órgão regulador de alimentos dos Estados Unidos (FDA) realizou mais de 400 estudos antes de aprovar a irradiação dos alimentos e concluiu que não oferecem risco algum aos humanos”. (Grifo nosso)

Por outro lado, Rafaela apresenta em sua resposta traços de uma repetição histórica, por meio da qual ocorre a interpretação, pois o repetível aqui faz parte da memória constitutiva do sujeito, ela consegue formular e constituir seu enunciado no interior das repetições. Dessa forma, a aluna historiciza seu dizer, trabalhando além das condições imediatas de produção com um discurso pré-concebido a partir de outras leituras, apresentando, dessa maneira, sua opinião no que diz respeito ao tratamento de alimentos com radiação.

Após redigirem a resposta da pergunta anterior, foi solicitada a atividade final, que consistia em uma análise sobre quais conceitos, após essas dez aulas, eles tinham adquirido maior conhecimento e qual(is) eles não conheciam. As respostas redigidas pelos alunos são apresentadas a seguir:

“Eu não sabia muita coisa sobre radiação e agora eu aprendi pelo menos um pouco. Aprendi que a exposição excessiva a radiação pode causar câncer; aprendi que existem aparelhos para que consigamos “ver” radioatividade, pois não podemos ver com nossos olhos; aprendi que o césio-137 ainda continua perigoso aos seres humanos, pois ainda esta irradiando, uma vez que só perdeu metade de sua vida; aprendi sobre radiação α , β e γ ”. (Alice)

“Houve um aprofundamento sobre o conhecimento geral da matéria radioativa, quais os cuidados necessários para as usinas nucleares e também que há benefícios que nós não conhecíamos, na área da saúde, nutrição, entre outros. Todos os conteúdos foram transmitidos de maneira dinâmica e criativa, despertando o interesse do aprendizado”. (Bruna)

“Nas 10 aulas eu percebi como a radiação influencia na nossa vida atual e que esta tem os benefícios e malefícios dependendo da sua condução, podendo causar momentos trágicos com as bombas atômicas ou por outro lado benefícios como o auxílio na produção de energia e na medicina”. (Miguel)

“Eu aprendi muita coisa durante essas 10 aulas, sobre alguns temas da radiação que eu não conhecia, como por exemplo, o funcionamento de uma bomba atômica e o espectro eletromagnético. Foi muito bom, pois eu tive a oportunidade de aprender mais sobre os conhecimentos da radiação”. (Rafaela)

É importante destacar que cada aluno, a sua maneira destacou aspectos que considerou relevante na sua experiência de aprendizagem. Para Orlandi (2012, p. 17), a textualidade está intimamente relacionada com os diferentes tipos de memória de cada autor, neste caso, de cada aluno. Para Alice, os aspectos mais relevantes foram os tipos de radiação (alfa, beta e gama), o acidente de Goiânia com o cézio-137, que por consequência trouxe outros conceitos abordados na mesma aula sobre os tipos de radiações: o conceito de meia-vida e a exposição contínua a radiação ionizante, embora a aluna não tenha conseguido expressar-se de forma mais objetiva. A aluna destaca em sua resposta que é possível “ver” a radioatividade, provavelmente referindo-se ao contador Geiger, instrumento utilizado para aferir o nível de radioatividade de um objeto (que apareceu no vídeo da aula oito).

Para Bruna, os aspectos mais relevantes ficaram por conta da aula seis, na qual o tema “usinas nucleares” foi retomado em sua resposta, além das questões envolvendo os aspectos positivos na aula dez. Em nossa análise consideramos interessante que se fez presente a temática da última aula, pois mostra que a aluna se apropriou das condições imediatas de produção para elaboração da sua resposta.

Cabe aqui também destacar que ela recuperou em sua memória aspectos que considerou “dinâmicos” e “criativos” na didática do professor/pesquisador e que esses aspectos contribuíram para assegurar uma melhor prática de ensino-aprendizagem sobre a física das radiações.

Por sua vez, Miguel destaca as contribuições tanto positivas, como o emprego das radiações ionizantes na medicina (aspecto abordado na aula dez) ou o uso da radioatividade na geração de energia (abordado na aula seis), quanto negativas, como a produção das bombas atômicas. Em sua resposta, é possível enxergar que ele vê a ciência como algo imparcial e que dá ao homem a possibilidade nas escolhas em relação a seu uso. Miguel ainda destaca, com aparente surpresa, que o módulo auxiliou na percepção de como a radiação se faz presente na rotina das pessoas sem que muitas vezes percebamos que ela está ali, seja em exames médicos, na agricultura, na indústria, ou mesmo na luz solar.

Finalmente, para a aluna Rafaela o módulo auxiliou no aprendizado de conceitos que, de acordo com ela, não foram explorados ou mesmo mencionados durante o ciclo básico (como o espectro eletromagnético, apresentado na primeira aula). Além disso, a aluna destaca que considerou interessante saber de que forma uma bomba atômica funciona, em vez de apenas mostrar seu poder de destruição.

As respostas apresentadas pelos alunos mostram que a formulação de questões abertas assegura a manifestação de posições ideológicas, reflexões, análises, impressões sobre cada tema, enfim, respostas que não estão limitadas ao habitual discurso pedagógico autoritário. Em suma: respostas que não procuram dizer apenas o que acreditam ser o esperado pelo professor, que não se prendem à imagem do professor como avaliador que julga simplesmente cada resposta como certa ou errada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção, procuramos comentar os resultados mais relevantes desta pesquisa, tomando-os como elementos que permitam responder às questões propostas em nosso trabalho. Dessa forma, iniciamos redigindo comentários acerca da leitura em aulas de Física – especialmente a leitura de textos de divulgação científica (DC) e sobre a proposta em explicitar as relações entre os conteúdos da Física e a utilização da leitura como ferramenta para potencializar a relação ensino-aprendizagem dos alunos.

Antes de mais nada, gostaríamos de reforçar que os quatro alunos selecionados para a análise dos resultados (Alice, Bruna, Miguel e Rafaela) são todos alunos da escola privada. Tal escolha pareceu pertinente já que o pesquisador lecionou todas as aulas para essa turma (o que evitou, como nas outras turmas da escola pública, um segundo discurso), minimizando possíveis interpretações distintas, pelo fato de se tratar de um outro sujeito que iria produzir um discurso diferente. Vale também destacar que esses alunos possuíam desempenhos acadêmicos distintos na disciplina de Física e, por meio da pesquisa, foi possível verificar que, de uma maneira geral, todos tiveram uma evolução significativa dentro da temática das radiações.

Um primeiro aspecto que as análises realizadas parecem evidenciar é o de que a utilização de textos de DC e a formulação de questionários com questões abertas parecem possibilitar o surgimento de discussões não restritas aos assuntos relacionados exclusivamente à Física das Radiações Ionizantes, da mesma maneira que garantem a manifestação de posições ideológicas, reflexões, análises, enfim, respostas que não estão limitadas ao habitual discurso pedagógico autoritário, não se prendendo à imagem do professor enquanto atribuidor de notas. Nesse sentido, a observação de situações e de respostas desse tipo parece sugerir que as condições de produção imediatas das atividades sobre a Física das Radiações Ionizantes de alguma forma minimizaram os efeitos do mecanismo de antecipação.

Um segundo ponto a ser destacado é o fato de que, em geral, os alunos não mostraram grandes dificuldades na leitura do texto. De certa forma, a atividade mostrou-se inovadora e diferenciada para os alunos, tão acostumados a aulas expositivas com resolução de problemas, muito embora alguns alunos mostrassem total desinteresse e certa recusa por leitura e escrita. Acreditamos que, no caso desses alunos, a quantidade de leitura exigida, além da densidade conceitual contida

nos textos, pode ter influenciado nesse comportamento. Entretanto, acreditamos que os resultados obtidos a partir da análise dos quatro alunos destacados mais do que sugerem a viabilidade e a importância do uso de textos de DC em sala de aula, uma vez que esse tipo de atividade favorece a produção do hábito de ler e auxilia no aperfeiçoamento da capacidade de leitura e interpretação por parte dos alunos.

É claro, contudo, que existem dificuldades e obstáculos para trabalhar com leitura no Ensino de Ciências. Consideramos que nem sempre é possível essa abordagem devido a certa carência de materiais de DC desse gênero (não sendo esse o nosso caso) e à dificuldade inerente à abstração exigida por alguns temas. Além disso, consideramos essencial, nesse tipo de abordagem, a mediação do professor perante assuntos pouco tratados no ciclo básico. O professor deve atuar de maneira a cativar seus alunos pela cultura científica, favorecendo a produção do hábito de ler e auxiliando no aperfeiçoamento de suas capacidades de leitura. Assim, acreditamos que a leitura sobre ciência na escola possa ser pensada, principalmente, como uma estratégia de ensino alternativa às aulas de Física tradicionais, em que predomina o formalismo matemático, já que o papel da escola passa, além de ensinar conteúdos e habilidades necessárias à participação do indivíduo na sociedade, pela formação de um cidadão crítico e questionador, ou seja, para que o aluno possa apresentar essas características, faz-se necessário que ele possua certos atributos. Quando mencionamos na aula de número seis sobre qual a posição deles sobre a Usina Nuclear, estávamos proporcionando ferramentas (com a leitura do texto) para que eles pudessem construir seu próprio discurso, pautados em experiências de vida e/ou nas leituras fornecidas, algo que o formalismo matemático não seria capaz de fazer.

No que tange aos significados atribuídos pelos alunos, podemos destacar que, nas duas primeiras aulas, os alunos apropriaram-se exclusivamente da repetição formal para formular suas respostas. Tal observação se faz presente pois entendemos que, como se tratava de um assunto pouco conhecido dos alunos, eles podem ter subentendido que se deveria dizer/fazer aquilo que o professor propõe e da forma como este diz e faz. Apesar de tentarmos evidenciar, desde o primeiro dia de aplicação da unidade de ensino na escola, que os alunos não seriam avaliados com relação ao “certo” e “errado” das respostas, a falta de informações mais precisas sobre o assunto, atrelada ao fato de o pesquisador ser também o professor da turma, pode ter colaborado para que os alunos recorressem frequentemente aos textos em busca de respostas.

Observamos que a repetição formal começou a abrir espaço para uma interpretação mais pessoal quando propusemos o “desafio do biscoito radioativo”. Naquele momento cada aluno buscou apresentar uma resposta que considerasse ser a mais adequada, apresentando informações contidas no texto (dentro das condições de produção imediatas) ou buscando em suas memórias discursivas argumentos que justificassem a opção para cada tipo de biscoito. Segundo Teixeira et al. (2015), a atividade de caráter investigativo é uma estratégia didática que o professor pode e deve utilizar na sua prática no cotidiano escolar, uma vez que mediante a ela são estimuladas atitudes científicas como, por exemplo, identificação de problemas, elaboração de hipóteses, reflexão e validação de hipóteses e elaboração de modelos explicativos. Ainda de acordo com as autoras, essa estratégia engloba quaisquer atividades que possibilitem o desenvolvimento da autonomia e da capacidade dos alunos de tomar decisões, avaliar e resolver problemas, apossar-se de conceitos e teorias das Ciências da Natureza.

Nas aulas três, quatro e cinco, percebemos que a repetição formal continuou presente nos discursos dos alunos, entretanto, foi constatado que os alunos foram desenvolvendo a cada aula, respostas com características voltadas a repetição histórica, como, por exemplo, a questão da aula quatro que solicitava que os alunos representassem a radioatividade por meio de um desenho. Nessa atividade específica, foi possível verificar que os alunos se apropriaram de elementos contidos em aulas anteriores, sendo estes resgatados em sua memória discursiva. Entendemos assim que a leitura dos tópicos sobre os tipos de radiações acabou tornando-se mais presente na memória desses alunos, talvez pela própria questão apontada anteriormente sobre o “desafio do biscoito radioativo”.

Gostaríamos de destacar dois momentos em que foi possível notar o aparecimento da repetição histórica nos discursos dos alunos: o primeiro foi na segunda questão da aula cinco, a qual questionava os alunos do porquê de Marie Curie ficar responsável pelo trabalho “pesado”. Em nossas análises observamos que muito embora o texto trouxesse informações sobre os feitos de Marie e suas dificuldades no início de sua jornada como cientista, em nenhum momento as respostas dos alunos apontaram para o preconceito que a sociedade da época tinha com o gênero feminino e que isso, conseqüentemente, influenciava diretamente os papéis sociais do homem e da mulher.

O segundo momento é referente à segunda questão analisada na aula oito, na qual foi solicitado aos alunos que respondessem sobre qual a percepção deles diante da discriminação que as vítimas dos dois acidentes radioativos sofrem até os dias atuais. Foi possível verificar, após o texto e o vídeo discutidos, que todos concordaram que é absurda tal posição da sociedade perante essas pessoas e que, apesar da característica finita desses acontecimentos, seja em Goiânia, em Chernobyl ou mesmo em Fukushima, suas materialidades são constantemente recriadas ou atualizadas pelo processo narrativo da constituição simbólica do sentimento do medo radioativo, o qual vai se prolongando indefinidamente no tempo. A forte presença desse sentimento alterou toda a forma de se ver a energia nuclear, seja para fins pacíficos, como sua utilização na medicina, entre outras aplicações ou mesmo para geração de energia elétrica, contribuindo de maneira espantosa para que o termo **radioatividade** fosse associado, quase que exclusivamente, a catástrofes, doenças e morte, conforme ficou expresso nos discursos dos alunos referentes às aulas seis e sete.

Com relação ao número de aulas, reconhecemos que a nossa unidade de ensino foi um pouco extensa, cobrindo praticamente um bimestre devido à disponibilidade que nos foi dada. Alguns aspectos, como a parte histórica, poderiam ter sido condensados em duas aulas ao invés de três, bem como a aula sobre Usinas Nucleares poderia ter sido agrupada junto com a aula sete, que tratou de lixo atômico. Apesar disso, queremos valorizar que esse trabalho possibilitou uma aproximação dos alunos com o tema da Física das Radiações Ionizantes e permitiu a produção de sentidos por parte deles, ainda que alguns conceitos não tenham sido suficientemente aprofundados: as unidades de medida, informações sobre contador Geiger e um debate sobre instalações de Usinas Nucleares com os alunos provavelmente teriam sido produtivos.

Da mesma forma, consideramos que o número de questões trabalhadas em cada aula acabou sendo excessivo. Entendemos que era necessário um número de questões que contribuísse para que o trabalho fosse realizado de maneira satisfatória e que houvesse informações suficientes para que pudéssemos realizar as análises. No decorrer das primeiras aulas percebemos que a quantidade de informações coletadas nas turmas seria enorme e o tempo para realizar as análises não seria suficiente. Assim, optamos por manter a unidade de ensino em seu formato original e, ao mesmo tempo, selecionarmos apenas algumas questões de cada aula para realizar

este trabalho. Ficamos com a sensação de que, mesmo excluindo algumas questões do trabalho final, a qualidade do mesmo não foi prejudicada, dado o empenho, o cuidado e a dedicação dados ao tratamento de cada uma das questões mantidas.

Acreditamos que nossa unidade possa ser utilizada como um material de auxílio ao professor que tenha interesse no assunto da Física das Radiações Ionizantes, visto que abarca de maneira geral uma gama de conceitos que podem e devem ser trabalhados no Ensino Médio com os alunos, independentemente da série. Entretanto, consideramos, ao fim do trabalho, que outras alternativas sejam mais apropriadas para tratar essa temática, como a utilizada por Montenegro (2005), onde a pesquisadora lançou mão do uso de palavras-chave que os alunos destacavam a partir da leitura dos textos e que a pesquisadora colocava no quadro-negro. Acreditamos que, dessa maneira, a aula possa se tornar mais dinâmica e proveitosa, favorecendo o processo de ensino-aprendizagem.

Finalmente, salientamos que, em nossa visão, a unidade de ensino foi considerada satisfatória, uma vez que, na última atividade solicitada aos alunos, cada um deles apontou pelo menos um aspecto que considerou relevante na sua experiência de aprendizagem. Desse modo, entendemos que cada um desses alunos apropriou-se, à sua maneira, das ideias e dos conceitos apresentados sobre a Física das Radiações Ionizantes.

REFERÊNCIAS

ADINOLFI, V. T. S. Discurso científico, poder e verdade. **Revista Aulas: Dossiê Foucault**, Campinas, v. 1, n. 3, p. 1-10, 2007.

ALBUQUERQUE, I. C. T. C.; RAMOS, M. B. Heróis e vilões: as mídias de ficção científica no ensino de radiações. In: XENPEC, 2015, Águas de Lindoia. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia: ABRAPEC, 2015. p. 1-7.

ALMEIDA, M. J. P. M. de. **Texto escrito no ensino da física**: influência de proposições na resolução de problemas. Tese de Doutorado – Instituto de Psicologia, USP, São Paulo, 1987.

_____. Relatório do sub-projeto “A interação do aluno de magistério com a ciência veiculada em textos”. In: FRACALANZA, H. et al. **Projeto Material Didático – Relatório Final – 1ª fase**. Campinas: Unicamp, mimeo, 1988, p. 74-93.

_____. O texto escrito na Educação em Física: enfoque na divulgação científica. In: ALMEIDA, M. J. P. M. de; SILVA, H. C. (Org.). **Linguagens, leituras e ensino da ciência**. Campinas: Mercado de Letras, 1998, p. 53-68.

_____. **Discursos da Ciência e da Escola**: Ideologia e Leituras Possíveis. Campinas: Mercado de Letras, 2004.

_____. Mediation by texts and teacher's representation in physics education. In: BERNARDINI, C.; TARSITANI, C.; VINCENTINI, M (Ed.). **Thinking Physics for Teaching**. Washington: Springer Science+Business Media New York, 1995, p. 413-418.

ALMEIDA, M. J. P. M., RINCON, A. E. Divulgação científica e texto literário: uma perspectiva cultural em aulas de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 7-13, 1993.

ALMEIDA, M. J. P. M., QUEIROZ, E. C. L. Divulgação científica e conhecimento escolar: um ensaio com alunos adultos. **Cadernos CEDES: Ensino da Ciência, Leitura e Literatura**, Campinas, n. 41, p. 62-68, 1997.

ALMEIDA, M. J. P. M.; SOUZA, S. C.; OLIVEIRA, O. B. **Leitura e escrita em aulas de ciências: luz, calor e fotossíntese nas mediações escolares.** Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2008.

ALTHUSSER, L. **Aparelhos ideológicos de Estado.** Lisboa: Presença/Martins Fontes, 1980.

ANDRADE, R. de; ROMERO, T. R. L. Físicos da alegria: projeto de ensino sobre radiologia para crianças do Hospital Do Câncer. In: XVIII SNEF, 2009, Vitória (ES). **Anais do XVIII Simpósio Nacional do Ensino de Física.** Vitória: 2009. p. 1-9.

ARAÚJO, M. C.; DICKMAN, A.G. Energia nuclear e radioatividade: Como estes tópicos são abordados pelos professores no Ensino Médio. In: IX ENPEC, 2013, Águas de Lindoia. **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências.** Águas de Lindoia: ABRAPEC, 2013. p. 1-8.

BARRAGÁN, P.; MORTIMER, E. F.; LEAL, A. Avaliação preliminar sobre o conceito de radiação e algumas de suas tecnologias: idéias informais de estudantes do ensino médio. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007. v. 1. p. 1-12.

BARCELLOS, L. S.; COELHO, G. R. Elaboração de uma sequência didática investigativa para abordagem do tema interação radiação-corpo humano nas séries finais do ensino fundamental. In: XXII SNEF, 2017, São Carlos. **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física.** São Carlos: Sociedade Brasileira de Física, 2017.

BATISTA, C. A. S. **Física moderna e contemporânea no ensino médio:** subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula. Dissertação de mestrado em Educação em Ciências – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus (BA), 2015.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação** – uma introdução à teoria e aos métodos. Porto (Portugal): Porto Editora, 1994.

BORSATO, N. G.; FERNANDES, J. P. A construção de uma sequência sobre física nuclear baseada na perspectiva CTS e no uso do RPG. In: Novos Horizontes –XXII SNEF, 2017, São Carlos (SP). **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física.** São Carlos: Sociedade Brasileira de Física, 2017.

BRANDÃO, H. H. N. **Discurso e leitura**. Campinas: Editora Unicamp, 1986.

BRASIL. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: 6 abr. de 2017.

BRASIL. Secretaria da 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, 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/cienciasnatureza.pdf>>. Acesso em: 8 abr. de 2017.

BRASIL. Secretaria da Educação básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Linguagens, códigos e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_01_internet.pdf>. Acesso em: 4 abr. de 2017.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2016. Disponível em: <<http://movimentopelabase.org.br/wp-content/uploads/2016/05/bncc-book-web.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2017.

BRUGLIATO, E. T. **A produção de sentidos sobre a bomba atômica em diferentes tipos de discursos**. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2016.

CALHEIRO, L. B.; DEL PINO, J. C. O estudo das Representações Sociais de estudantes do ensino médio acerca do tema radiação. In: IX ENPEC, 2015, Águas de Lindoia. **Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia: ABRAPEC, 2015. p. 1-8.

CARDOSO, S. P.; VIANA, D. M.; CARDOSO, S. C. Física das radiações: uma atividade com enfoque CTS. In: XXII SNEF, 2017, São Carlos. **Anais do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos: Sociedade Brasileira de Física; USP, 2017. p. 1-8.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências por Investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: CENGAGE Learning, 2013.

CAVALCANTI, A. et al. **Metodologia do Ensino de Física I** – Módulo de ensino inovador: a radiação na Medicina. São Paulo: Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2016.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 1-11, 2013.

CORREIA, D.; DECIAN, E.; SAUERWEIN, I.P.S. Leitura e argumentação: potencialidades do uso de textos de divulgação científica em aulas de Física do Ensino Médio. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 23, n. 4, p. 1017-1034, 2017.

COSTA, I. G.; DORES, J. L. R.; LIRA DA SILVA, R. M. Percepção dos estudantes do Ensino Médio da rede pública de Salvador, Bahia sobre energia nuclear. In: VIII ENPEC, 2011, Campinas. **Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Campinas: ABRAPEC, 2011. p. 1-10.

COSTA, R. R.; SILVA, C. M. S. V.; SANTIAGO, M. M. F. Tópicos de radiação no Ensino Médio. In: XVIII SNEF, 2009, Vitória (ES). **Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Vitória (ES): Sociedade Brasileira de Física/UFES, 2009. p. 1-10.

DAMÁSIO, F.; TAVARES, A. **Perdendo o medo da radioatividade**: pelo menos o medo de entendê-la. São Paulo: Autores Associados, 2010.

DIAS, R. H. A. **A física nas revistas Ciência Hoje e Pesquisa FAPESP**: leitura de licenciandos. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2009.

_____. **Processos da ciência na formação do jornalista**: o funcionamento de uma unidade de ensino. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2015.

DIAS, R. S. **Radioatividade**: um módulo didático para o Ensino Médio. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2013.

DUTRA, P. M. B. F. **Percepção de estudantes do ensino médio sobre o tema “radiação” e tecnologias relacionadas**: ideias informais e categorias conceituais. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e

Materiais – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2010.

ERTHAL, J. P. C.; LINHARES, M. P. A física das radiações eletromagnéticas e o cotidiano dos alunos do Ensino Médio: Construção de uma proposta de ensino. In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006, Londrina. **Anais do XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Londrina: Sociedade Brasileira de Física, 2006.

FAÊDA, K. C. M.; MARTINS, M. I. Efeitos biológicos da radiação: avaliação de uma proposta para a licenciatura em física. In: XX SNEF, 2013, São Paulo. **Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo: USP, 2013.

FAILLA, Z. (Org.). **Retratos da leitura no Brasil 4**. Rio de Janeiro: Sextante, 2016.

FERREIRA, A. A. **Ensino de Física das radiações na modalidade EJA**: uma proposta. 187 f. Dissertação de mestrado em Ensino de Ciências – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

FIGUEIRA, M. J. S.; CORTELA, B. S. C.; NARDI, R. O fenômeno de code-switching em uma assembleia pública simulada sobre o plano nuclear brasileiro. In: Encontro de Física 2016 – XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2016, Natal (RN). **Atas do XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Natal (RN): Sociedade Brasileira de Física, 2016, p. 1-1.

FIUZA, G. S. **Radiações ionizantes e radiações não ionizantes no ensino médio**. 105 f. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 2016.

FLICK, U. **Desenho da pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FORTUNATO, D. **Matéria e radiação**: articulação entre física e saúde na perspectiva de uma prática docente reflexiva. Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS), 2012.

FOUREZ, G. **A construção das ciências**: introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Editora UNESP, 1995.

GAMA, L. C. **Divulgação científica: leituras em classes do ensino médio.** Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2005.

GARCEZ, A; DUARTE, R.; EISENBERG, Z. Produção e análise de videogravações em pesquisas qualitativas. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 249-262, mai./ago. 2011.

GIRALDELLI, C. G. C. M. **Gestos de interpretação na leitura de um texto literário de divulgação científica: crianças em situação escolar.** Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2007.

GOOD, R. Note from former editor. **Journal of Research in Science Teaching**, v.31, n.9, p. 873-873, nov. 1994. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/tea.3660310903>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

GRASSI, G. **Impressões e ações de professores que visitaram o centro regional de ciências nucleares do centro-oeste: duas décadas do acidente com o Césio-137 em Goiânia.** Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

HELENE, M. E. M. **A radioatividade e o lixo nuclear.** São Paulo: Editora Scipione, 1999.

KOSMINSKY, L.; GIORDAN, M. Visões de ciências e sobre o cientista entre estudantes do Ensino Médio. **Química nova na escola**, n. 15, p. 11-18, mai. 2002.

LANÇA, T. **Newton numa leitura de divulgação científica: produção de sentidos no ensino médio.** Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2005.

LIMA, A. A. M. **As radiações no ensino básico e secundário.** Dissertação de mestrado – Universidade de Coimbra, Portugal, 2007.

LONDERO, L. **O funcionamento de imagens e a produção de sentidos na leitura da relatividade restrita.** Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2013.

LOPES, G. **Leituras em aulas de Física na Educação de Jovens e Adultos no Ensino Médio**. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2009.

LUZ, R. M. **O ensino da física das radiações em ambientes hospitalares: avaliação das concepções sobre raios x com enfoque na prevenção e tecnologia**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2013.

MACEDO, E. M. L.; BILBAO, E. Z.; PINHEIRO FILHO, J. D. Uso do detector sólido de traços Cr-39 em práticas de física nuclear. In: IX SNEF, 1991, São Carlos (SP). **Atas do IX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos (SP): Sociedade Brasileira de Física, 1991. p. 320-330.

MACHADO, J. L. M. **O funcionamento de textos divergentes sobre energia com alunos de Física: a leitura no ensino superior**. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2001.

MACHADO, R. Q.; TOMAZELLO, M. G. C. Fotografia, radiografia, tomografia e ultrassonografia: a compreensão dos professores e alunos sobre os processos físicos de obtenção das imagens. In: IIIENPEC, 2001, Atibaia. **Anais do III Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Atibaia: ABRAPEC, 2011.

MARTINS, R. A. **Becquerel e a descoberta da radioatividade** – uma análise crítica. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

MATOS, A. N.; SANTANA, H. C. V.; BARBOSA, T. N. Análise e desenvolvimento de simuladores na física das radiações. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2017, São Carlos. **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos: USP, 2017. Ainda inéditas.

MEDEIROS, R. F. **Elaboração de um material de apoio didático e paradidático para o ensino de física das radiações para o ensino médio e técnico**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre (RS), 2011.

MICHAELIS. **Dicionário escolar da língua portuguesa**. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2002.

MIQUELIN, A. F. et al. Reflexões sobre os conteúdos envolvendo radiologia em alguns livros didáticos de ensino médio de física e química relacionados ao PNLEM.

In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2012, Maresias (SP). **Anais do XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Maresias (SP): 2012.

MONTANHER, V. C.; NETO, P. C. P. O caso da irradiação de alimentos: Contexto e pretexto para o ensino de física. In: XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2011, Local. **Anais do XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Foz do Iguaçu (PR): 2012.

MONTENEGRO, A. G. P. M. **A leitura de textos originais de Faraday por alunos do Ensino Fundamental e Médio**. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2005.

MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G.; SOARES, A. A. O ensino da radioatividade e física nuclear com o uso de simuladores. In: XXI SNEF, 2015, Uberlândia. **Anais do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2015. p. 1-8.

MOTTA, L. J.; CARDOSO, G. V.; MACEDO, C. C. Produção de energia elétrica através de usinas term nucleares e hidrelétricas: relato de uma atividade envolvendo aulas contextualizadas de física. In: XX SNEF, 2013, São Paulo. **Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo: USP, 2013.

MOURA, J. F. C. **Introduzindo física moderna no ensino médio a partir do tema estruturador radiação eletromagnética**: luz, cores e aplicações médicas. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2014.

NICOLI JUNIOR, R. B.; HOSOUME, Y. Representações sociais de radioterapia em crianças de classes hospitalares – contribuições para uma abordagem pedagógica. In: XVI SNEF, 2005, Rio de Janeiro. **Anais do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

NOBEL PRIZE OFFICIAL WEB SITE. **Wilhelm Conrad Röntgen** – Facts. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1901/rontgen-facts.html>. Acesso em: 05 jul. 2018.

OKUNO, E. **Radiação**: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Harbra, 1998.

OLIVEIRA, O. B. **Possibilidades da escrita no avanço do senso comum para o saber científico na 8ª série do ensino fundamental**. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2001.

OLIVEIRA, F. F. de. **O Ensino de Física Moderna com enfoque CTS**: uma proposta metodológica para o Ensino Médio usando o tópico de raios X. Dissertação de Mestrado em Educação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA JUNIOR, E. M. **O Grande medo de 1987**: uma releitura do acidente com o Césio-137 em Goiânia. Tese de Doutorado em História – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ORLANDI, E. P. **Discurso e leitura**. Campinas: Editora Cortez, 1988.

_____. **Gestos de leitura**. Campinas: Editora Unicamp, 1994.

_____. Paráfrase e polissemia: a fluidez nos limites do simbólico. **RUA**, Campinas, SP, v. 4, n. 1, p. 9-20, out. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rua/article/view/8640626/8177>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

_____. **Autoria, leitura e efeitos do trabalho simbólico**. Campinas: Pontes, 2007a.

_____. **Análise de discurso**: princípios e procedimentos. 5.ed. Campinas: Pontes, 2007b.

_____. **Formulação e circulação dos sentidos**. Campinas: Pontes, 2008.

ORLANDI, E. P.; LAGAZZI-RODRIGUES, S. (Org.). **Discurso e Textualidade**. Campinas: Pontes, 2010.

PARISOTO, M. F.; MORO, J. T.; MOREIRA, M. A. O ensino de física a partir do estudo da ultrassonografia, da produção e interação da radiação com o corpo humano: uma abordagem contextualizada. In: XIX SNEF, 2011, Manaus. **Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Manaus: Sociedade Brasileira de Física, 2011.

PEREIRA, O. S. A usina nuclear de Angra dos Reis como laboratório para o Ensino de Física. In: IX SNEF, 1991, São Carlos. **Anais do IX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos: Sociedade Brasileira de Física, 1991.

PEREIRA, O. S. Os estudantes querem física nuclear e raios cósmicos? In: XI SNEF, 1995, Niterói. **Anais do XI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Niterói: Sociedade Brasileira de Física, 1995.

PEREIRA, O. S.; ROSA, M. D. S.; MORETTI, V. A.; NEGRETTI, C. Chernobyl e Hiroshima: Lições para a formação de uma consciência sobre a questão. In: XII SNEF, 1997, Belo Horizonte. **Anais do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Física, 1997.

PEREIRA, G. R.; FILHO, M. V. B.; NEVES, M. A. Um estudo sobre a inserção do tema “Energia Nuclear” no ensino médio de municípios da baixada fluminense – RJ. In: VII ENPEC, 2009, Florianópolis. **Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

PEREIRA, A. **A física das radiações em sala de aula**: do projeto à prática. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PINTO, E. P. B.; SILVA, M. D.; RIBEIRO, E. Ensino da radioatividade no ensino médio: uma investigação em periódicos e livros aprovados pelo PNLD 2015. In: XXII SNEF, 2017, São Carlos. **Anais do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos: SBF, 2017.

PLANO NACIONAL DO LIVRO E LEITURA. **Publicação do Caderno do PNLL**. Edição Atualizada 2010. Supervisão Geral de José Castilho Marques Neto e Coordenação Executiva de Luciana do Vale. Brasília (DF), 2010.

PRESTES, M. **O Ensino de Física das Radiações**: contribuições da Educação Ambiental. Dissertação de Mestrado em Educação Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 2008.

RÁDIO CENTRO. **Informações sobre raios X aos pacientes**. Disponível em: <<http://www.radiocentro.com.br/blog/informacoes-sobre-raios-x-aos-pacientes>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

RESQUETTI, S. O. **Uma sequência didática para o ensino da radioatividade no nível médio, com enfoque na história e filosofia da ciência e no movimento CTS**. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

SÁ ALVES, T. R. et al. Radioatividade na concepção de estudantes de Angra dos Reis: um estudo investigativo. **Ciência em Tela**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 1-13, 2012. Disponível em: <<http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/artigo2.22.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SANT'ANNA, C. R. Inserção de tópicos de física nuclear no ensino de segundo grau. In: X SNEF, 1993, Londrina. **Anais do X Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Londrina: Sociedade Brasileira de Física, 1993.

SANTOS, A. G. Radiações ultravioletas em livros didáticos de física do Ensino Médio. In: XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2014, São Sebastião (SP). **Anais do XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. São Sebastião (SP): 2014.

SANTOS, J. P. et al. Concepções de estudantes do Ensino Médio sobre Radioatividade. In: XENPEC, 2015, Águas de Lindoia. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia: ABRAPEC, 2015.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Física**. São Paulo: SEE, 2008.

SCHEFFLER, G. L.; PINO, J. C. D. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e o Ensino de Radioatividade. **Experiências em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 29-46, 2013. Disponível em: <<http://if.ufmt.br/eenci/?go=artigos&idEdicao=33>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SCHMIEDECKE, W. G.; VALENTE, L. Energia Nuclear: Uma ilustre desconhecida dos licenciandos em física. In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2012, Maresias (SP). **Anais do XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Maresias (SP): 2012.

SCHREIBER, S. C. et al. Desenvolvendo atividades sobre a produção de raios X em aulas de física no Ensino Médio. In: XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2016, Natal (RN). **Anais do XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Natal (RN): 2016.

SHIINO, H. S. et al. Uma proposta para sala de aula sobre a física nuclear e a física de partículas. In: XX SNEF, 2013, São Paulo. **Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo: USP, 2013.

SILVA, H. C. **Como, quando e o que se lê em aulas de física no ensino médio:** elementos para uma proposta de mudança. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 1997.

_____. **Discursos escolares sobre gravitação newtoniana:** textos e imagens na física do Ensino Médio. Tese de doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2002.

SILVA, M. A. S. M. e. Sobre a Análise do Discurso. **Revista de Psicologia da UNESP**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 16-40, 2005. Disponível em: <<http://seer.assis.unesp.br/index.php/psicologia/article/view/998>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SILVA, N. C.; MORALES, P. S.; ROSA, T. B. Root na radiocirurgia: uma ferramenta para o ensino de física. In: XVI SNEF, 2005, Rio de Janeiro (RJ). **Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro (RJ): Sociedade Brasileira de Física, 2005.

SILVA, E. C. **As radiações ionizantes na formação do professor de física:** um olhar nas revistas especializadas. Dissertação de Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências – Universidade Federal da Bahia, Salvador (BA), 2011.

SILVA, R. C. **Ensino de radiações ionizantes por meio de produção de vídeos por alunos da 3ª série do ensino médio.** Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande (MS), 2012.

SILVA, A. C. **Leitura sobre ressonância magnética nuclear em aulas de física do ensino médio.** Dissertação de Mestrado em Educação. Faculdade de Educação – Unicamp: Campinas, 2013.

SILVA, M. L. Análise da percepção dos alunos do terceiro ano do Ensino Médio do acidente de Goiânia com o cézio 137. In: XXI SNEF, 2015, Uberlândia. **Anais do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Física, 2015.

SILVA, W. M. da; ZANOTELLO, M. Discursos sobre Física Contemporânea no Ensino Médio a partir da leitura de textos de divulgação científica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 45-74, 2017. Disponível em: <<https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2729/3244>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

SILVEIRA, R. D. et al. Interdisciplinaridade no ensino de física das radiações em cursos técnicos de radiologia médica. In: XVIII SNEF, 2009, Espírito Santo. **Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Espírito Santo: Sociedade Brasileira de Física, 2009.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M.; UETA, N. A física moderna e contemporânea em sala de aula: uma atividade com os raios X. In: XVII SNEF, 2007, São Luís. **Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Luís: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

SOARES; A. A.; MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 3, p. 915-933, jun. 2015.

SORPRESO, T. P. **Organização de episódios de ensino sobre a questão nuclear para o ensino médio**: foco no imaginário dos licenciandos. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2008.

_____. **Energia nuclear mediante o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade na formação inicial de professores de Física**. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2013.

SOUSA, W. B. **Física das radiações**: uma proposta para o ensino médio. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciência – Faculdade de Educação da USP, São Paulo, 2009.

SOUZA, A. M.; GERMANO, A. S. Análise de livros didáticos de física quanto a suas abordagens para o conteúdo de física nuclear. In: XVIII SNEF, 2009, Espírito Santo. **Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Espírito Santo: Sociedade Brasileira de Física, 2009.

SOUZA, A. J.; ARAÚJO, M. S. T. A elaboração de um pôster como material didático para abordar conceitos de produção de raios X e radioproteção em aulas de física. In: XVIII SNEF, 2009, Espírito Santo. **Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Espírito Santo: Sociedade Brasileira de Física, 2009.

SOUZA, J. M.; OLIVEIRA, H. B.; MONTEIRO, M. A. A. O Estudo da percepção de professores sobre o uso de novas tecnologias visando à implementação de projetos interdisciplinares. In: XENPEC, 2015, Águas de Lindoia. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Águas de Lindoia, ABRAPEC, 2015.

SOUZA, S. C. **Leitura e fotossíntese**: proposta de ensino numa abordagem cultural. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2000.

_____. **Supletivo individualizado**: possibilidades, equívocos e limites no ensino de ciências. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 1995.

SOUZA, S. F.; SILVA, C. E. Uma abordagem sobre fusão termonuclear para o Ensino Médio. In: XV SNEF, 2003, Curitiba. **Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Curitiba, 2003.

SOUZA, R, S; VALLE, J, L, M. Uma proposta de sequência didática para o ensino de física nuclear no Ensino Médio. In: XXII SNEF, 2017, São Carlos. **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos: Sociedade Brasileira de Física, 2017.

STRATHERN, P. **Curie e a radioatividade em 90 minutos**. Rio de Janeiro: Zahar, 2000.

TEIXEIRA, A. L. S. et al. A importância do trabalho investigativo no cotidiano escolar do Ensino de Ciências. In: II Congresso Nacional de Educação, 2015, Campina Grande (PB). **Anais do II Congresso Nacional de Educação**. Campina Grande (PB): 2015.

TIMM, N. R. **Física moderna e contemporânea e a saúde**: uma proposta envolvendo a energia nuclear e radioatividade na formação inicial de professores de física. Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS), 2012.

VALENTE, L. et al. Física nuclear: Caminhos para a sala de aula. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba (PR). **Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Curitiba (PR): 2008.

VASCONCELOS, F. C. G. C.; LEÃO, M. B. C. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia flexquest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v.17, n. 1, p. 37-58, 2012. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/206/140>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

VIEIRA, S. A. Introdução da física moderna no ensino médio através de um caso de tratamento radioterápico. In: XV SNEF, 2003, Curitiba. **Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2003.

VILELA, K. S. F. R. **Metodologias para o ensino de física das radiações**. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências – Universidade Federal de Ouro Preto: Ouro Preto, 2015.

ZAMBONI, L. M. S. **Heterogeneidade e subjetividade no discurso da divulgação científica**. Tese de Doutorado – Instituto de Estudos da Linguagem da Unicamp, Unicamp, Campinas, 1997.

ZANOTELLO, M.; ALMEIDA, M. J. P. M. Produção de sentidos e possibilidades de mediação na física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 437-446, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a15v29n3.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

ZANOTELLO, M; ALMEIDA, M. J. P. M. Leitura de um texto de divulgação científica em uma disciplina de física básica na educação superior. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 15, n. 3, p. 113-130, set./dez. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/epec/v15n3/1983-2117-epec-15-03-00113.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

ZILBERMAN, R.; SILVA, E. T. **Leitura**: Perspectivas interdisciplinares. São Paulo: Ática. 2005.

_____. **Física**: Ensino Médio. 3ª série. São Paulo: SEE, 2014. Vol. 1. Caderno do Professor.

APÊNDICES

APÊNDICE – A

UNIDADE DE ENSINO

FÍSICA DAS RADIAÇÕES

ASSUNTO GERAL

RADIAÇÕES

TÓPICO/TEMA PRINCIPAL

RADIAÇÕES IONIZANTES

NÚMERO DE AULAS PREVISTAS

10 HORAS-AULA

**1ª AULA – QUESTIONÁRIO PRÉVIO E INTRODUÇÃO AO
ESTUDO DAS RADIAÇÕES**

Objetivo: Nesta aula pretende-se verificar a familiaridade que os alunos possuem com a leitura e com o tópico de Física das Radiações; bem como a construção dos conceitos de radiação e radioatividade.

Conteúdo: Definição de Radiação, natureza das radiações, classificação perante sua energia, definição de radioatividade, natureza da radioatividade.

Recursos Didáticos: Para a primeira parte da aula será utilizado um questionário prévio para levantamento das concepções dos alunos sobre o tema da UE. Na segunda parte, a qual consiste de uma aula expositiva e outro questionário, poderá ser utilizado uma apresentação em slides junto com o uso de um data show. Em seguida, será entregue o questionário impresso para os alunos.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a aplicação do questionário prévio e a segunda com a aula expositiva e a elaboração das respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO PRÉVIO

QP01 – Você tem o hábito de ler? Quantos livros em média você costuma ler?

QP02 – Qual o tipo de leitura que você mais gosta (revista, gibi, jornal)? Comente.

QP03 – Você já ouviu falar em radiações? E sobre radioatividade? Comente

QP04 – Você já leu livros relacionados à ciência? Em caso afirmativo, cite pelo menos um.

QUESTIONÁRIO 01

QP01 – Você acredita ser possível sentir a radiação?

QP02 – Qual a diferença entre radiação e radioatividade? Comente

QP03 – Por que hoje se fala da necessidade de proteção contra os raios solares? Justifique.

QP04 – A radioatividade está presente no seu dia-a-dia? Em caso afirmativo, cite pelo menos um caso.

Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com os conceitos acerca das radiações α , β , γ e do conceito de tempo de meia – vida.

Conteúdo: Tipos de radiação (alfa, beta e gama), conceito de meia – vida de um elemento radioativo.

Recursos Didáticos: Para a aula expositiva será feito o uso da lousa. O questionário e o texto para a leitura dos alunos será impresso e entregue individualmente.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo uma introdução ao conceito de radiação induzida, o qual encontra – se presente no texto; além de uma breve fala sobre os tipos de radiações: alfa, beta e gama. Na segunda parte, os alunos realizarão a leitura do texto que trata sobre esses conceitos, além do conceito de meia – vida. Após a leitura do texto os alunos elaboraram as respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO 02

QP01 – De acordo com seus conhecimentos, você acredita que existe alguma maneira de reduzir o tempo de radioatividade de um elemento?

QP02 – Na sua opinião, todo tipo de radiação é prejudicial ao nosso organismo? Justifique.

QP03- Você conhece alguma aplicação para o conceito de meia vida? Qual(is)?

QP04- Imagine que lhe seja dado três biscoitos radioativos: um deles emite radiação alfa, o outro beta e o outro gama. Você tem três opções, um deles você deve comer, o outro colocar no bolso e o outro segurar na mão. Qual escolha você deve fazer para se proteger ao máximo? Ou seja, qual deles você segurará, qual você comerá e qual você guardará no bolso? Por quê?

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 02

TIPOS DE RADIAÇÃO

Pierre Curie montou um arranjo experimental que consistia de uma fonte radioativa que emitia radioatividade, uma chapa fotográfica e um ímã. Para analisar a natureza dessa radioatividade, ele colocou a chapa fotográfica como alvo e entre a chapa e a fonte radioativa, um ímã, e fazia a radioatividade passar através do campo magnético gerado pelo ímã. A figura IV.1 mostra o arranjo experimental de Pierre Curie.

Ele percebeu que a emissão radioativa se dividia em três partes: uma que era desviada pelo pólo negativo do ímã, portanto, era positiva; outra que era desviada pelo pólo positivo do ímã, logo a radiação tinha carga negativa; e outra que não era desviada pelo campo, ou seja, era neutra. Posteriormente essas radiações viriam a ser conhecidas como as três primeiras letras do alfabeto grego: a positiva como alfa (α), a negativa como beta (β) e a neutra como gama (γ).

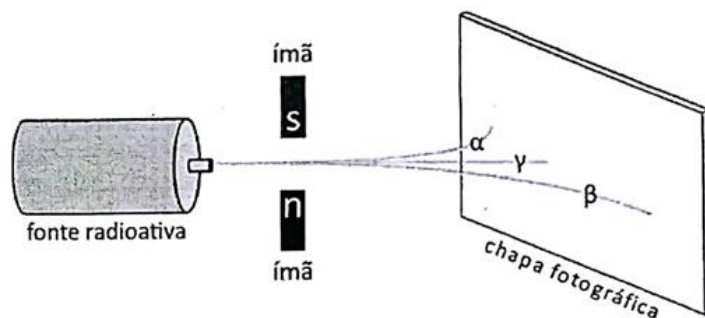


Figura IV.1 – Experiência realizada por Pierre Curie que mostrou que a radioatividade é formada por três raios diferentes.

A radioatividade emitida por esses elementos, que pode ser dividida em três tipos, é a maneira de o núcleo ir se tornando cada vez mais estável. Cada vez que um núcleo instável emite radioatividade, ele se torna mais estável. A cada emissão ele se transforma em um elemento mais estável que o primeiro, da maneira como veremos a partir de agora!

Um dos processos para o núcleo instável se tornar estável é a emissão de partículas alfa – dois prótons e dois nêutrons. Esse tipo de radiação é, então, o núcleo de hélio (He), elemento químico de número atômico 2, um gás nobre.

Outro processo para o núcleo se estabilizar é emitindo partículas beta – elétrons. Mas cuidado! Estes elétrons não são os da eletrosfera, eles são gerados por decaimento beta dentro do núcleo. Essa radiação ocorre quando existe um excesso de nêutrons em relação aos prótons. Desse modo, ocorre o decaimento beta, que é quando um nêutron se transforma em um próton, um elétron e um neutrino.

Após a emissão das radiações alfa e beta, geralmente o núcleo ainda tem um excesso de energia. Então, para estabilizar – se, o núcleo emite uma onda eletromagnética (parecida com a luz visível, só que bem mais energética) denominada raio gama, sem carga elétrica. Diferentemente das outras duas radiações, a gama não é formada por partículas, e sim por ondas eletromagnéticas, que no vácuo se propagam com a maior velocidade que existe na natureza, 300.000 km/s.

O poder de penetração das três radiações é diferente. Uma folha de papel é capaz de bloquear a radiação alfa, sua mão seria mais que suficiente. Para a beta, já seria necessária uma chapa de alumínio. Para a gama, teríamos de ter um bloco de chumbo, e por este motivo abrigos nucleares são feitos com estes blocos. A figura IV.2 compara o poder de penetração das três diferentes radiações.

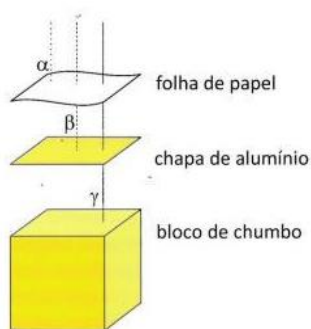


Figura IV.2 – Comparação entre o poder de penetração dos três tipos de radiação.

No início do século XX, Charles T. R. Wilson fez uma suposição original: existe radiação em torno de nós, vindo do espaço, em quantidade pequena e com energia suficiente para penetrar em nossa atmosfera e em objetos sólidos.

ATIVIDADE DE UMA AMOSTRA

As desintegrações, discutidas no capítulo anterior, não ocorrem todas ao mesmo tempo em uma amostra com certo número de átomos de um elemento radioativo, ou seja, em uma amostra as desintegrações não ocorrem todas ao mesmo tempo.

Não é possível prever quando um átomo específico de uma amostra irá transmutar. As transmutações ocorrem de maneira aleatória entre os átomos. O que é possível prever são quantas transmutações irão ocorrer em um determinado tempo é a atividade de uma amostra e suas unidades de medida, como já vimos, são o Becquerel e o Curie.

MEIA-VIDA

Para caracterizarmos o tempo que um elemento radioativo dura, utiliza-se o termo meia-vida, cunhado por Rutherford. Esse termo significa o tempo que a metade dos átomos de uma amostra de certo elemento radioativo demorará para ser transmutada em um outro mais estável. Meia-vida é o tempo necessário

para reduzir à metade o número de átomos de uma amostra radioativa, ou seja, quando a metade se transformar em outro elemento.

A cada meia-vida a amostra do elemento radioativo “perde” metade de seus átomos. Após uma meia-vida ele terá metade, após duas meias-vidas, metade, ou seja, um quarto dos átomos iniciais, e assim por diante.

O tempo de decaimento é diferente de elemento para elemento, podendo variar de milionésimos de segundo até bilhões de anos. No acidente de Goiânia, a cápsula violada tinha 19g de cézio-137. Esse cézio-137 está emitindo radiação até hoje e, ao decair em núcleos mais estáveis, libera energia – como a luz que encantou o dono do ferro-velho e a usada pelo casal Curie para iluminar o quarto à noite.

Para saber o tempo que a amostra de cézio-137 leva para decair em núcleos mais estáveis é que vamos ao exemplo seguinte. Meia-vida é o tempo necessário para que metade dos átomos de uma amostra decaia em núcleos mais estáveis. A meia-vida do cézio-137 é de 30 anos.

Em 1987 havia 19g de cézio-137.
Após 30 anos, 2017 – meia-vida –, ainda restará metade, ou seja, 9,5g.
Quando se passarem mais 30 anos, mais uma metade decairá. Assim, em 2047, restarão 4,75g de cézio-137. E assim por diante. Este cézio-137 continua perigoso aos seres humanos e deve ser guardado em local adequado.

A figura V.1 mostra um gráfico do decaimento da amostra de cézio-137 do acidente de Goiânia.

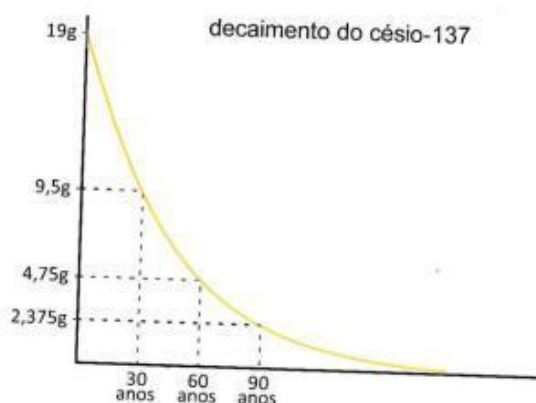


Figura V.1 - Decaimento da amostra de cézio-137 do acidente de Goiânia.

Essa meia-vida significa que após 30 anos ainda restará metade dos átomos radioativos do césio-137. Elementos diferentes têm meias-vidas diferentes. A meia-vida do iodo-131, usado na medicina em exames de tireóide é de 8 dias. O urânio-238 tem meia-vida de 4,5 bilhões de anos, urânio-235 de 713 milhões de anos.

3ª AULA – WILHELM RÖNTGEN E O RAIOS X

Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com os acontecimentos históricos que culminaram na descoberta dos raios X.

Conteúdo: Natureza dos raios X; a descoberta dessa radiação por Wilhelm Röntgen; a consequência dessa descoberta para Röntgen e a sua utilização.

Recursos Didáticos: Para a aula expositiva será feito o uso da lousa. A primeira sendo a aula expositiva, onde são apresentadas as unidades de absorção de radiação, a quantidade que uma pessoa pode receber de radiações de forma segura, o funcionamento de um aparelho de raios-X e suas aplicações. Na segunda parte, os alunos realizarão a leitura de um trecho da entrevista de Röntgen falando sobre a descoberta dos raios X. Após a leitura do texto, os alunos realizarão a elaboração das respostas do questionário. O questionário e o texto para a leitura dos alunos será impresso e entregue individualmente.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a aula expositiva e a segunda constituída pela leitura do texto e a elaboração das respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;

- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO 03

QP01 – Os raios X emitidos para investigar possíveis fraturas ósseas apresentam algum risco à saúde? Justifique

QP02 – Em sua opinião os cientistas colaboram uns com os outros, trocam informações ou trabalham sozinhos isolados?

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 03

A DESCOBERTA

Nos trabalhos que publicou Röntgen não informou como ocorreu a descoberta do novo fenômeno. Existem na verdade poucas informações confiáveis sobre isso. Uma das pouquíssimas fontes de informação da própria época foi uma entrevista que Röntgen concedeu a um jornalista americano, Henry Dam, talvez no final de 1896. Essa entrevista deve ser usada cautelosamente, pois Dam não falava bem alemão, Röntgen não falava bem inglês, e em parte da conversa ambos utilizaram o francês para se comunicar. Apesar disso é interessante reproduzir uma parte do artigo de Dam:

“Agora, professor” eu disse, “o senhor poderia me contar a história da descoberta?”

“Não há história”, ele disse. “Eu estava interessado há muito tempo no problema dos raios catódicos em tubos de vácuo, estudados por Hertz e Lenard. Eu havia seguido suas pesquisas e as de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro. Eu já estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo.”

“Qual foi a data?”

“Oito de novembro.”

“E o que foi a descoberta?”

“Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço de papel com platino – cianeto de bário estava lá na mesa. Eu havia passado uma corrente pelo tubo, e notei uma linha preta peculiar no papel.”

“O que era isso?”

“O efeito era algo que só poderia ser produzido, em linguagem comum, pela passagem de luz. Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida, mesmo a do arco elétrico.”

“E o que o senhor pensou?”

“Eu não pensei; eu investiguei. Assumi que o efeito devia vir do tubo, pois seu caráter indicava que ele não poderia vir de nenhum outro lugar. Eu o testei. Em poucos minutos não havia dúvida sobre isso. Estavam saindo raios do tubo, que tinham um efeito luminescente sobre o papel. Testei – o com sucesso a distâncias cada vez maiores, até mesmo a dois metros. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, algo não registrado.”

“É luz?”

“Não.”

“É eletricidade?”

“Não em qualquer forma conhecida.”

“O que é?”

“Eu não sei.”

E o descobridor dos raios X afirmou assim tão calmamente sua ignorância sobre sua essência quanto todos os outros que tinham escrito até então sobre o fenômeno.

“Tendo descoberto a existência de um novo tipo raios, é claro que comecei a investigar o que eles fariam.”

É possível que Röntgen tivesse receio de que sua descoberta fosse confundida com descrições de fenômenos espiritualistas, que estavam bastante em moda na época. Mas há uma explicação mais simples. Por um lado, Röntgen tinha uma reputação científica sólida a preservar, e não queria divulgar uma coisa sobre a qual ainda não estava seguro. Por outro lado, percebia a importância de sua descoberta e podia ter receio de que alguém passasse a sua frente; por isso, enquanto estudava o fenômeno, tomava cuidados para que ninguém lhe “roubasse” a descoberta.

Rapidamente, Röntgen foi descobrindo algumas propriedades básicas dos novos raios. Eles se propagavam em linha reta, produzindo por isso sombras regulares. Eram capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais – principalmente no caso de materiais menos densos. Os metais – especialmente o chumbo – o absorviam mais fortemente. Eram capazes de produzir fluorescência em várias substâncias diferentes.

O que estava saindo do tubo? Luz, raios ultravioleta e raios catódicos eram os agentes físicos conhecidos que tinham as propriedades notadas logo de início: eram capazes de produzir fluorescência; podiam ser produzidos em descargas

elétricas em gases rarefeitos; e podiam projetar sombras. Assim, embora Röntgen logo adquirisse a certeza de que não se tratava de nenhum desses tipos conhecidos de raios, ele procurou nos raios X outras propriedades semelhantes as das radiações conhecidas.

Por analogia com a luz, radiação ultravioleta e raios catódicos, Röntgen estudou várias outras propriedades. Descobriu que os raios X eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas, como essas radiações. Não podiam ser refletidos, nem refratados – o que os diferenciava da luz e da radiação ultravioleta, mas os aproximavam dos raios catódicos. No entanto, eram muito mais penetrantes do que os raios catódicos e, ao contrário desses, não podiam ser desviados por ímãs. Röntgen fez alguns testes, e não detectou fenômenos de interferência e polarização com os novos raios.

Afinal de contas, o que era aquilo?

Por eliminação, Röntgen foi concluindo que esses raios não eram luz, não eram nenhuma radiação eletromagnética invisível conhecida (raios ultravioletas, infravermelhos ou ondas de rádio), nem eram raios catódicos. Era algo novo, realmente.

4ª AULA– BECQUEREL OS COMPOSTOS DE URÂNIO

Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com os acontecimentos históricos que culminaram na construção do conceito de radioatividade e da importância de Becquerel no desenvolvimento dos estudos das radiações.

Conteúdo: A história de Becquerel; os primeiros trabalhos com compostos de Urânio; e a “descoberta” da radioatividade.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a constituída pela leitura do texto e a segunda sendo disponibilizada para a elaboração das respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO 04

QP01- Qual a sua visão para o tema Radioatividade?

QP02- Como você descreveria a Radioatividade através de um desenho?

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 04

A notícia da sensacional descoberta de Röntgen se espalhou rapidamente por toda a Europa, cruzou o Atlântico e chegou aos Estados Unidos. Era tão simples produzir raios X que num abrir e fechar de olhos eles estavam sendo usados para fins práticos. Apenas quatro dias depois de a notícia da descoberta de Röntgen chegar aos Estados Unidos, pôde-se ver com raios X a posição de uma bala na perna de um paciente. Os jornais começaram a estampar histórias dramáticas sobre as espantosas propriedades daqueles novos raios. O estado de Nova Jersey chegou mesmo a considerar a aprovação de uma lei proibindo o uso de raios X em binóculos de ópera, salvaguardando assim a virtude das mulheres presentes no teatro. Lamentavelmente, porém, ninguém pensou em proteger o público contra os próprios raios X. Vários anos se passariam antes que se descobrisse que a exposição excessiva àqueles raios causava leucemia.

O passo seguinte na nova revolução científica veio em consequência direta da descoberta de Röntgen, e foi dado pelo químico francês Henri Becquerel, que descendia de uma próspera família de cientistas. Seu avô havia lutado na batalha de Waterloo e mais tarde fora um pioneiro da eletroquímica. O pai havia continuado nesse campo, investigando a fluorescência e a fosforescência, fenômenos que ocorrem quando a matéria absorve luz com um comprimento de onda e a emite com outro. (O melhor exemplo disso talvez seja o que se produz quando luz ultravioleta invisível incide sobre diferentes minerais, fazendo-os brilhar com diferentes cores.)

Quando Becquerel ouviu falar da descoberta dos raios X por Röntgen, lembrou-se dos experimentos de seu pai com a fluorescência. Röntgen havia descoberto os raios X ao perceber o efeito fluorescente que eles tinham sobre platinocianeto de bário. Isso levou Becquerel a se perguntar se materiais fluorescentes não produziram raios X também.

No início de 1896, Becquerel começou a fazer experimentos com um sal duplo de urânio (sulfato de potássio uranilo), que, por um trabalho anterior, ele sabia ser

capaz de elevada fluorescência. Pôs um cristal desse sal sobre uma chapa fotográfica envolta em papel preto e, em seguida, expôs isso à luz do sol. Ele sabia que a luz solar induziria fluorescência, e, se esta contivesse raios X, eles penetrariam o papel preto e ficariam registrados na chapa fotográfica. Foi exatamente o que aconteceu. Quando desembalhou a chapa fotográfica e revelou-a, Becquerel encontrou uma tênue névoa branca que se espalhava em torno do ponto em que o cristal tinha sido colocado. Só podia chegar a uma conclusão: a fluorescência produzia raios X!

Paris atravessava um inverno cinzento, e os dias ensolarados em que ele podia avançar com seus experimentos eram raros e espaçados. Impaciente, Becquerel ocupou seu tempo preparando novas chapas fotográficas, envolvendo-as em papel preto e pondo o cristal por cima. Depois guardava tudo isso cuidadosamente numa gaveta vedada à luz. Mas o sol insistia em não brilhar. Incapaz de se conter por mais tempo, Becquerel resolveu dar um espiada em duas das chapas fotográficas que estavam na gaveta, só para ver se, quem sabe, os cristais teriam emitido alguma débil luminescência remanescente. Um choque o aguardava. Quando revelou a primeira chapa, descobriu uma intensa névoa branca que se espalhava a partir do ponto onde o cristal estivera pousado. Isso significava que qualquer radiação que estivesse sendo emitida pelo sal não envolvia a luz solar, e tampouco nenhum tipo visível de fluorescência, já que o cristal não estivera brilhando no escuro.

Becquerel começou imediatamente a investigar essa radiação inesperada. Para sua surpresa, descobriu que ela não era exatamente igual aos raios X. Poderia aquilo ser uma forma inteiramente nova de radiação? Tal como os raios X, ela era invisível e capaz de ionizar gases (deixando uma carga elétrica no ar por onde passava). Mas era capaz de penetrar a matéria com muito mais força do que os raios X. Além disso, Becquerel percebeu um efeito muito mais curioso: o cristal de sulfato de potássio uranilo continuava a emitir um fluxo constante dessa radiação. Isso não parecia depender de estar ele posto à luz ou no escuro; ele simplesmente radiava continuamente em todas as direções.

Nesse ponto as investigações de Becquerel chegaram a um impasse. Aqueles fenômenos eram todos interessantíssimos, mas não pareciam levar a lugar algum. Becquerel era um experimentador, pouco propenso a saltos teóricos imaginativos. Por irônico que pareça, sua compreensão desse novo tipo de radiação estava fatalmente tolhido pelas idéias teóricas preconcebidas que havia herdado do pai. Embora a radiação não parecesse ser causada pelo Sol, ou pela luz, ele continuava convencido

de que devia se tratar de um “tipo de fluorescência invisível”. Que mais poderia ser? Não era possível que radiação simplesmente fluísse continuamente de cristais sem que houvesse alguma fonte de energia. Quem sabe essa energia podia ser armazenada de alguma maneira pelo cristal ao longo de um período?

A abordagem de Becquerel era a correta. Era assim que as leis da física clássica funcionavam. Por mais de dois mil anos, desde a Grécia antiga, as pessoas que pensavam sobre ciência haviam aderido a uma interpretação literal do dito atribuído a Epicuro: Nihil ex nihilo fit (“Nada é feito de nada”). Mas a ciência estava mudando. Becquerel havia feito uma descoberta extremamente importante, mas não se tratava de uma nova forma de fluorescência. Então o que era? Marie Curie havia acompanhado as descobertas de Röntgen e Becquerel com grande interesse, discutindo-as com Pierre, como sempre. A essa altura ela havia terminado sua pesquisa com o magnetismo e estava à procura de um assunto adequado para sua tese de doutorado. O beco sem saída em que Becquerel se viu metido com seus experimentos oferecia um desafio empolgante. Marie resolveu estudar aquela nova forma de radiação.

5ª AULA– MARIE E PIERRE CURIE

Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com as descobertas do casal Curie, destacando seus trabalhos no campo das radiações e os dois prêmios Nobel outorgados à madame Curie. Além disso, o intuito dessa aula passa pelo importante papel da mulher dentro do campo científico.

Conteúdo: A Vida de Marie Curie; as dificuldades nas descobertas dos elementos rádio e polônio; os dois prêmios Nobel.

Recursos Didáticos: Utilização de textos e de um questionário que será impresso e entregue individualmente aos alunos.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a constituída pela leitura do texto e a segunda sendo disponibilizada para a elaboração das respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO 05

QP01- De acordo com o texto Marie Curie teve que processar algo em torno de 20 toneladas de pechblenda para conseguir um grama de rádio. Na sua visão, por que não aprendemos sobre as dificuldades pelas quais os cientistas passam?

QP02- O texto apresenta a informação que quem fazia o “trabalho duro” era Marie. Você acha que isso tem a ver com o fato dela ser mulher?

QP03- O escândalo envolvendo Marie e Paul Langevin quase acarretou a perda do segundo prêmio Nobel. Em sua opinião seria justo retirar o prêmio dela por esse motivo, tal como alegou o comitê do Nobel?

QP04- Na sua visão, Marie Curie foi laureada com o primeiro Nobel devido às pesquisas em conjunto com Pierre? E se caso ela assinasse os trabalhos sozinha, você acredita que teria atingido tamanha façanha?

QP05- Marie é considerada uma precursora da mulher na ciência. Você conhece ou se lembra de alguma outra grande mulher de fama internacional no meio científico? Em caso afirmativo cite-a.

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 05

Marie e Pierre Curie – Do relacionamento aos prêmios Nobel

Quando conheceu Marie, Pierre estava terminando sua tese de doutorado que tratava do efeito do calor sobre propriedades magnéticas. Havia descoberto que, acima de certa temperatura crítica, qualquer substância ferromagnética (como ferro ou níquel) perde suas qualidades ferromagnéticas. (Até hoje essa temperatura é conhecida como o ponto de Curie.)

Marie também estava fazendo pesquisa nesse campo — o que leva à inescapável conclusão de que os dois estavam sendo aproximados por magnetismo. Logo se tornaram amigos.

Quando Pierre foi visitar Marie em sua mansarda, ficou imediatamente impressionado por seu estilo de vida simples e independente, que dispensava formalidades como uma *chaperone*. Ali estava realmente uma mulher de ciência progressista. Mas esse não seria nenhum caso de amor à primeira vista. Ambos eram

ciosos de sua preciosa independência — o que levou a hesitações de parte a parte. Pierre, porém, acabou decidindo enfrentar a questão com firmeza: escreveu a Marie querendo saber se ela “gostaria de alugar um apartamento comigo na RueMouffetard, com janelas abrindo-se para um jardim. Esse apartamento é dividido em duas partes independentes.” Nenhum dos dois acreditava na vida convencional: estavam acima dessas coisas. Mas isso era uma postura mais intelectual que emocional. Ambos haviam tirado partido dela para conseguir dedicar sua vida à ciência, e não como um instrumento de escândalo social, o que viam como perda de tempo: “É desculpável ser generoso com tudo, exceto o tempo.” Na sua correspondência, Pierre confessou: “Estou muito distante, hoje em dia, dos princípios segundo os quais eu vivia dez anos atrás.” Já não usava mais sempre uma camisa azul “como os trabalhadores”. (Não é mencionado, no entanto, se ainda se mantinha fiel ao princípio de que uma companheira era um mero estorvo para um cientista.) Marie, de sua parte, ainda ouvia o chamado da terra natal. Fora passar férias na Polônia, mas isso não era o bastante: sentia que era tempo de voltar.

E assim Marie e Pierre se casaram numa cerimônia (estritamente civil, com roupas comuns) numa prefeitura de subúrbio. Nada de presentes convencionais de casamento: em vez de talheres, uma útil assadeira para pudim ou um relógio de cuco, o casal comprou duas bicicletas novas em folha — e partiu para percorrer a Bretanha de bicicleta, à guisa de lua-de-mel.

Durante essa viagem, descobriram um profundo amor pelo campo e um profundo amor um pelo outro, amores que iriam perdurar por toda vida que teriam juntos. Marie Curie começou a estudar vários compostos diferentes de urânio, que iam da pechblenda a certos sais de urânio. Verificou-se que a pechblenda, minério betuminoso negro-marrom, uma forma mineral de óxido de urânio, era altamente radioativa, dando uma leitura de 83×10^{-12} ampères. Por outro lado, alguns dos sais de urânio registravam meros $0,3 \times 10^{-12}$ ampères.

Ao longo desses experimentos, porém, Marie Curie fez uma descoberta importante. Não parecia importar que o composto estivesse aquecido, em solução ou sob forma de pó. Somente uma coisa afetava a quantidade de radioatividade: a quantidade de urânio presente. A fonte da radioatividade não eram compostos de urânio: essa propriedade pertencia aos próprios átomos de urânio.

Mas seria essa propriedade exclusiva do urânio? Marie Curie iniciou alguns experimentos com átomos de peso atômico semelhante. Óxido de tório produzia uma

ionização que exigia, para ser neutralizada, uma carga de 53×10^{-12} ampères. O urânio não era o único a exibir essa propriedade: o tório também era radioativo.

Juntos, Marie e Pierre deram então início à difícil tarefa de tentar descobrir qual era aquele elemento desconhecido da pechblenda. Primeiro seria preciso isolar esse elemento, que só estava presente em quantidades diminutas. Isso envolvia refinar o minério por meio de tratamento químico e repetida destilação, até que conseguissem obter uma amostra do próprio elemento. Provou-se impossível, no entanto, isolá-lo de outro elemento, quase idêntico, presente no minério: o bismuto. Em julho de 1898, eles já tinham conseguido extrair algumas quantidades mínimas de pó de bismuto que continham o novo elemento. Nas palavras do relatório conjunto dos Curie, esse pó continha “um metal ainda não determinado, semelhante ao bismuto”. Acrescentavam: “Propomos chamá-lo polônio, a partir do nome da pátria de um de nós.”

No início de 1902 Marie Curie havia finalmente conseguido produzir algum rádio. Para tanto havia sido necessário processar mais de uma tonelada (mil quilos) de refugo de pechblenda à razão de 20 quilos por vez. Fora preciso repetir o processo de cristalização e recristalização muitos milhares de vezes. E no final ela havia conseguido produzir um décimo de grama de rádio. Essa quantidade minúscula havia sido suficiente para permitir a Demarçay identificar o espectro do rádio e determinar seu peso atômico — dissipando assim, de uma vez por todas, qualquer dúvida que ainda pairasse de que o rádio era realmente um elemento.

No fim das contas, Marie processou quase dez toneladas de refugo de pechblenda em seu hangar — das quais conseguiu finalmente extrair um grama inteiro de rádio. Apesar de todo esse imenso esforço, e das grandes possibilidades comerciais do rádio, Marie Curie se recusou a patentear seu método de produção de rádio a partir da pechblenda. Indiferentes à sua pobreza, os Curie haviam resolvido, juntos, que os benefícios do rádio deviam estar disponíveis para o mundo. Essa patente teria lhes valido uma fortuna incalculável. Marie Curie tinha qualidades excepcionais, que não se limitavam à sua capacidade científica. A pena é que seus biógrafos posteriores insistiram em inventar mais algumas qualidades (e em fechar os olhos para algumas fraquezas também) — até que a lenda obscureceu por completo o ser humano. Como veremos, Marie Curie não foi nenhuma figura lendária: permaneceu sempre essencialmente humana.

O Nobel dado aos Curie fascinou a imaginação popular. (“Equipe de marido e mulher descubrem moto-perpétuo em cabana” etc.) Isso significava que eles tinham agora de suportar todos os transtornos da fama, fenômeno que já começava a exibir sua completa idiotice no início do século XX. O caráter invasivo e a banalidade de tudo aquilo foram um verdadeiro choque para uma mulher séria como Marie.

Após um dia de trabalho na Sorbonne, Pierre rumou para casa pela estreita Rue Dauphine, no Quartier Latin. Chovia a cântaros e ele teve de se encolher sob seu guarda-chuva. Em certo ponto, desceu distraidamente da calçada — para se meter diante de uma carroça de seis toneladas puxada por cavalos. Foi derrubado e caiu sob as rodas. Nas palavras de sua filha Eve Curie, que descreveu vividamente o acidente, muitos anos depois: “A roda traseira esquerda da carroça encontrou um fraco obstáculo que esmagou ao passar: uma fronte, uma cabeça humana. O crânio foi despedaçado e uma matéria vermelha, viscosa, respingou em todas as direções na lama: o cérebro de Pierre Curie!”

Marie Curie ficou aniquilada. Seu marido, seu colega de trabalho, a única mente do seu calibre com quem jamais fora capaz de estabelecer uma relação imediata e próxima — tudo se perdera! Depois disso, durante algum tempo, ela conservou sua maneira habitual de fazer anotações em seu diário de laboratório: dirigindo-se a ele pelo nome e lhe fazendo perguntas.

Seu primeiro texto após a morte de Pierre começava: “Pierre Curie observou alguns anos atrás...” Mas ela não transformou o marido num objeto de culto: Marie Curie não tinha nenhuma religião e não pretendia criar uma a partir de sua profunda dor.

Pouco antes de o escândalo do caso de Marie e Paul Langevin estourar na imprensa, Marie Curie recebera um segundo Prêmio Nobel. Dessa vez de química, em homenagem à sua descoberta (com Pierre) dos novos elementos polônio e rádio. Depois que suas missivas de amor apareceram na imprensa, o comitê do Nobel enviou-lhe uma carta explicando que o prêmio não lhe teria sido concedido se eles tivessem tido conhecimento de tudo aquilo. A sugestão era óbvia, e a imprensa, para a qual a carta vazou, lhe fez eco: Marie Curie deveria abrir mão do prêmio, gentilmente (“como um cavalheiro”, nas palavras de um jornal). Esperava-se que não embarcasse o rei da Suécia aparecendo em Estocolmo para receber sua medalha.

Mas Marie Curie não era nenhum cavalheiro, e não tinha a menor intenção de se fazer passar por um. O que fez foi escrever de volta ao comitê do Nobel assinalando

que: “o prêmio foi concedido pela descoberta do rádio e do polônio. Acredito que não há conexão entre meu trabalho científico e os fatos da minha vida privada.” Ela pagara para ver: o prêmio não foi retirado. A premiação de Marie Curie com um segundo Prêmio Nobel de ciência em 1911 só seria igualada 61 anos depois, em 1972, pelo físico americano John Bardeen. Dessa vez ela decidiu que iria a Estocolmo receber sua medalha.

6ª AULA – USINA NUCLEAR

Objetivo: Nessa aula discutimos inicialmente sobre o que é uma Usina Nucleare que elas atuam como uma alternativa as limitações das fontes naturais renováveis (como os rios) e as não – renováveis (carvão); além de apresentarmos algumas vantagens e desvantagens referentes ao uso dessa matriz energética.

Conteúdo: Funcionamento de um reator nuclear, reação em cadeia.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a constituída de uma introdução, onde será abordado os tipos de matrizes energéticas existentes e as vantagens e desvantagens do uso da energia nuclear em relação às demais fontes de obtenção de energia elétrica. Essa introdução se dará por meio de uma aula expositiva, utilizando um data show. A segunda parte da aula será destinada para a leitura do texto e para a elaboração das respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas;

- Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.
- Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais;
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

QUESTIONÁRIO 06

QP01- Quais as vantagens na construção de uma Usina nuclear? e desvantagens?

QP02- Diante da suposição da instalação de uma usina nuclear próxima a sua comunidade, como você acredita que as pessoas reagiriam? Por quê?

QP03- Para você, produzir eletricidade por meio de elementos radioativos é um aspecto maléfico ou benéfico a respeito da radioatividade? Justifique.

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 06

FISSÃO NUCLEAR

Como a palavra sugere, fissão é a divisão, portanto fissão nuclear é a divisão de um núcleo em partes menores.

No isótopo de urânio-235 existe um equilíbrio muito delicado entre a repulsão dos prótons (força eletromagnética) e sua atração (força nuclear forte). Se o núcleo de urânio-235 for “alongado”, os prótons, por consequência, ficarão mais afastados uns dos outros. Quando isso acontece, a força nuclear forte perde seu alcance, que é muito curto, o que não acontece com a força eletromagnética que tem alcance infinito. Existe um tamanho crítico em que a força eletromagnética irá vencer a nuclear forte, já que os prótons estão muito longe uns dos outros, assim a repulsão eletromagnética irá dividir o núcleo. Esse alongamento pode ser provocado com o bombardeamento do núcleo por um nêutron. Quando isso ocorre, o núcleo original, por exemplo, poderá se dividir em dois núcleos menores e mais três nêutrons.

O processo de fissão pode gerar muitas combinações diferentes de elementos. No exemplo mostrado na figura VIII.1, o núcleo é bombardeado com um nêutron e, após a fissão, são ejetados três. O número de nêutrons ejetados nesse tipo de reação pode variar de um a quatro, ficando em uma média de 2,5 nêutrons ejetados para um bombardeado. O nêutron é ideal para esse tipo de reação porque não possui carga elétrica, e portanto, não será repelido ao se aproximar do núcleo.



Figura VIII.1 – fissão de um núcleo de urânio

REAÇÃO EM CADEIA

No exemplo da figura VIII.1, os três nêutrons resultantes da fissão do primeiro núcleo irão quebrar mais três núcleos, cada um deles irá liberar três nêutrons, cada nêutron irá quebrar outro núcleo, liberando três...

Logo, um nêutron pode fissionar vários núcleos. Isso porque em cada núcleo quebrado são liberados, em média, mais nêutrons do que foram bombardeados. Essa sequência é conhecida como reação em cadeia (Figura VIII.2).

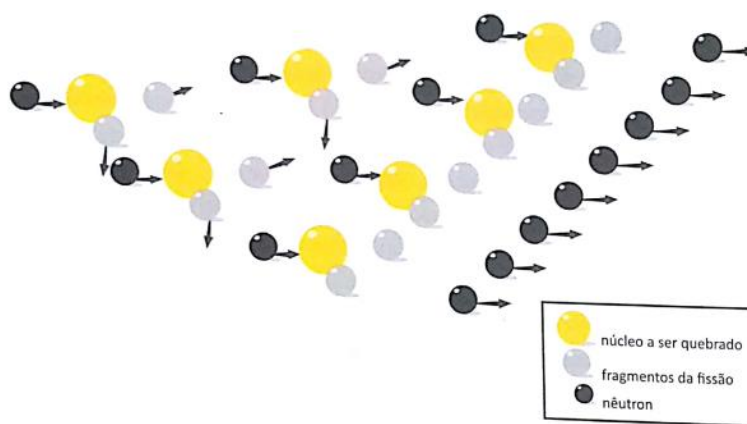


Figura VIII.2 – Reação em cadeia.

A origem da energia de uma reação em cadeia provém do fato de que a massa do núcleo original (antes de ser quebrado) é maior que a dos fragmentos combinados da fissão e dos nêutrons. A diferença de massa antes da reação e depois dela é convertida em energia, de acordo com a famosa equação de Einstein, $E = m \cdot c^2$, que descreve que certa quantidade de massa (m) pode ser transformada em uma quantidade de energia (E) igual à quantidade m multiplicada pela velocidade da luz (c) ao quadrado.

REATORES E USINAS NUCLEARES

Um equipamento em que se processa fissão nuclear é conhecido como reator nuclear. O primeiro foi construído por Enrico Fermi, sob as arquibancadas na Universidade de Chicago.

Em uma usina nuclear, a fonte de energia para vaporizar a água e movimentar a turbina da usina para que, pela indução eletromagnética, se gere energia elétrica –

é a fissão do urânio-235, que substitui o carvão utilizado em usinas termelétricas. Todo o complexo de geração de energia elétrica em uma usina nuclear é chamado de Central Térmica Nuclear. A figura VIII.5 mostra de maneira simplificada o complexo de uma Usina Nuclear.

Não existe diferença entre a energia elétrica gerada em uma usina hidrelétrica, termelétrica e usina nuclear. A diferença entre elas é a maneira de gerar essa energia, mas uma vez gerada, a energia elétrica é igual.

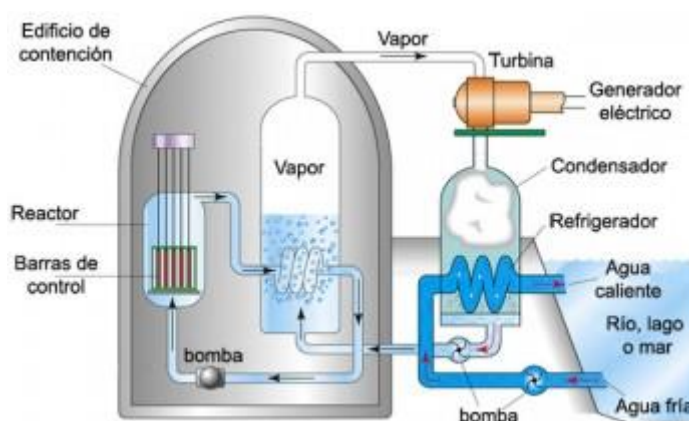


figura VIII.5 – Diagrama de uma Usina Nuclear.

A grande vantagem da opção nuclear está no fato de que não há emissão de gases estufa como nas termelétricas. Ainda, a energia gerada pela queima de 1200 kg de carvão pode ser produzida utilizando apenas 10g de urânio-235.

Dentro do reator existem as barras de combustível e as de segurança, as de combustível são principalmente urânio-238 enriquecidos com urânio-235, e as de segurança são feitas de materiais que absorvem nêutrons, como o cádmio e o boro.

Passa por dentro do reator um líquido, normalmente água, que irá promover a transferência de parte da energia gerada pela fissão dentro do reator para movimentar a turbina, gerando energia elétrica. A água que entra no reator é mantida em alta pressão para que não vaporize. Essa água aquecida pela fissão aquece um segundo sistema a uma menor pressão, a água vaporiza, e este vapor de água movimenta a turbina que gera energia elétrica por indução eletromagnética. Para que nenhuma radioatividade chegue à turbina é que são usados dois sistemas de água separados.

Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com o problema dos resíduos nucleares produzidos a partir da geração de energia nuclear.

Conteúdo: Lixo nuclear, destino dos resíduos radioativos

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a constituída pela leitura do texto e a segunda sendo disponibilizada para a elaboração das respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas

manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;

- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos;
- Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

QUESTIONÁRIO 07

QP01- Na sua opinião o lixo nuclear é um problema para a sociedade moderna? Em caso afirmativo, quais as medidas você acredita serem cabíveis para solucioná-lo?

QP02-Você conhece algum caso onde o lixo nuclear foi descartado de maneira incorreta? Qual a consequência disso?

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 07

A diminuição do perigo oferecido pelos resíduos é definida por comparação com o perigo oferecido pelo minério de urânio na forma como é retirado da mina (veja o gráfico abaixo).



O perigo do lixo de alto nível diminui vertiginosamente conforme ele sofre decaimento natural. Uma maneira de quantificar esta mudança é comparando o perigo potencial combinado de todos os produtos radioativos no lixo em questão com o perigo apresentado por igual volume de minério de urânio na forma que se encontra quando retirado da terra. Como mostra o gráfico, o resíduo de alto nível, no seu primeiro ano de estocagem, é cerca de mil vezes mais perigoso do que o minério de urânio. Mas, depois de mil anos de estocagem, o decaimento radioativo do lixo fez seu perigo cair para 1% de seu valor inicial.

Os 413 reatores nucleares comerciais do mundo, que produzem cerca de 5% do total da energia comercializada do planeta, criaram aproximadamente 10 mil toneladas de combustível irradiado em 1994, elevando o acúmulo de resíduos para 130 mil toneladas — duas vezes mais do que em 1987. Um quarto dessa quantidade encontra-se nos Estados Unidos, com uma radioatividade de mais de 20 bilhões de curies. No ano 2000 a quantidade desse lixo poderá ser de mais de 190 mil toneladas.

**Acúmulo de combustível irradiado (em toneladas)
proveniente de instalações nucleares comerciais
em 1985 e 1990, com projeções oficiais para o ano 2000**

País	1985	1990	2000
Estados Unidos	12 601	21 800	40 400
Canadá (*)	9 121	17 700	33 900
Ex-União Soviética	3 700	9 000	30 000
França (**)	2 900	7 300	20 000
Japão	3 600	7 500	18 000
Alemanha	1 800	3 800	8 950
Suécia	1 330	2 360	5 100
Outros (**)	5 939	14 540	36 715
Total (**)	40 991	84 000	193 065

Fonte: Lantzen, 1992, p. 79.

(*) O total canadense é proporcionalmente mais alto devido ao uso de urânio natural em vez de urânio enriquecido (reator construído com tecnologia Candu).

(**) Os totais da França e do Reino Unido (listados na categoria "Outros") não incluem 16 500 e 25 000 toneladas, respectivamente, produzidas por reatores de dupla utilização, militar e civil. O total também não inclui essas 41 500 toneladas adicionais.



Nas piscinas de refrigeração, o combustível irradiado encontra-se depositado em forma de barras. Sua radiação ionizante cria uma luminosidade visível.

A maior parte do combustível irradiado existente nos diferentes países encontra-se armazenada em grandes piscinas de água refrigerada situadas ao lado dos reatores nucleares, à espera de um local definitivo. A refrigeração se faz necessária por causa da liberação de calor.

O combustível irradiado das usinas nucleares são resíduos de alto nível. A Comissão Nuclear de Regulamentação, órgão internacional que regula o uso de radiação e a deposição de seu lixo, exige que esse resíduo seja guardado na forma sólida, inerte, não-combustível e não-volátil.

Resíduo de alto nível é a mistura de radionuclídeos criados pela desintegração de átomos de urânio. Vários deles com meia-vida muito longa, como é o caso do estrôncio-90 e do célio-137. Essa mistura, que também inclui o iodo e o tecnécio, responde por até 97% da atividade do combustível que foi usado no reator. Embora os resíduos de baixo nível sejam os que contêm radionuclídeos com meia-vida de trinta anos ou menos, às vezes, resíduos constituídos de nuclídeos de meia-vida muito longa são incluídos nessa categoria. Isso porque são baixas a concentração e a atividade desses nuclídeos. Os resíduos de baixo nível são liberados no ambiente ou, quando na forma sólida, enterrados em áreas onde as condições geológicas e hidrológicas limitam a migração dos compostos radioativos. Finalmente, resíduos contaminados com elementos transurânicos são sólidos com quantidades significativas de radionuclídeos de meia-vida longa como o plutônio, emissores de partículas alfa. Esses resíduos incluem tecidos, papéis, plásticos, ferramentas e equipamentos; mesmo quando os níveis de emissão de radioatividade e calor são baixos, eles necessitam de estocagem e manuseio especiais.

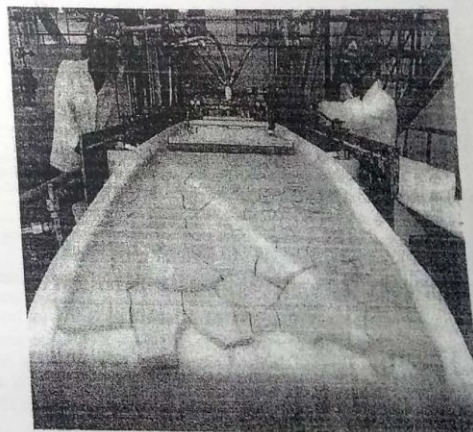
O lixo das usinas de Angra dos Reis

As três usinas term nucleares brasileiras pertencem a Furnas, do grupo Eletrobrás, e cada uma é composta de um reator. A primeira usina, Angra I, tem capacidade de geração de 627 megawatts

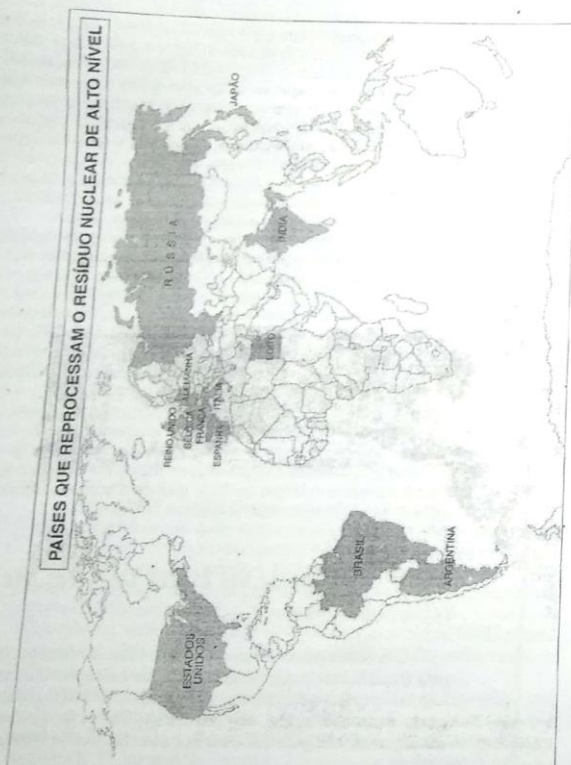
(1 megawatt = 1 milhão de watts), o suficiente para iluminar a cidade do Rio de Janeiro. O reator de Angra I abriga material radioativo com atividade de cerca de 1 bilhão de curies.

O reator de Angra II está concluído em 80%, mas sua construção continua em ritmo lento. Angra III tem o projeto e a fundação já terminados. As peças de Angra II e III estão estocadas na Alemanha e no Brasil. Aqui, elas ficam na Nuclen (Nuclebrás Engenharia S/A), no município de Itaguaí, a 100 quilômetros de Angra dos Reis.

Para o funcionamento do reator nuclear de Angra I são necessárias cerca de 80 mil toneladas de minério de urânio por ano, as quais fornecem resíduos de mineração. O rejeito anual proveniente do reator inclui resíduo de alto nível (7 toneladas) e resíduo de baixo nível (50 toneladas). O lixo de alto nível encontra-se guardado em piscinas de refrigeração instaladas junto ao reator. O de baixo nível está estocado na antiga pedreira da usina.



Produção do yellow cake ("bolo amarelo"), combustível que alimenta a usina de Angra I.



O reprocessamento do lixo nuclear

O reprocessamento foi desenvolvido tanto para extrair o plutônio (formado no reator ao lado dos produtos da fissão nuclear), utilizado para a produção da bomba atômica, como para recuperar o urânio não consumido no reator. Esse urânio pode ser enriquecido e novamente usado como combustível. O lixo nuclear do reprocessamento também é resíduo de alto nível, já que dele fazem parte radionuclídeos como o amerício e o neptúncio, chamados transurânicos, que foram formados durante o bombardeamento de nêutrons da fissão nuclear. Muitos desses radionuclídeos possuem meia-vida longa, tornando lento o decaimento do lixo do reprocessamento.

Em 1980, todas as instalações de reprocessamento do mundo tinham, juntas, capacidade para reprocessar 1 150 toneladas de urânio por ano. Em 1985, esse valor passou a 5 075. Essas instalações encontram-se principalmente na América do Norte e Europa.

O lixo da extração do minério de urânio

As minas de urânio e as instalações processadoras do minério produzem lixo mais volumoso, embora menos concentrado, que o da usina termonuclear. Apenas três das minas de urânio de Wismut (Alemanha), situadas ao longo da fronteira com a República Tcheca, acumularam mais de 150 milhões de toneladas de rejeitos da mineração, além dos líquidos contaminados, que somam outros milhões de toneladas.

As reservas estratégicas de tório no Brasil: o lixo de Itu e do planalto de Poços de Caldas

Bem antes da construção das usinas nucleares em Angra dos Reis (RJ) já se produzia lixo radioativo no Brasil: é o lixo radioativo do tratamento químico da monazita, que surge da extração de terras-raras, a partir da areia das praias do Espírito Santo. Este lixo tem aspecto pastoso porque contém água e é denominado Torta II. Ele encontra-se

83 reatores termonucleares comerciais de pequeno porte, em todo o mundo, já foram fechados após trabalharem, em média, menos de 17 anos e outros tantos fecharão antes do final do século.

O lixo nuclear de uso militar

Os Estados Unidos e a extinta União Soviética são detentores das maiores quantidades de lixo nuclear bélico. Da década de 40 até 1990, os Estados Unidos produziram 60 mil ogivas nucleares em 100 instalações espalhadas por 32 estados. Existem cerca de 100 mil toneladas de plutônio e 500 toneladas de urânio altamente enriquecido, quer armazenadas para produção de armamentos, quer como carga útil de ogivas. O estoque da extinta União Soviética era da mesma proporção, o das demais potências nucleares — China, França e Reino Unido — são menores.

A produção de 1 quilograma de plutônio gera 1 300 litros de resíduo líquido de alto nível, mais de 200 toneladas de resíduos de baixo nível e quase 10 milhões de litros de água de refrigeração contaminada. Estima-se que os reatores nucleares militares dos Estados Unidos já tenham produzido 1,4 bilhão de curies na forma de resíduo de alto nível.

O plutônio é produzido no reator, segundo a reação:



Entre 1945 e 1989, foram realizados testes com mais de 1 800 ogivas em 35 locais diferentes em todo o mundo. Um quarto desses testes foi atmosférico, contaminando o ar com mais detritos radioativos do que o acidente de Chernobyl. Segundo estimativas de 1977 da ONU, essa contaminação atmosférica pode ter causado 86 mil nascimentos de crianças defeituosas e 150 mil mortes prematuras. Nas proximidades do Casaquistão, onde foram feitos testes nucleares antes de 1963, constatou-se, em 1988, que a população desenvolvia 70% mais casos de cânceres que a média do país.

No Brasil, em abril de 1988, o então presidente Sarney inaugurou o Projeto Aramar, gerenciado pela Marinha. Esse projeto prevê a produção de urânio enriquecido e o desenvolvimento de um reator nuclear de 11 megawatts, visando à construção de um submarino de



No reator militar da reserva de Hanford (Washington, EUA), encontram-se tanques de aço contendo grande quantidade de resíduos líquidos de alto nível, provenientes das indústrias de armamentos. A reserva de Hanford, perto da costa noroeste do Pacífico, tem emitido para o ar e a água enorme quantidade de radionuclídeos, contaminando as pessoas com quantidade de radiação 1 200 vezes maior do que aquela considerada segura pela legislação federal.

propulsão nuclear. (Com o uso de reatores nucleares na propulsão, os submarinos podem permanecer submersos por longo tempo). Em Aramar, o enriquecimento de urânio é de 20% do isótopo 235. O lixo produzido encontra-se no município de Iperó, a 120 quilômetros da capital do estado de São Paulo.

Os submarinos nucleares depois de descomissionados custam bilhões de dólares para serem desmontados. Na Rússia, eles estão literalmente enferrujando.

Contaminação e irradiação

Tanto os raios X quanto os raios gama, aos quais mais comumente podemos estar expostos, não tornam radioativos os materiais ou irradiados os seres humanos. Entretanto, se uma pessoa ingerir, inalar ou sofrer contaminação com radionuclídeos, aí sim fica

Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com os acidentes ocorridos na Usina Nuclear de Chernobyl e o acidente de Goiânia, ambos na década de 80 e que deixaram o mundo em alerta sobre o risco nuclear.

Conteúdo: História dos acidentes ocorridos na Usina Nuclear de Chernobyl e em Goiânia.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a constituída pela leitura de um texto que aborda os acidentes de Windscale, na Inglaterra, em outubro de 1957, o de Three Mile Island em 1979, o de Chernobyl em 1986 além do acidente de Goiânia, em 1987. Na segunda parte os alunos assistiram a um trecho do documentário Linha Direta – Justiça, exibido em 2007, no qual é reconstituído em detalhes como ocorreu a contaminação de centenas de pessoas pelo césio – 137 e o preconceito que as vítimas do césio sofreram. Após assistirem o vídeo, os alunos receberam um questionário a ser respondido até o final da aula.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;

- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO 08

QP01- Em sua opinião um acidente como o de Goiânia corre o risco de acontecer novamente? Por quê?

QP02- Que conclusões podemos tirar desses acidentes? Ambos poderiam ter sido evitados?

QP03- Quais as semelhanças e diferenças entre esses dois acidentes?

QP04- Ainda hoje, os envolvidos nos dois acidentes sofrem preconceito e discriminação por parte da população. Qual a sua posição a respeito desse comportamento? Justifique

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 08

No dia 1º de outubro de 1987, os brasileiros tomaram conhecimento de um acidente radioativo ocorrido na cidade de Goiânia, no Estado de Goiás, através dos jornais. Um aparelho de radioterapia em desuso tinha sido levado no dia 13 de setembro por dois catadores de papel de um prédio abandonado e, 6 dias depois, vendido a um ferro – velho. O acidente não teria sido tão trágico se a fonte de céσιο-137, um cilindro metálico de 3,6 cm de diâmetro por 3,0 cm de altura, contida no aparelho, não tivesse sido violada. No interior do cilindro havia pó de cloreto de céσιο empastilhado juntamente com um aglutinante e a atividade da fonte, na época da violação, era de 1375 curies.

No dia 13 de setembro um dos catadores de papel teve vômito que ele mesmo atribuiu ao fato de ter comido manga com coco, e no dia 15 ele procurou assistência médica por causa de queimaduras na mão e no braço. No dia 23, esse rapaz foi internado no Hospital Santa Rita onde permaneceu por 4 dias, quando foi transferido para o Hospital de Doenças Tropicais. O outro catador de papel também teve vômitos no dia 13, e no dia 14 do mês seguinte teve que amputar o antebraço direito.

Os dois catadores de papel venderam parte do equipamento por Cz\$ 1500.00, no dia 19 de setembro, ao dono de um ferro – velho, que levou a maior parte da fonte para a sala de sua casa no dia 21 de setembro. Uma luz azulada, proveniente do misterioso pó contido na fonte, encantou as pessoas que a violaram. O dono do ferro – velho distribuiu um pouco desse pó que parecia purpurina a parentes e amigos, dando início a contaminação pelo cézio – 137 de aproximadamente 250 pessoas e uma dezena de localidades. O dono do ferro – velho afirmou em uma de suas primeiras entrevistas que esteve com a fonte durante 8 dias.

Maria Gabriela, a esposa do dono do ferro – velho, teve a intuição de que o mal – estar que seus familiares também passaram a sentir poderia ser devido ao pedaço da fonte guardado dentro de sua casa. Auxiliada, então, por um dos empregados do ferro – velho, levou o pedaço da fonte dentro de um saco plástico, em um ônibus, para o Centro de Vigilância Sanitária, no dia 28 de setembro, dizendo “Meu povo está morrendo”. O médico do Centro, após vários diagnósticos, solicitou a presença de um físico, desconfiando que os sintomas descritos fossem consequência de contaminação por material radioativo.

No dia 29 de setembro, às 15 horas, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) foi avisada do acidente, logo após a confirmação da suspeita. O diretor do departamento de instalações nucleares da CNEN chegou a Goiânia na madrugada do dia 30, juntamente com mais dois técnicos da CNEN, acionando, a partir de então, um plano de emergência. No dia 1º de outubro seis pacientes foram enviados ao Hospital Naval Marcílio Dias no Rio de Janeiro, e no dia 3, mais quatro.

A primeira vítima, Maria Gabriela Ferreira, com 37 anos de idade, que havia entrado em contato com o cézio – 137 pela primeira vez no dia 21 de setembro, quando foi examinada em um hospital porque estava com vômitos e diarreia, morreu no dia 23 de outubro de 1987. No mesmo dia, horas mais tarde, foi a vez de sua sobrinha, Leide das Neves Ferreira, uma menina de apenas 6 anos, que passou a purpurina pelo corpo e ingeriu um pouco de pó de cézio – 137, ao segurar o pão que

comia com a mão contaminada, no dia 24 de setembro. Nos dias 27 e 28 de outubro morreram, respectivamente, Israel Batista dos Santos (22 anos) e Admilson Alves de Souza (18 anos), funcionários do ferro – velho que manusearam o equipamento no dia 19 de setembro.

Infelizmente, acidentes com fontes radioativas tem ocorrido em diversas partes do mundo. Entre eles merece ser citado o acidente com uma fonte de cobalto – 60, de um aparelho de radioterapia, que aconteceu em Juarez no México, em dezembro de 1983, e que só veio a ser descoberto, por acaso, um mês depois. Essa fonte com uma atividade, na época de 450 curies, era constituída de 6010 micrométricas pastilhas metálicas de cobalto – 60. As consequências desse acidente foram menos sérias que as de Goiânia porque a fonte não pôde ser transformada em pó, além de sua atividade ser mais baixa. Ali também o aparelho foi levado de um depósito de hospital a um ferro – velho, onde foi desmantelado, e todas as pastilhas espalhadas. Três fundições, duas no México e uma nos Estados Unidos, receberam sucatas desse ferro – velho e transformaram – nas em braços de aço e pés de mesa, que foram comercializados. Felizmente, nesse acidente não houve nenhuma morte, e em outubro de 1987, um rapaz ainda jovem trabalhador do ferro – velho, continuava estéril e três mulheres irradiadas na época deram a luz a crianças saudáveis.

Além dos acidentes radioativos, outros têm ocorrido em usinas nucleares. Entre os mais sérios, em ordem cronológica, merecem ser citados o de Windscale, na Inglaterra, em outubro de 1957, o de ThreeMileIsland, nos Estados Unidos, em março de 1979 e finalmente, o mais sério de todos, o de Chernobyl, na União Soviética, em abril de 1986.

A primeira anormalidade no reator militar número 1 de Windscale tinha sido detectada através de medidas rotineiras de concentração de radionuclídeos no ar, que estava 10 vezes acima do valor normal. Estima – se que na ocasião houve liberação de radionuclídeos na atmosfera com atividade superior a 32 mil curies, principalmente iodo – 131 e telúrio – 131.

Hoje, tem – se conhecimento de que o núcleo do reator número 2 da Central Nuclear de Three Mile Island derreteu muito além do que se imaginou na ocasião. Nesse acidente, que poderia ter sido bastante grave, as consequências não foram tão sérias, uma vez que pouca radiação foi liberada na atmosfera, isto é, cerca de 120 curies.

No acidente do reator número 4 da central nuclear de Chernobyl foram liberados na atmosfera radionuclídeos com mais de 43 milhões de curies de atividade, contaminando quase toda a Europa. Após o acidente, o prédio do reator foi todo concretado e acabou transformando – se em um mausoléu. Através de alimentos importados, as consequências desse acidente acabaram por nos atingir.

Em fins de junho de 1986, dois meses após o acidente no reator de Chernobyl, alguns brasileiros estavam com muitas duvidas. Entre elas, a mais comum era passar ou não as férias de julho na Europa. Para alguns eram as férias projetadas durante alguns anos, economizando, e para outros, uma oportunidade única, talvez, na vida. A partir de agosto, com a falta de leite no mercado nacional, houve a necessidade de importação do produto. Acontece que o leite importado foi o europeu e entre outros, o leite irlandês, dos mais contaminados. Com isso, as dúvidas e as preocupações dos brasileiros voltaram a crescer. E com razão, pois havia uma total contradição nas notícias. As informações emitidas por órgãos governamentais, ao contrário de outras, era de que esse leite não fazia nenhum mal. Entretanto, em uma das entrevistas aos jornais, um funcionário de um órgão do governo chegou a dizer: “ Que bom que não tenho netos que precisem desse leite”.

Quase dois anos depois surge novamente a notícia de carne contaminada na época do acidente de Chernobyl, e que está em vias de ser comercializada! E assim começa tudo de novo, com proíbe, não proíbe, faz ou não faz nenhum mal.

Link do documentário *LinhaDireta* – *justiça*:
<https://www.youtube.com/watch?v=cO2g_XVC5XY&t=1s>

9ª AULA– BOMBA ATÔMICA E O EXPERIMENTO TRINITY

Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com o experimento Trinity , o qual culminou na produção das bombas atômicas de Hiroshima e Nagazaki.

Conteúdo: O experimento Trinity e o lançamento das bombas de Hiroshima e Nagazaki.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a constituída por uma breve introdução sobre o que foi o experimento Trinity e, posteriormente pela leitura do texto. Na segunda parte foi disponibilizada para a elaboração das respostas do questionário.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

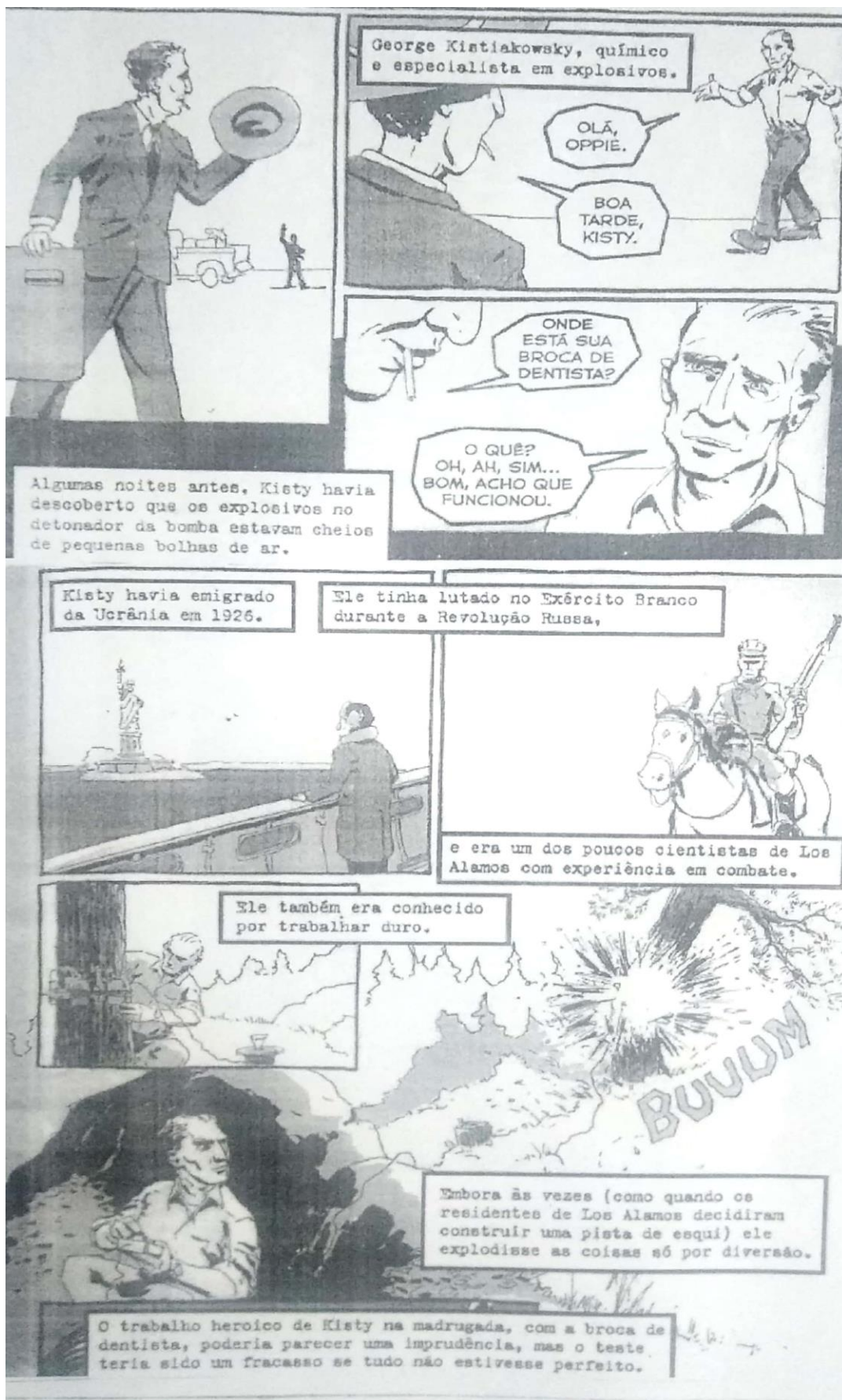
- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO 09

QP01- O que é uma bomba atômica? Por que ela se diferencia de outras bombas?

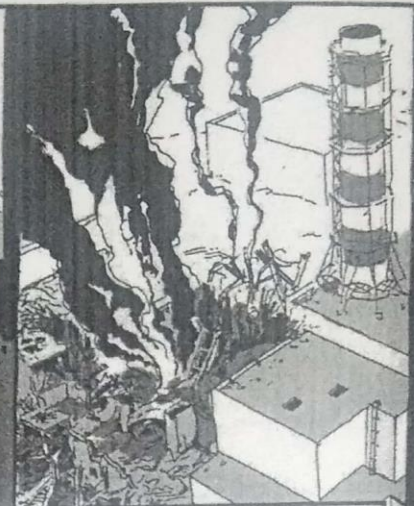
QP02- Na sua opinião, a ciência possui um caráter benéfico, maléfico ou neutro para o ser humano? Justifique

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 09



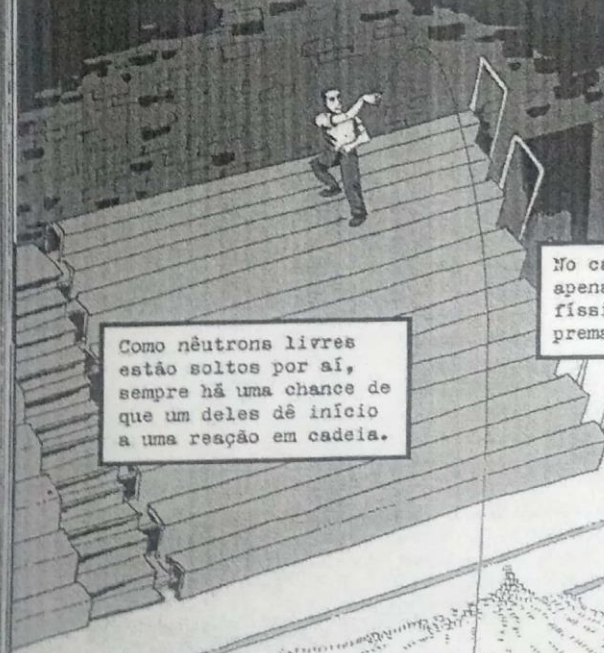
Lembre-se de que o urânio 235 e o plutônio 239 são incrivelmente instáveis.

Como os dominós na quadra de basquete, eles poderiam tombar acidentalmente, desencadeando a reação antes que a cadeia estivesse toda montada.



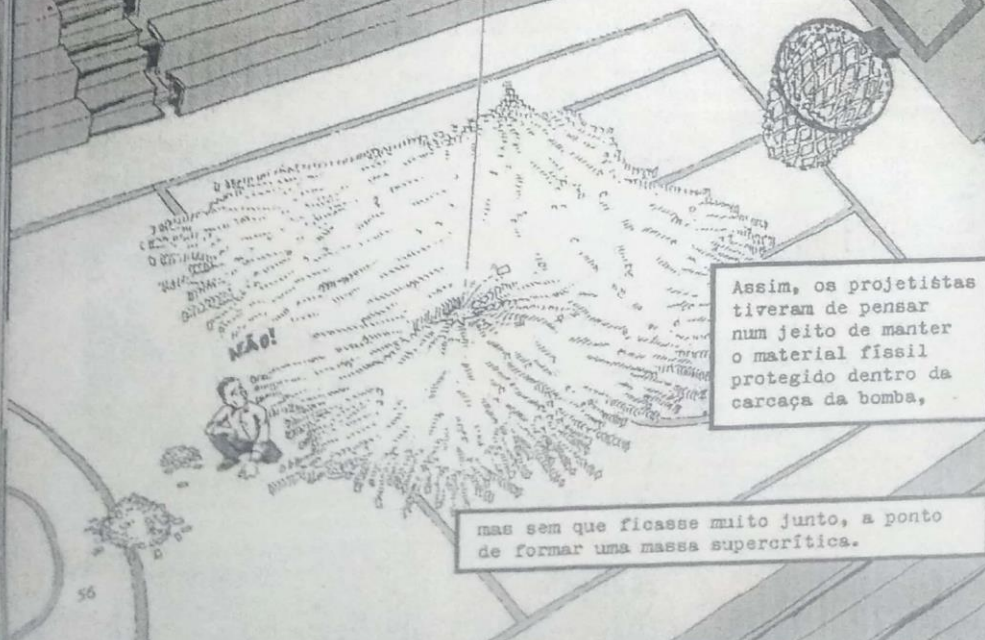
No caso dos dominós, isso teria sido apenas irritante, mas, com material fissil, uma reação em cadeia prematura seria devastadora.

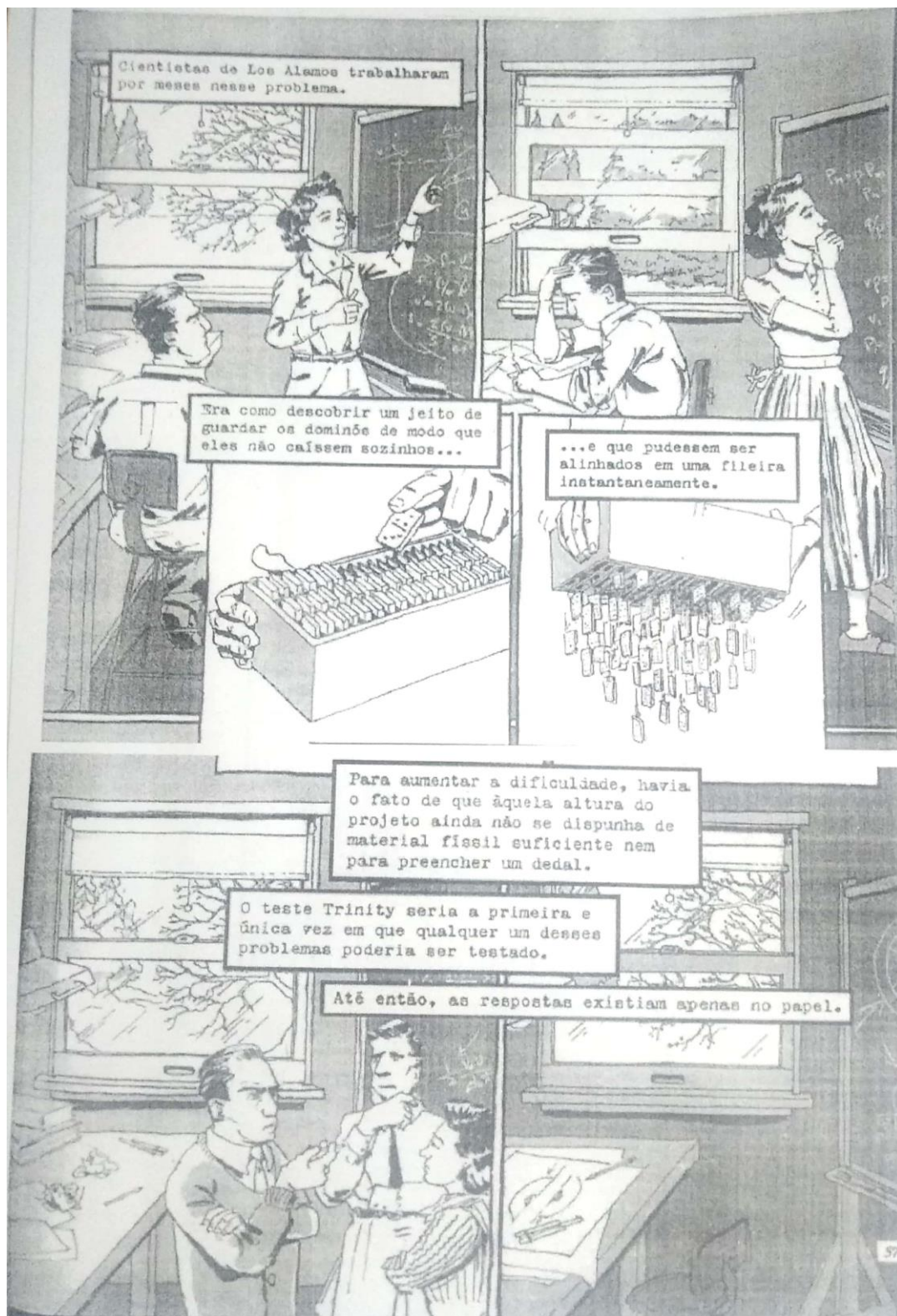
Como nêutrons livres estão soltos por aí, sempre há uma chance de que um deles dê início a uma reação em cadeia.

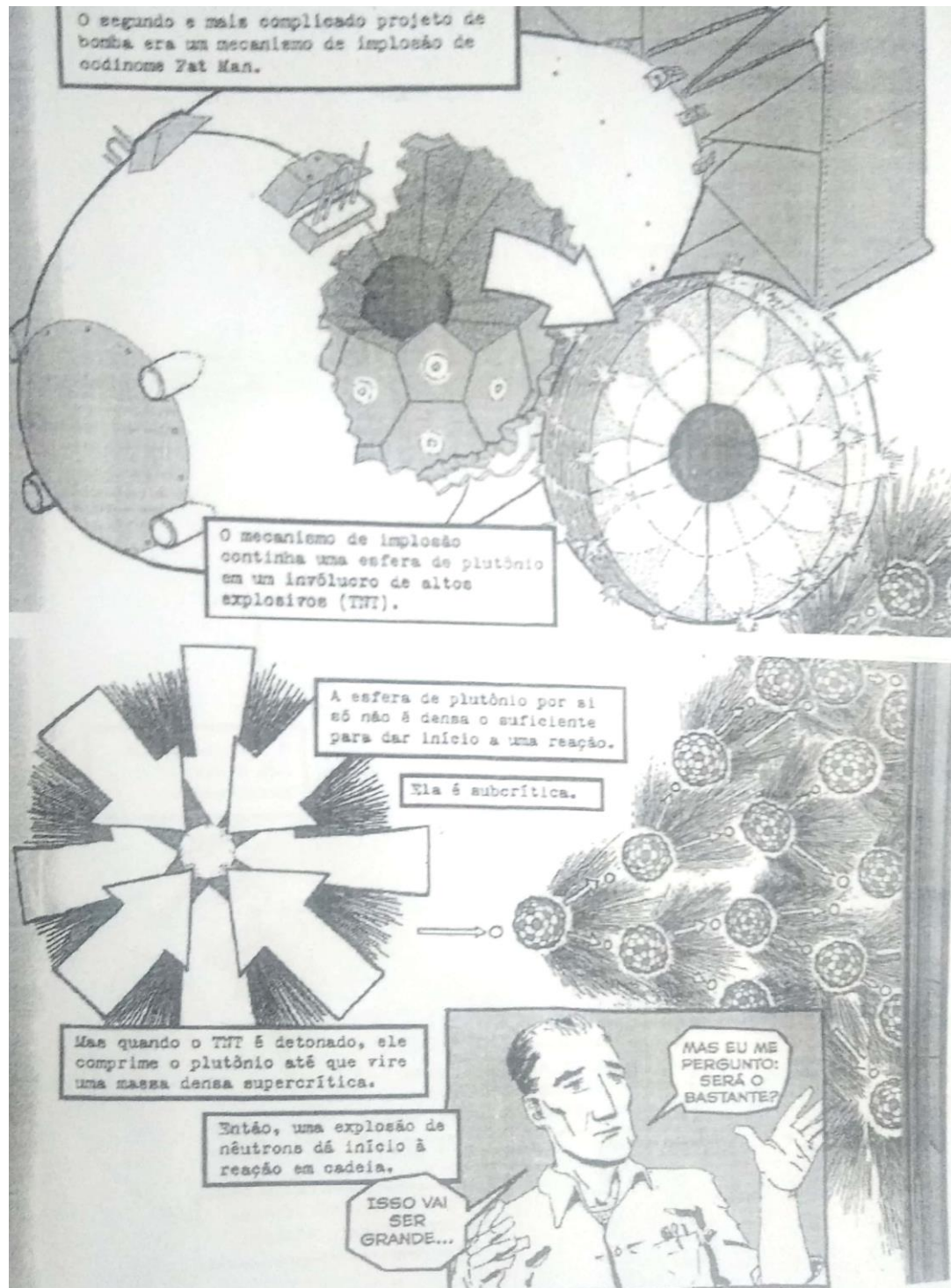


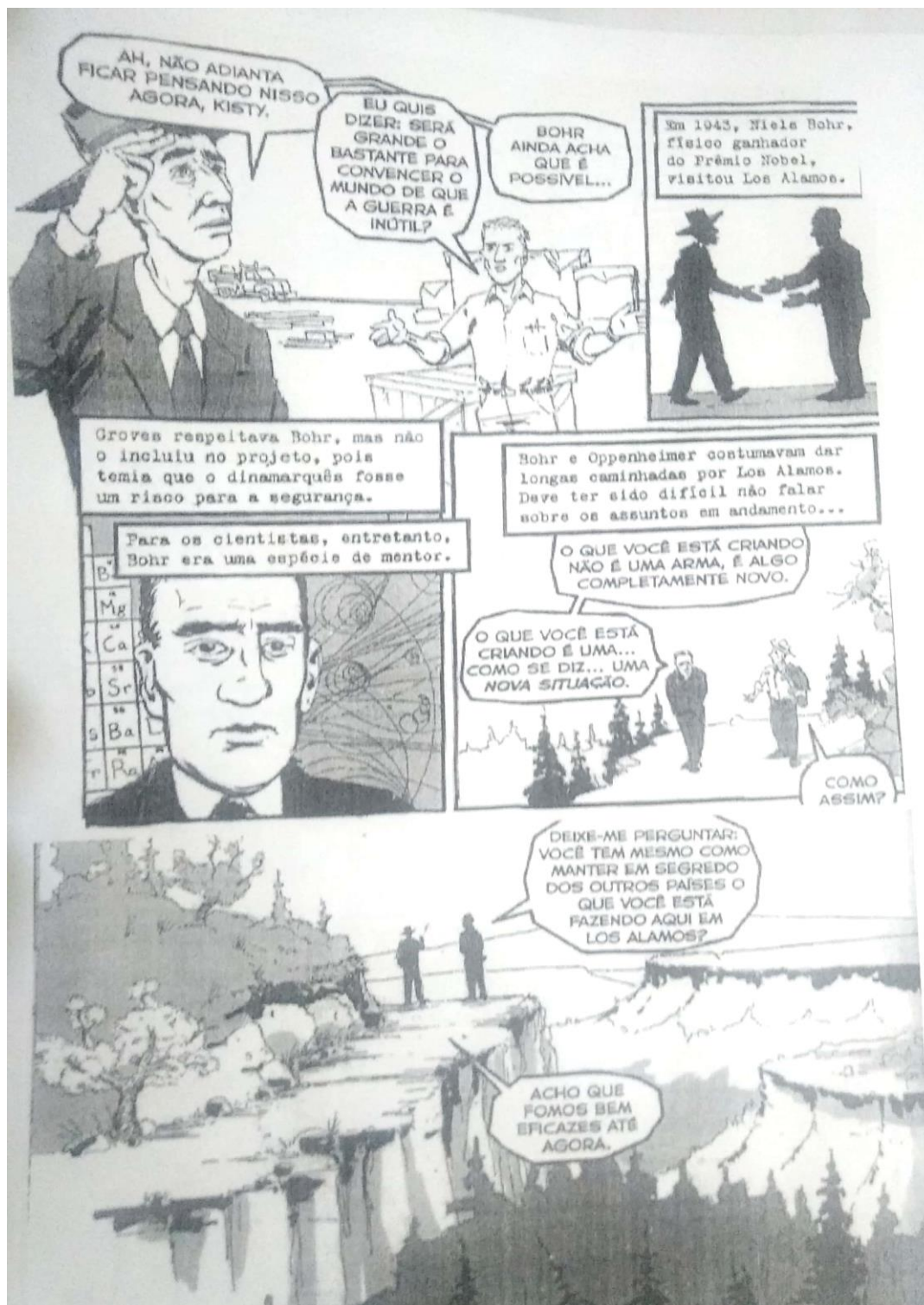
Assim, os projetistas tiveram de pensar num jeito de manter o material fissil protegido dentro da carcaça da bomba,

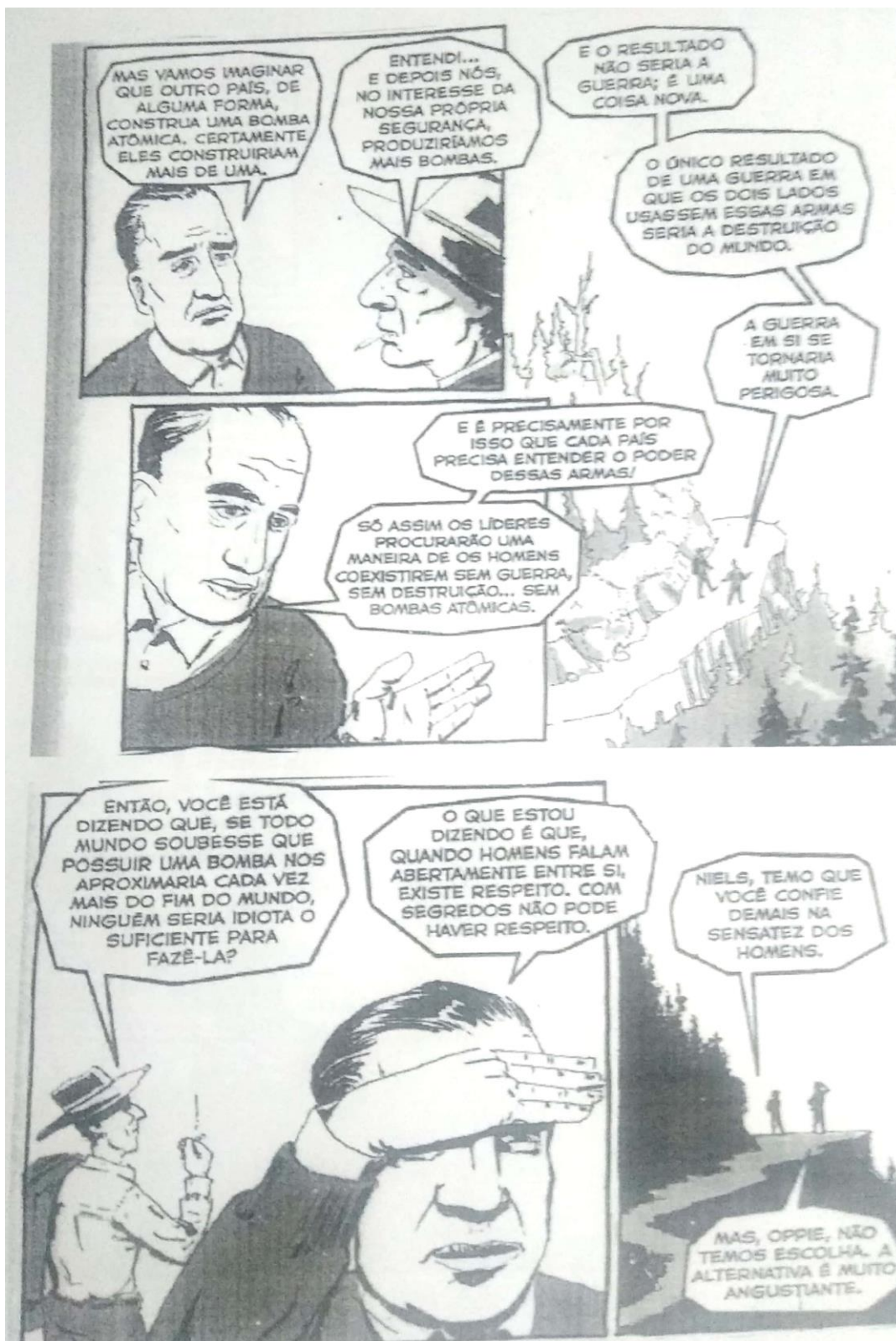
mas sem que ficasse muito junto, a ponto de formar uma massa supercrítica.



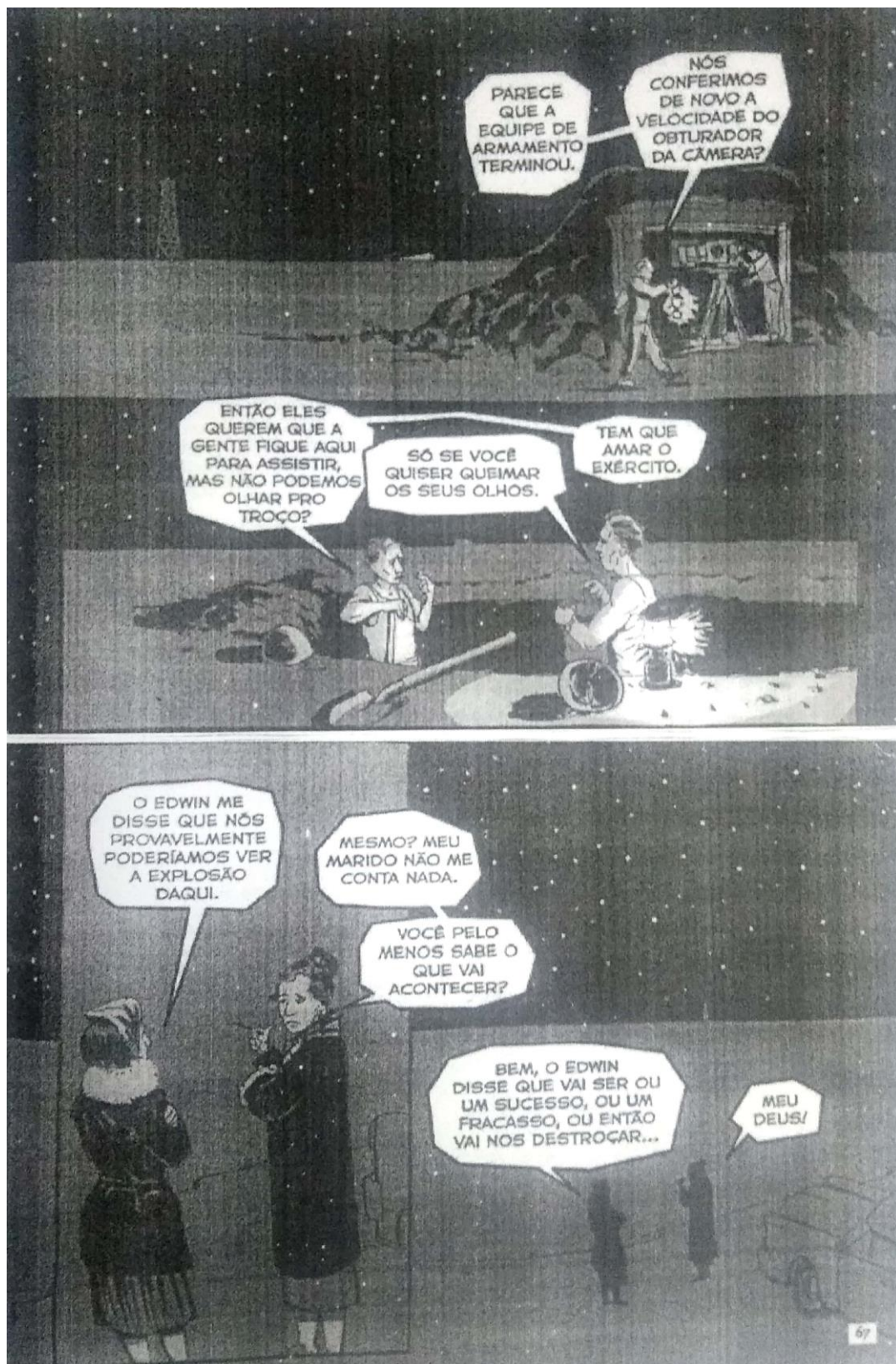


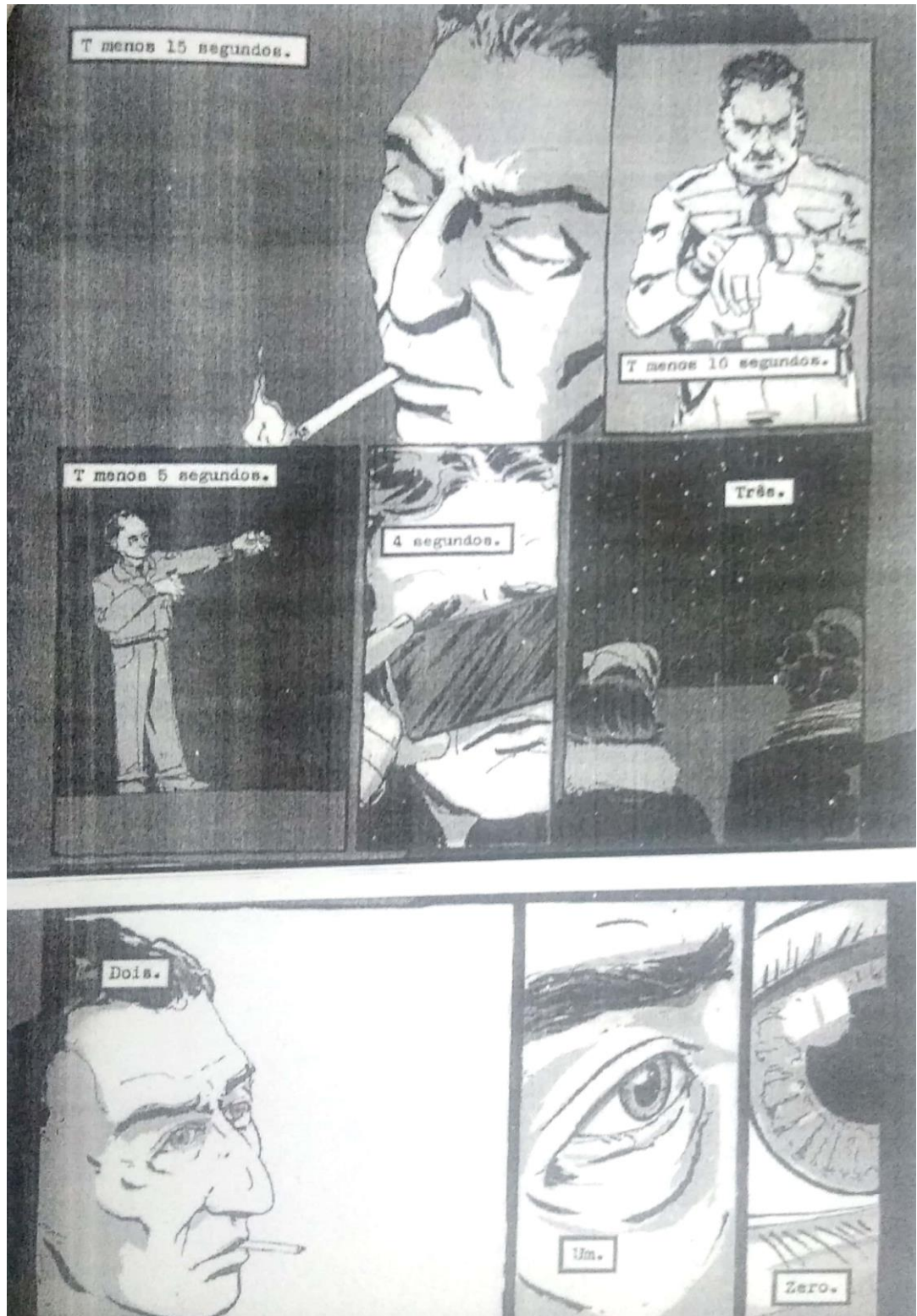


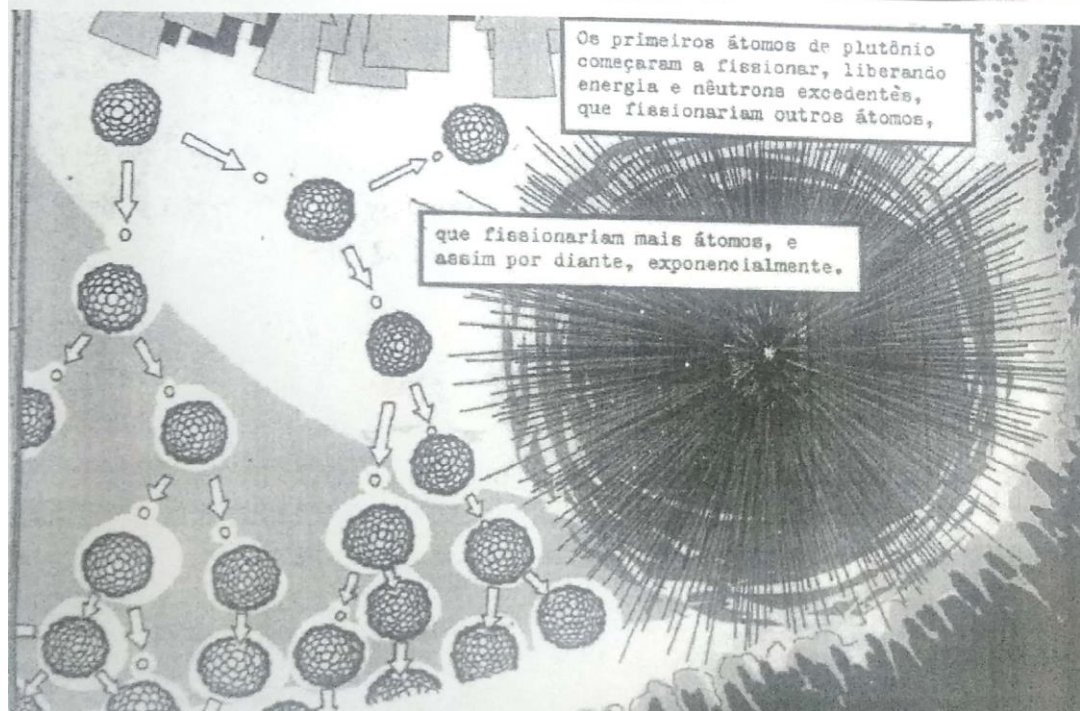
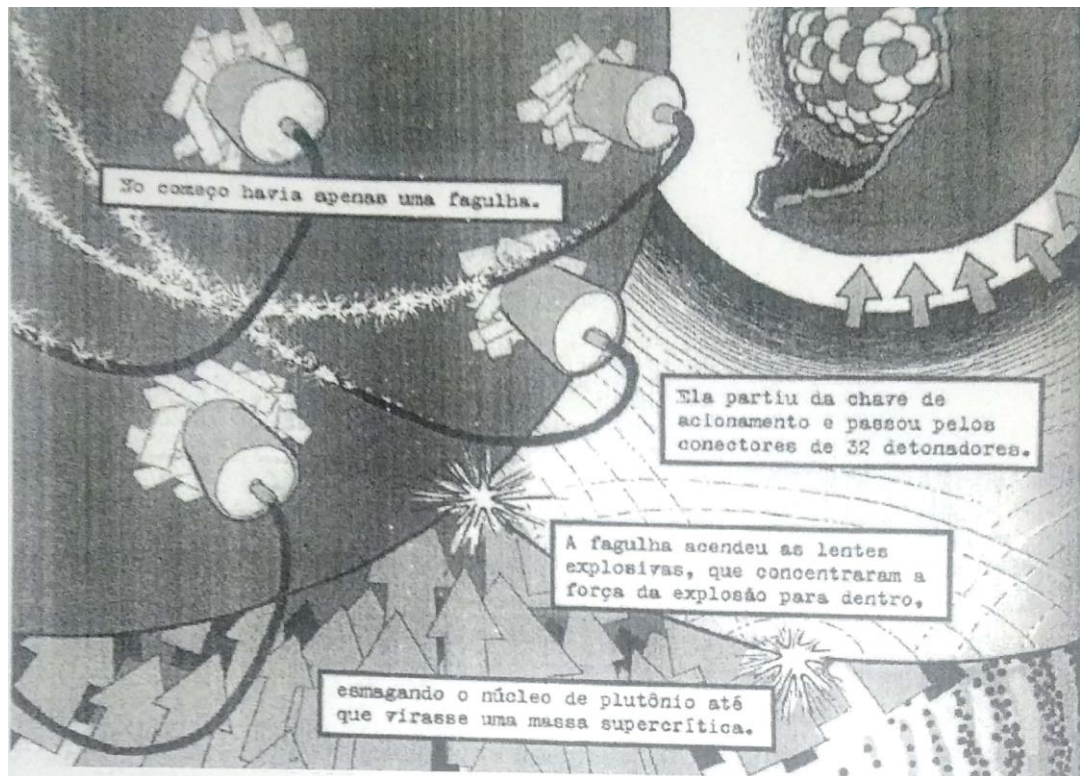


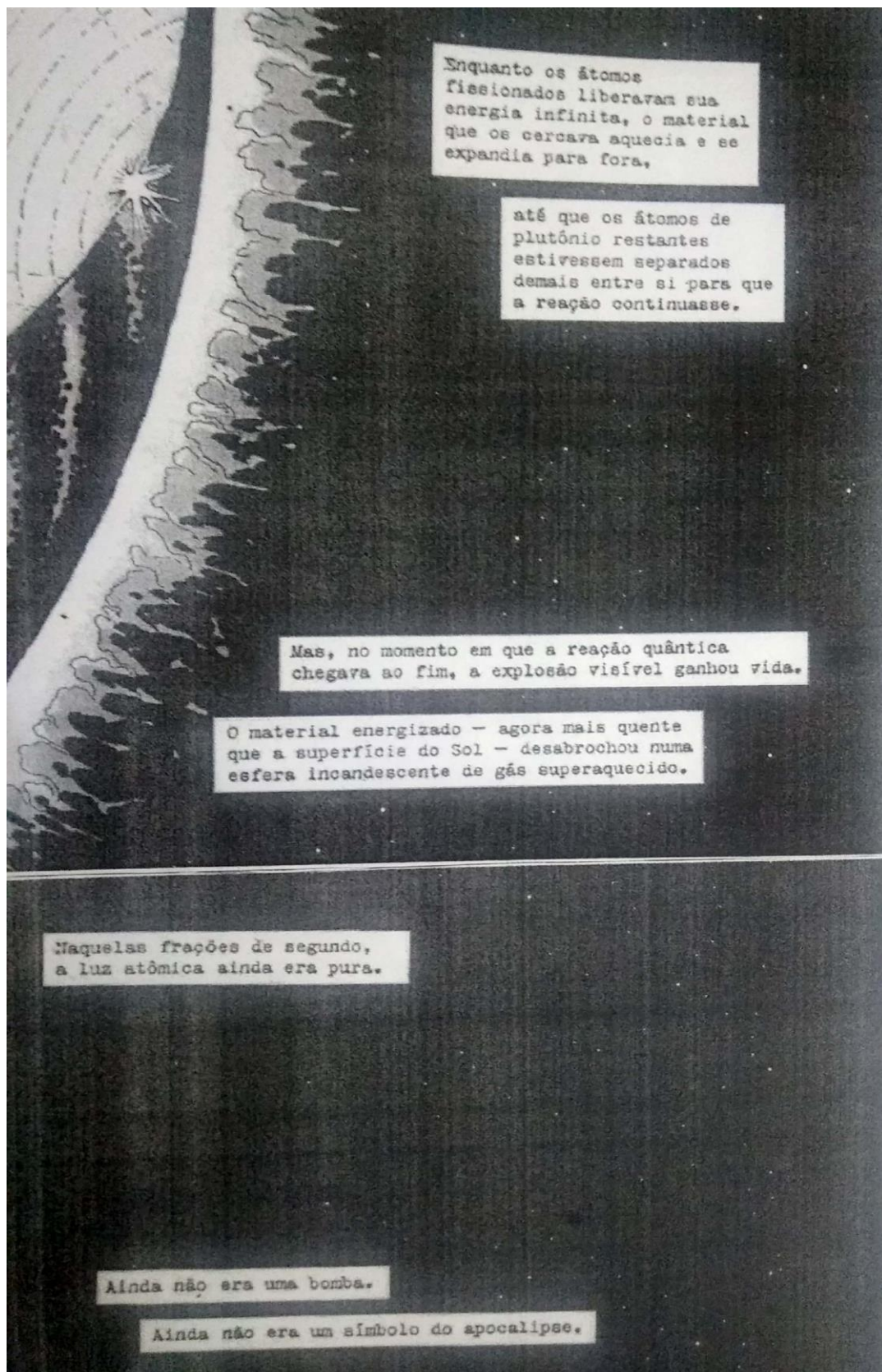




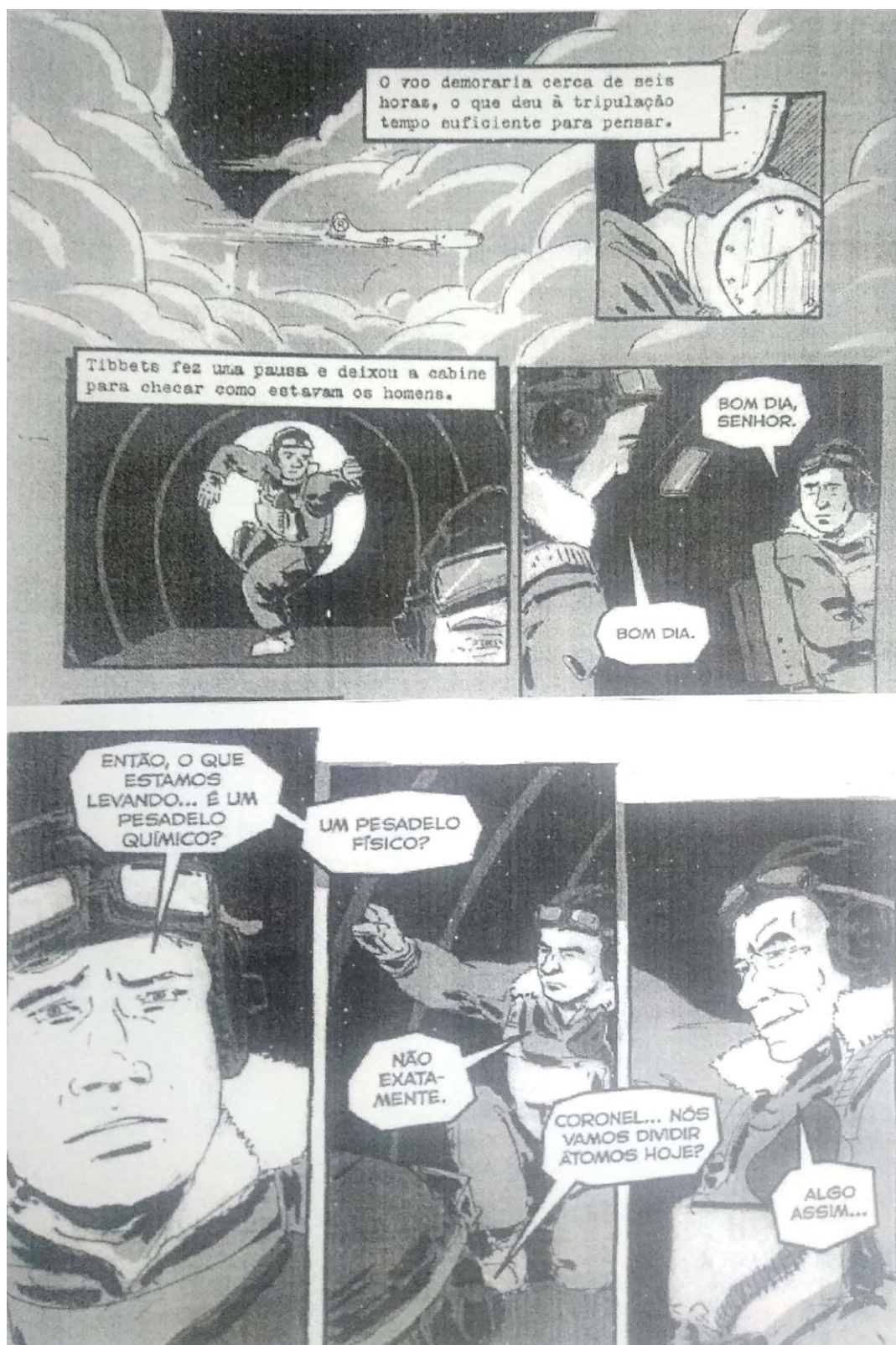




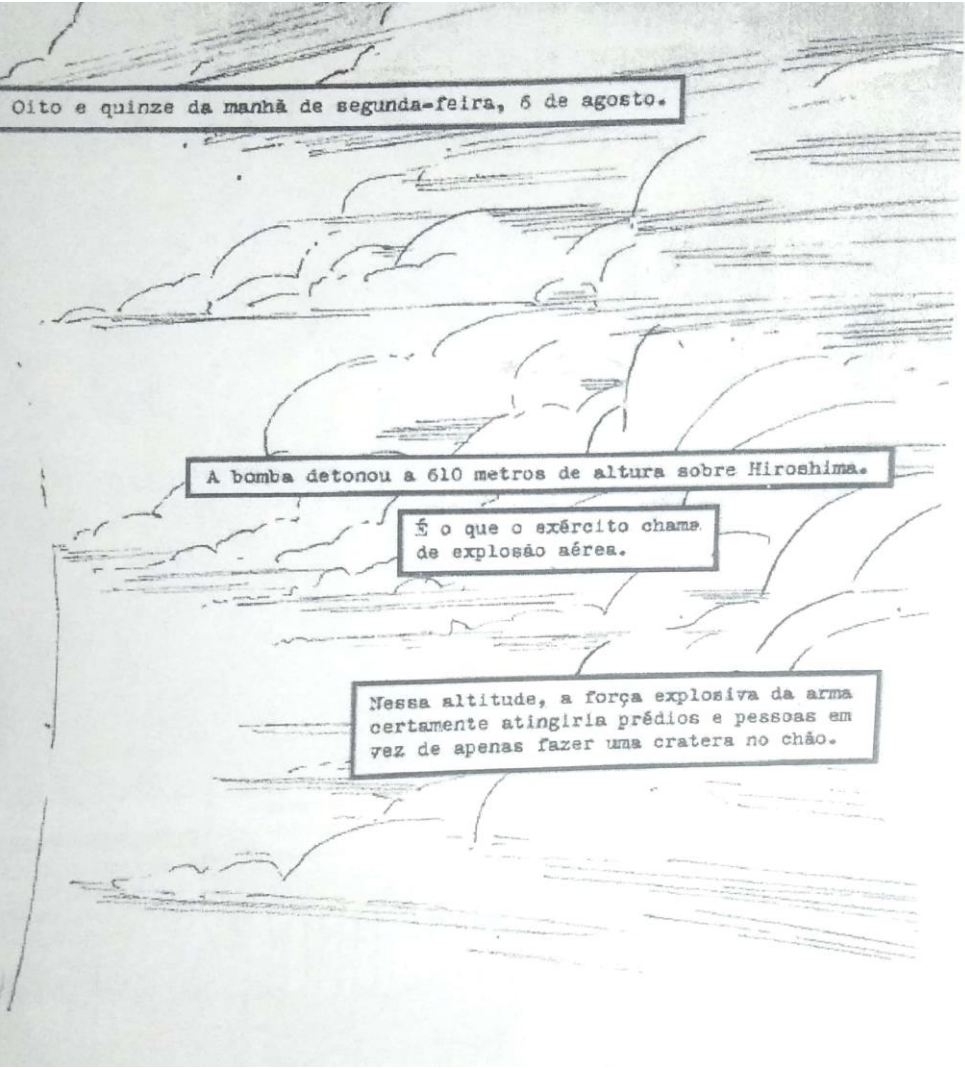












Oito e quinze da manhã de segunda-feira, 6 de agosto.

A bomba detonou a 610 metros de altura sobre Hiroshima.

É o que o exército chama
de explosão aérea.

Nessa altitude, a força explosiva da arma
certamente atingiria prédios e pessoas em
vez de apenas fazer uma cratera no chão.

Apenas um mês antes, nos desertos do Novo México, cientistas haviam se maravilhado com o nascimento de um segundo sol.

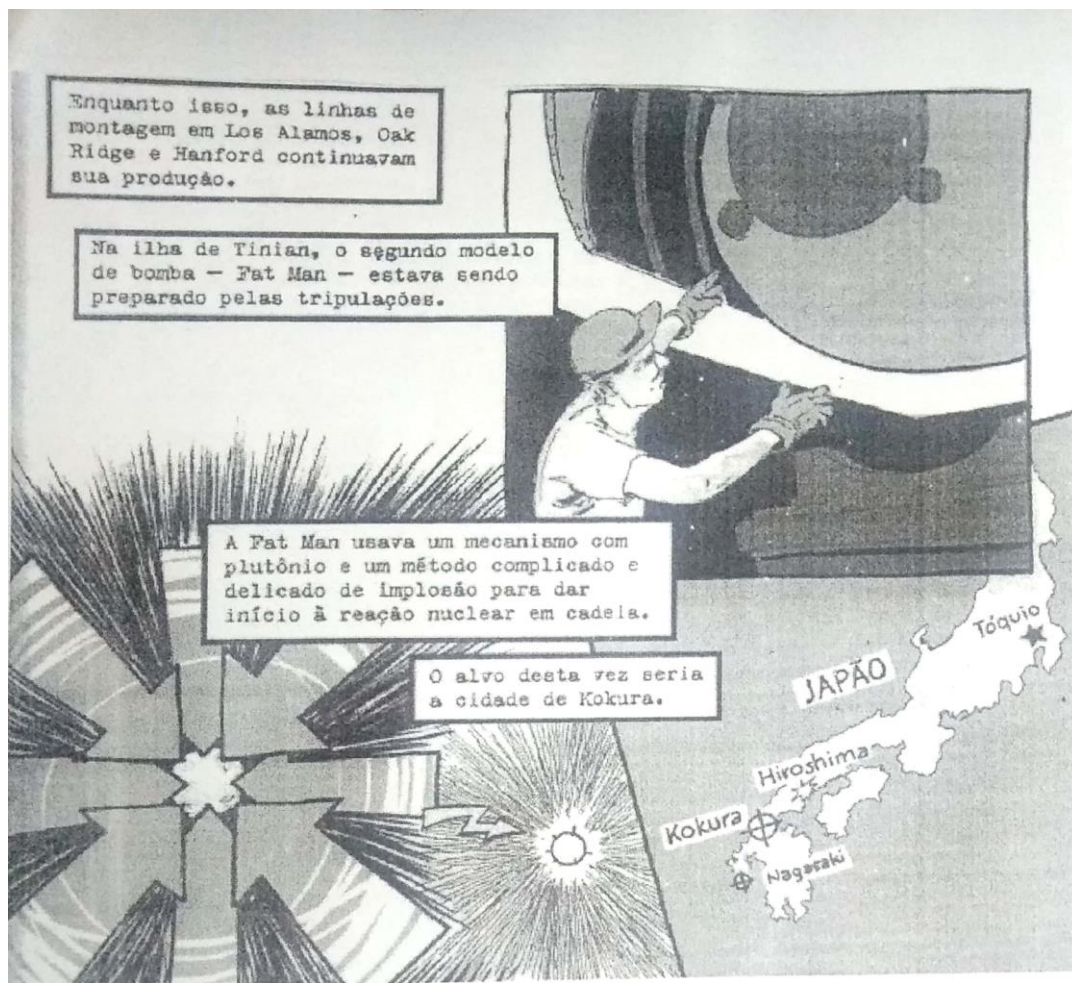
Em Hiroshima, entretanto, o Sol desapareceu, apagado por uma torre cintilante de fumaça,

de cinzas

e de destroços.







Tôquio, Palácio Imperial, 9 de agosto

Três dias depois da destruição de Hiroshima, os assessores militares do Imperador Hirofita se reuniram pela primeira vez para discutir o próximo passo do Japão.

Durante horas, o Supremo Conselho do Comando de Guerra debateu suas opções.



AINDA CONCORDAMOS QUE A RENDIÇÃO INCONDICIONAL NÃO É UMA OPÇÃO.



SE PUDERMOS FORÇAR OS AMERICANOS A UMA BATALHA CAMPAL EM SOLO JAPONÊS, ELES VÃO ABRIR MÃO DE SUAS RESOLUÇÕES

E ESTARÃO MAIS SUSCETÍVEIS A ACEITAR OS TERMOS DE NOSSA RENDIÇÃO.



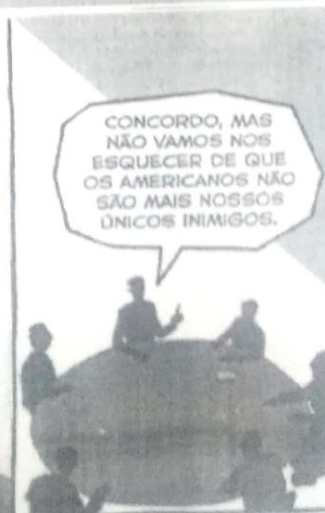
OS AMERICANOS NÃO DEVEM TER MAIS DO QUE UMA DAQUELAS NOVAS ARMAS.

VOCÊS SÓ FICAM FALANDO EM RENDIÇÃO.

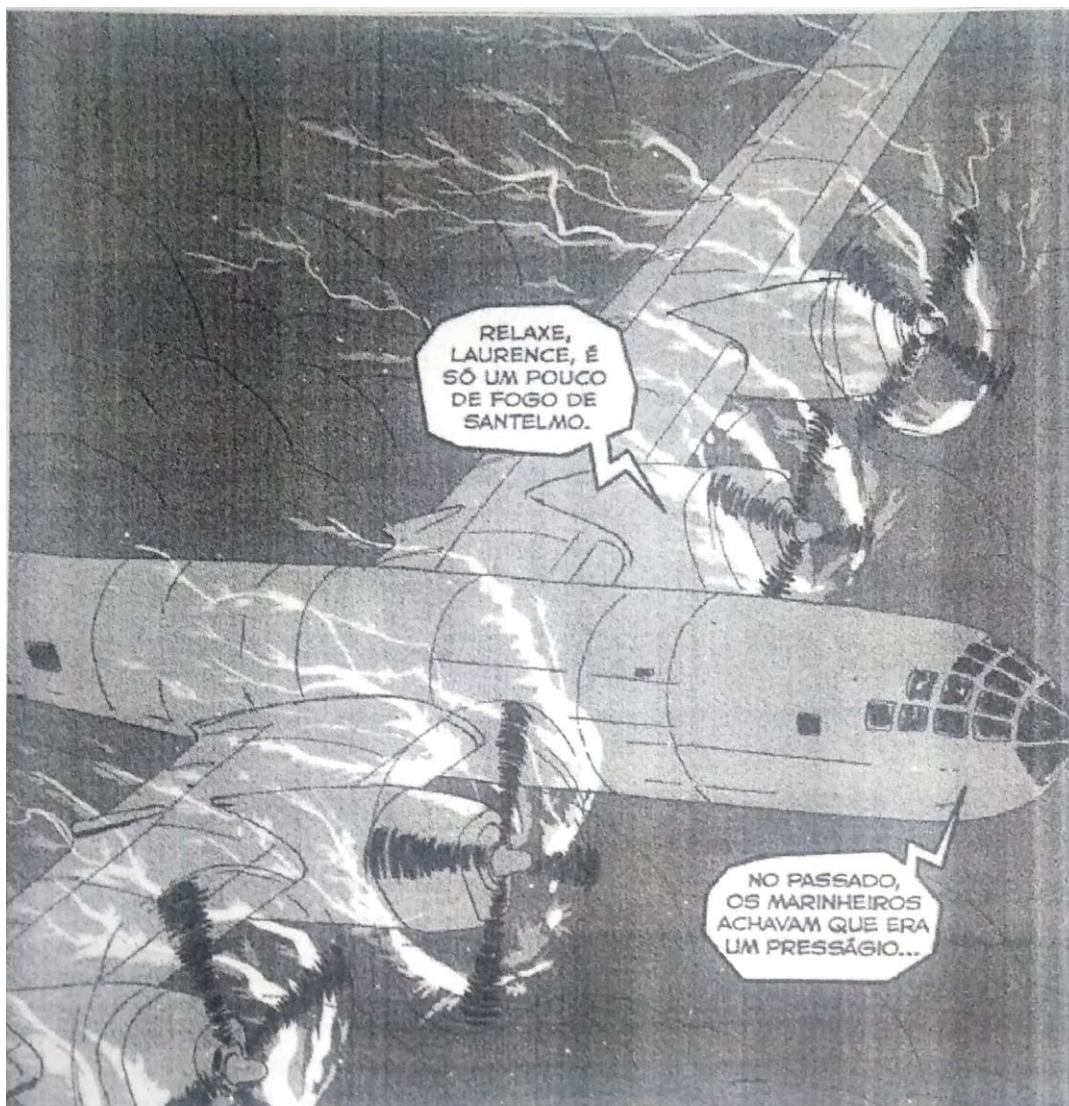
ELES QUERIAM NOS ASSUSTAR, MAS NÃO ENTENDERAM AINDA QUE CADA UM DE NOSSOS CIDADÃOS LUTARÁ ATÉ A MORTE PARA PROTEGER O IMPÉRIO.



CONCORDO, MAS NÃO VAMOS NOS ESQUECER DE QUE OS AMERICANOS NÃO SÃO MAIS NOSSOS ÚNICOS INIMIGOS.









Objetivo: Nesta aula pretende-se que os alunos construam familiaridade com as aplicações das Radiações Ionizantes voltadas para promover o bem-estar dos seres humanos.

Conteúdo: Aplicações das Radiações Ionizantes.

Tempo: Aula de 50 minutos que se divide em duas partes. A primeira sendo a constituída pela leitura do texto e elaboração das duas primeiras perguntas do questionário. Na segunda parte será realizada a leitura do texto e a elaboração da terceira questão e da atividade final.

Competências serem trabalhadas:

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos;
- Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades a serem trabalhadas:

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos;
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas e compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais;
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;

- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

QUESTIONÁRIO 10

QP01- Você conhece alguma aplicação para as radiações ionizantes no dia-a-dia? Cite exemplos.

QP02- O Fato de um produto ser cientificamente comprovado interfere na sua decisão de compra?

QP03- Alguns alimentos estão sendo irradiados para sua maior conservação. Você acredita que este processo pode prejudicar a saúde?

ATIVIDADE FINAL → Após essas 10 aulas descreva brevemente o que você considera ter aprendido sobre a Física das Radiações; aponte conceitos/termos que você pouco sabia ou que nunca tinha ouvido falar anteriormente.

ÍNTEGRA DO TEXTO AULA 10

DATAÇÃO

Até a descoberta dos raios X e das pesquisas de Becquerel e dos Curie, não se sabia, ao certo, nem mesmo a idade da Terra!

As estimativas da idade do universo eram feitas, em alguns casos, baseando – se na bíblia. No fim do século XVII, o arcebispo James Ussher calculou, usando a bíblia, que a Terra teria sido criada às nove da manhã, do dia 26 de outubro de 4004 a.C.

No entanto, os geólogos tinham evidências de que a idade da Terra deveria ser muito maior do que a que o arcebispo supunha.

Mas como pode a radioatividade ajudar a determinar as datas? A ideia é simples. Você já conhece as séries de decaimento que podem ser naturais ou artificiais, também sabe que existe um tempo característico de decaimento para cada isótopo radioativo: a meia – vida.

Para estimar a idade de rochas que contenham urânio, por exemplo, utiliza – se o isótopo urânio – 238, com meia – vida de 4,5 bilhões de anos. Ou seja, nesse período de tempo, metade do urânio – 238 da rocha transmutou e a série de transmutações irá parar quando chegar a um isótopo estável, nesse caso o chumbo – 206.

Vamos supor que em uma rocha a cada 1000 átomos de urânio – 238 encontramos 80 de chumbo – 206. Como todos os 80 átomos de chumbo – 206 eram inicialmente urânio – 238, o número inicial de urânio – 238 era de 1080. Com uma conta simples achamos que o tempo para que 80 átomos de uma amostra de 1080 de urânio – 238 decaíssem em chumbo – 206 é de 510 milhões de anos. A rocha tem, pelo menos, essa idade.

Mas existia ainda um problema. Para calcular a idade da Terra dever-se-ia analisar rochas remanescentes da época de formação do nosso planeta.

Porém, em razão do movimento das placas tectônicas, não há essas rochas na superfície da Terra. Para resolver esse problema, é necessário supor que a Terra tinha a mesma idade do Sol, o que é razoável de acordo com as últimas teorias sobre a formação do sistema solar. Logo, para determinar a idade da Terra, podem – se analisar os meteoritos que orbitavam, quase sem modificação, em torno do Sol desde sua formação. Mas onde encontrar esses meteoritos?

Deve – se esperar que caiam na Terra, como fez Claire Patterson do Instituto de Tecnologia da Califórnia. Analisando a proporção entre urânio e chumbo nesses meteoritos, Patterson calculou a idade da rocha, 4,55 bilhões de anos. Logo, a Terra teria a mesma idade, bem maior que os 6 mil anos que supunha o arcebispo Ussher. Esse tipo de datação foi feito com amostras de rochas lunares, estimando – se a idade delas em 4,2 bilhões de anos, muito próxima da idade estimada da Terra, como era de se esperar.

Para datar fósseis orgânicos, a série do urânio – 238 não é adequada, pois esta é usada para determinar idades da ordem de bilhões de anos, que não é o caso

de fósseis, que tem poucos milhares. Usa – se então o carbono – 14, que é radioativo com meia – vida de 5600 anos. Não se utiliza o carbono – 12, que é estável. O carbono – 14 decai para o nitrogênio (N), de acordo com a reação que é mostrada a seguir:



Um organismo vivo tem átomos de carbono, sendo um de carbono – 14 para 100 bilhões de átomos de carbono – 12. A quantidade do isótopo de carbono – 12 fica constante, pois este é estável, ao passo que o carbono – 14 começa a decair em nitrogênio, com sua concentração caindo metade a cada 5600 anos. Portanto, para saber a idade de um fóssil, basta medir a concentração de carbono – 14 em relação ao carbono – 12 e assim chegará ao tempo transcorrido da morte do organismo.

MEDICINA

Essa é uma área em que o uso da radioatividade é muito benéfica, tanto em exames como em terapias, e também como fonte de energia para aparelhos. Por medicina nuclear entende – se a área da medicina em que se utilizam isótopos radioativos para algumas finalidades.

MARCA – PASSO ARTIFICIAL

Esse aparelho eletrônico é utilizado em pacientes em que o coração esta com os batimentos em um ritmo anormal, muito baixo, em virtude de o marca – passo natural (nódulo sinusal) apresentar defeito. Quando isso acontece, o coração bombeia menos sangue para o corpo, causando várias moléstias como: tonturas, cansaço fácil, palpitações e desmaios.

O marca – passo artificial é implantado embaixo da pele, normalmente no peito, próximo ao ombro. É composto pela caixa do marca – passo e do fio que leva os estímulos ao coração.

A duração de um marca – passo esta relacionada com a duração das pilhas, e é exatamente nas pilhas que entra o uso da radioatividade. As pilhas utilizam a

energia liberada pelo plutônio – 238 ao decair em urânio – 234. Utilizam – se cerca de 160mg de plutônio – 238, que está confinado em uma cápsula muito resistente de massa pouco maior que 100g.

EXAMES

Um exemplo de aplicação de medicina nuclear é o exame para o diagnóstico da tireóide. O paciente ingere uma solução de iodo – 131, que será absorvido pela glândula – o iodo, sendo radioativo ou não, é normalmente absorvido pela glândula da tireóide, concentrando – se nela. A absorção do iodo pela glândula influencia muito o funcionamento da tireóide, e esta influencia muito o comportamento do paciente. No exame, utiliza – se um detector que pode observar a quantidade de iodo – 131 que foi absorvida pela glândula, e se compara com a absorção normal. Esse diagnóstico feito com isótopos radioativos é conhecido como radiodiagnóstico. Quando o médico analisa o exame percebe uma área brilhante que contém o radioisótopo, e pode comparar com o padrão estabelecido para dar o diagnóstico correto. Outra importante radiação muito utilizada em exames na medicina, que provavelmente você já fez, são os raios X, descobertos no final do século retrasado, por Röntgen. A origem dos raios X não está no núcleo, portanto o exame com esse tipo de radiação não é nuclear.

TERAPIA

A radioterapia é uma aplicação da radioatividade que tem salvado inúmeras vidas. Sua origem remonta ao casal Curie e era inicialmente conhecida como Curieterapia, que utilizava o elemento rádio. Atualmente outros isótopos radioativos também são usados.

O iodo – 131 pode ser utilizado para tratar lesões diagnosticadas no exame da tireóide, mas com doses maiores do que as utilizadas nos exames.

No tratamento de câncer, o uso da radioterapia é importante. Consiste em bombardear, com radiação emitida pelo elemento radioativo, as células cancerígenas. Estas são mais sensíveis à radiação do que as células saudáveis.

Apesar do nome, na atualidade, outros elementos se mostraram mais úteis na radioterapia. As fontes para a radioterapia utilizadas atualmente são o cobalto – 60

(Co) e o cézio – 137. Foi uma máquina dessas que teve seu núcleo violado em Goiânia.

AGRICULTURA

Uma maneira de aperfeiçoar a produção de alimentos é conhecendo melhor o metabolismo das plantas: o que é absorvido pelas folhas e raízes, o que precisam para crescer, entre outras informações relevantes.

O uso da radiação, neste caso, isótopos radioativos é feito provocando uma absorção desses isótopos pelas plantas. É possível localizar o radioisótopo utilizando um filme semelhante ao usado em radiografias. Conhecendo a localização desses isótopos é possível obter informações importantes sobre o metabolismo das plantas.

A mesma técnica possibilita estudar o comportamento de insetos, como formigas e abelhas. No caso das formigas, permite, por exemplo, localizar o formigueiro e até as flores de sua preferência. O combate de pragas pode ser auxiliado com o uso destes isótopos radioativos. Por meio deles, podem – se conhecer quais são os predadores da praga, e então tais predadores serão utilizados para eliminá – la, evitando – se, assim, o uso de inseticidas muito prejudiciais a saúde humana. Outra maneira de combater as pragas é por intermédio da esterilização dos machos da espécie com radiação gama.

Outra importante utilidade benéfica da radioatividade diz respeito à conservação de alimentos, como batata, cebola, alho e feijão. Estes são irradiados com radiação gama, podendo então ser armazenados por mais de um ano sem apodrecer, brotar ou germinar.

A irradiação de alimentos também mata bactérias, como a *Escherichia coli*, *salmonela*, *estafilococos* e *Listeria*, evitando o risco de doenças que essas bactérias podem provocar quando ingeridas pelos humanos.

A radiação penetra nos tecidos dos vegetais danificando os organismos vivos que encontra pela frente, como as bactérias. Assim, causa sua morte ou, ao menos, evita sua reprodução.

Comer alimentos irradiados não causa nenhum tipo de prejuízo à nossa saúde. O órgão regulador de alimentos dos Estados Unidos (FDA) realizou mais de 400 estudos antes de aprovar a irradiação dos alimentos e concluiu que não oferecem risco algum aos humanos.

APÊNDICE –B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012)

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa “A interpretação da física das radiações por meio da leitura de textos” sob responsabilidade do pesquisador Prof. Rafael Gombrade. O estudo será realizado com filmagem de alunos em situação de aprendizagem, para compreender como esses alunos aprendem temas relacionados à Física das Radiações. As filmagens ocorrerão em ambiente comum da escola, nas aulas da Prof. Rafael Gombrade, de forma a evitar e minimizar qualquer constrangimento ao grupo de estudantes. Você poderá consultar o pesquisador responsável em qualquer época, pessoalmente ou pelo telefone da instituição, para esclarecimento de qualquer dúvida. Você está livre para, a qualquer momento, deixar de participar da pesquisa. **Todas as informações fornecidas e os resultados obtidos serão mantidos em sigilo**, e estes últimos só serão utilizados para divulgação em reuniões e revistas científicas. **Em nenhuma forma de divulgação serão mostradas quaisquer informações que identifique os estudantes ou a escola, mas apenas dados numéricos e descritivos**. Você será informado de todos os resultados obtidos, e não terá quaisquer benefícios ou direitos financeiros sobre os eventuais resultados decorrentes da pesquisa. Este estudo é importante porque seus resultados fornecerão informações para a melhoria do ensino de Física. O material em vídeo cedido será armazenado e você poderá ser convidado para dar a sua autorização para novos projetos.

Diante das explicações, se você concorda em participar deste projeto, coloque sua assinatura a seguir e forneça os dados solicitados.

Nome: _____ R.G. _____

Endereço: _____ Fone: _____

São José do Rio

Preto, _____ de _____ de 2017

 Responsável legal do(a) estudante

 Pesquisador responsável

OBS.: Termo apresenta duas vias, uma destinada ao representante legal e a outra ao pesquisador;

Nome Pesquisador: RAFAEL GOMBRADE	Cargo/Função: Mestrando em Ensino e Processos Formativos
Instituição: UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”	
Endereço: Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jardim Nazareth – São José do Rio Preto – SP	
Aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE/UNESP: 42634815.3.0000.5466 São José do Rio Preto – fone 17-3221.2315	