



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**FÍSICA DAS RADIAÇÕES: UM ENFOQUE CTS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO  
DA ÁREA INDUSTRIAL**

**Suelen Pestana Cardoso**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadoras:

Dra. Deise Miranda Vianna

Dra. Simone Coutinho Cardoso

Rio de Janeiro

Abril de 2017

FÍSICA DAS RADIAÇÕES: UM ENFOQUE CTS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO  
DA ÁREA INDUSTRIAL

Suelen Pestana Cardoso

Orientadoras:  
Dra. Deise Miranda Vianna  
Dra. Simone Coutinho Cardoso

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Profa. Dra. Simone Coutinho Cardoso (Presidente) -  
IF/UFRJ

---

Profa. Dra. Deise Miranda Vianna-IF/UFRJ

---

Prof. Dr. Odair Dias Gonçalves-IF/UFRJ

---

Prof. Dr. Sidnei Percia da Penha-CAP/UFRJ

---

Prof. Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus-IFRJ

RIO DE JANEIRO

ABRIL DE 2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

P268f                      Cardoso, Suelen Pestana  
Física das radiações: um enfoque CTS para alunos do ensino médio da área industrial / Suelen Pestana Cardoso - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2017.  
xv,251f.: il.;30cm.  
Orientadora: Deise Miranda Vianna  
Coorientadora: Simone Coutinho Cardoso.  
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2017.  
Referências Bibliográficas: f. 173-179.  
1. Ensino de Física. 2.Física das Radiações. 3.Atividades Investigativas.4.Enfoque CTS  
I. Vianna, Deise Miranda. II. Cardoso, Simone Coutinho. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Física das radiações: um enfoque CTS para alunos do ensino médio da área industrial.

Dedico esta dissertação ao meu esposo José Eduardo Pereira da Rosa por ter acreditado no meu potencial até mesmo quando eu já havia desistido.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu esposo e aos meus familiares pelo apoio e compressão durante a realização do curso de mestrado.

Sou grata aos meus colegas do CEFET/RJ pelo apoio, em especial, aos professores Leonardo Pereira, Nathalia Oliveira, Aline Viana e Adriana Portugal pela participação no evento da mesa redonda.

Um agradecimento especial à amiga Marta Máximo pelas dicas e por sua constante preocupação em saber sobre o andamento do mestrado.

Agradeço aos meus alunos do CEFET/RJ UneD Itaguaí pelo envolvimento e participação nas atividades desenvolvidas para a aplicação desta proposta didática.

Minha gratidão à NUCLEP S/A e à Eletronuclear por terem autorizado a realização das visitas técnicas em suas dependências.

Agradeço aos professores Luiz Pinguelli e Odair Dias pela contribuição oferecida a este trabalho através das entrevistas concedidas.

Agradeço ao CEFET/RJ UneD Itaguaí pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Sou grata à CNEN, em especial à servidora Samanda Correa, por ter contribuído com o levantamento de dados que fundamentou a minha pesquisa.

Por fim, não poderia deixar de demonstrar meu carinho e gratidão pelas minhas orientadoras, Deise Vianna e Simone Cardoso que com paciência, calma e uma imensa dedicação, permitiram que este trabalho se tornasse uma realidade.

“Nada na vida deve ser temido, somente compreendido. Agora é hora de compreender mais para temer menos”.

Marie Curie

## RESUMO

### FÍSICA DAS RADIAÇÕES: UM ENFOQUE CTS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO DA ÁREA INDUSTRIAL.

Suelen Pestana Cardoso

Orientadoras:

Dra. Deise Miranda Vianna  
Dra. Simone Coutinho Cardoso

É numa constante alternância de papéis, entre heroína e vilã, que a radioatividade é vista pela sociedade, provocando diferentes sentimentos. O medo demonstrado diante do símbolo radioativo por alguém que desconhece os fenômenos que envolvem radiação se mostra tão evidente quanto a gratidão de alguém que fora salvo pela radioterapia. Apresentamos uma proposta didática de inserção da Física das Radiações, com base na proposta curricular inserida nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL,1997) e nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL,2002) para a disciplina de Física, para alunos do curso técnico em Mecânica Industrial. A escolha do público citado deve-se ao fato de que os concluintes deste curso irão atuar em indústrias que possivelmente utilizam radiação em seus processos produtivos, algo concreto e cotidiano na indústria brasileira. A abordagem do tema com enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), em conexão com aspectos da vivência cotidiana do aluno, aliado ao uso das atividades investigativas para o ensino dos conceitos fundamentais associados à radioatividade e suas aplicações industriais se justifica por seu emprego em situações reais, onde se discutem os impactos do desenvolvimento da ciência e da tecnologia na sociedade. A sequência de atividades proposta foi estruturada em quatro blocos, que contemplou a análise de aspectos da radioatividade relacionados às disciplinas do núcleo comum do Ensino Médio e de elementos deste tema relacionados às disciplinas técnicas do curso de Mecânica Industrial, promovendo, inclusive, visitas técnicas a indústrias que utilizam radiação em suas rotinas. Procurou-se também valorizar o desenvolvimento, no aluno, de habilidades associadas à capacidade de argumentar. Mostra-se que as atividades aqui descritas são ricas em possibilidades de aprendizagem de conceitos físicos relevantes, além de contribuírem para a construção, por parte dos alunos, de uma visão crítica acerca do uso da tecnologia nuclear.

Palavras-chave: Ensino de Física, Física das Radiações, Atividades Investigativas, Enfoque CTS.

## **ABSTRACT**

### **PHYSICS OF RADIATION: A STS FOCUS FOR SECONDARY STUDENTS OF THE INDUSTRIAL AREA.**

Suelen Pestana Cardoso

Supervisor (s):

Dra. Deise Miranda Vianna  
Dra. Simone Coutinho Cardoso

In a constant switch of roles between heroin and villain, the radioactivity causes different feelings in society. The fear shown by someone who is unaware of the radioactivity phenomena is as great as the gratitude shown by someone who was saved by radiation. We present here a proposal for the insertion of Physics Radiation, based on the curriculum proposal inserted into the National Curricular Parameters (BRASIL, 1997) and the National curricular parameters for secondary school (BRASIL, 2002) in the discipline of Physics for students of the technical course in Industrial mechanics. The choice of the public is due to the fact that the graduates of this course will work in industries that will possibly use radiation in their production processes, as something daily and concrete in the Brazilian industry. The theme approach focusing STS (science, technology and society) in connection with aspects of everyday experience, coupled with the use of the investigative activities for teaching the fundamental concepts associated with radioactivity and its industrial applications is justified by its use in real situations, where the impacts of the development of science and technology in society is discussed. The sequence of activities was structured into four blocks, which included the analysis of aspects of radioactivity related to the common core subjects in secondary school and of elements of this theme related to the technical subjects of the Industrial Mechanics course, promoting technical visits to industries that use radiation in their routines. It was also sought to value the development of the student's skills associated to the ability to argue. It is shown that the activities described here are rich in learning possibilities of relevant physical concepts, as well as to contribute to the construction, by the students, of a critical view concerning the use of nuclear technology.

Keywords: Teaching physics, Physics Radiation, Investigative Activities, STS Approach.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Aspectos da abordagem de CTS. ....	29
Figura 2 -Categorias de inserção CTS no currículo. ....	30
Figura 3-Padrão de Argumento de Toulmin. ....	41
Figura 4-Indicadores de Alfabetização Científica .....	44
Figura 5-Proporções entre os diferentes tipos de radiação às quais estamos expostos. .....	46
Figura 6- Espectro eletromagnético .....	48
Figura 7- Distribuição da dose na população para fontes naturais e artificiais.....	49
Figura 8- Willian Röntgen e ao lado da imagem do primeiro raio-X, obtido por ele em dezembro de 1896. ....	52
Figura 9-Notícia publicada em São Paulo no jornal A Gazeta de Notícias em 16 de agosto de 1897.....	53
Figura 10-Pierre e Maire Curie em seu laboratório. ....	55
Figura 11- Marie Curie em Belo Horizonte em 1926. ....	56
Figura 12 – Reações de produção dos elementos radioativos P-30 e N-13. ....	57
Figura 13- Tabela de nuclídeos.....	60
Figura 14-Espectro da radiação eletromagnética.....	67
Figura 15-Exemplo de emissão de radiação gama. ....	67
Figura 16– Algumas características das radiações alfa, beta e gama. ....	68
Figura 17-Exemplo de séries radioativas naturais.....	71
Figura 18-Curva de decaimento do isótopo radioativo $_{15}^{32}\text{P}$ . ....	72
Figura 19-Tempo de meia-vida para diferentes radionuclídeos. ....	73
Figura 20-Curvas de decaimento radioativo para duas substâncias diferentes. ....	74
Figura 21-Uma das possíveis reações de fusão para o urânio-235. ....	76

Figura 22-Diagrama de uma usina de energia nuclear a fissão. ....	78
Figura 23- Duas das reações de fusão. ....	79
Figura 24-Limites máximos de dose em mSv.....	81
Figura 25- Diferentes tipos de dosímetro individual. ....	83
Figura 26 –Representação esquemática de um ensaio não-destrutivo utilizando uma fonte radioativa.....	89
Figura 27-Esquema do equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial. ..	90
Figura 28-Equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial. ....	90
Figura 29-Modelo de negatoscópio utilizado para análise do filme radiográfico produzido.....	94
Figura 30 -Seção de uma solda contendo poro e uma trinca longitudinal.....	94
Figura 31- Alunos assistindo ao documentário “O Pesadelo é azul”. ....	101
Figura 32- Professoras e alunos durante a realização da mesa redonda. ....	102
Figura 33–Questionário sobre conceitos básicos envolvendo radiação.....	106
Figura 34- Imagem do modelo de contador Geiger utilizado durante a atividade aplicada.....	107
Figura 35- Alunas realizando a medição da radiação proveniente de um bloco de concreto.....	108
Figura 36- Alunos realizando a medição da radiação proveniente de uma banana.....	108
Figura 37-Materiais manipulados pelos alunos durante a atividade envolvendo o conceito de meia-vida. ....	110
Figura 38- Canetas analisadas pelos alunos.....	113
Figura 39-Texto sobre fontes radioativas, retirado da Revista Brasil Nuclear.....	116
Figura 40-Livro Vozes de Tchernóbil:a história oral do desastre nuclear.....	120
Figura 41- Alunos na atividade de recepção na NUCLEP.....	129
Figura 42-Entrada do prédio onde são realizados os ensaios utilizando radiação.....	129
Figura 43- Área do bunker.....	130

Figura 44- Funcionário da NUCLEP explicando sobre gamagrafia. ....	130
Figura 45-Elementos de proteção radiológica: parede de concreto e porta de chumbo. .....	131
Figura 46-Dosímetro utilizado pelo funcionário da NUCLEP. ....	131
Figura 47-Vista aérea do Centro de Informação de Itaorna. ....	135
Figura 48-Peça utilizada para explicar o processo de controle da Fissão num reator. ....	136
Figura 49-Vista interna do Centro de Informação de Itaorna. ....	136
Figura 50-Painel sobre geração de energia do Centro de Informação de Itaorna. ....	137
Figura 51-Vista das usinas a partir do Centro de Informação de Itaorna. ....	138
Figura 52-Alunos na parte externa do Centro de Informação de Itaorna. ....	138
Figura 53-Entrada do Centro de Treinamento com Simulador. ....	139
Figura 54-Sala do Centro de Treinamento com Simulador. ....	140
Figura 55-Questão 1 do questionário. ....	148
Figura 56-Questão 2 do questionário. ....	149
Figura 57-Questão 3 do questionário. ....	150
Figura 58-Questão 4 do questionário. ....	151
Figura 59-Questão 5 do questionário. ....	152
Figura 60-Questão 6 do questionário. ....	153
Figura 61-Questão 84 do ENEM 2012 da prova BRANCA. ....	159
Figura 62- Questão 10 do ENEM 2009 da prova cancelada. ....	160
Figura 63-Questão 24 do 1º Exame de Qualificação do vestibular da Uerj do ano de 2012. ....	161
Figura 64-Consideração da aluna Maria sobre as atividades desenvolvidas. ....	163
Figura 65-Considerações do aluno Bruno sobre as atividades desenvolvidas. ....	163
Figura 66- Considerações da aluna Letícia sobre as atividades desenvolvidas. ....	164
Figura 67–Questionário sobre conceitos básicos envolvendo radiação. ....	213

Figura 68-Imagem do modelo de contador Geiger utilizado durante a atividade aplicada. .....	214
Figura 69- Indicadores de Alfabetização Científica. ....	216
Figura 70-Vídeo “Salvador, o hipocondríaco”.....	217
Figura 71-Manipulação dos materiais durante a atividade. ....	219
Figura 72-Esboço do gráfico produzido pelos alunos.....	219
Figura 73-Questão 84 do ENEM 2012 da prova BRANCA. ....	221
Figura 74- Questão 10 do ENEM 2009 da prova cancelada. ....	222
Figura 75-Questão 24 do 1º Exame de Qualificação do vestibular da Uerj do ano de 2012. ....	223
Figura 76- Canetas analisadas pelos alunos.....	226
Figura 77-Charge sobre uma prática realizada pelo mercado de vendas envolvendo o uso da certificação ISO 9001. ....	229
Figura 78- Texto sobre fontes radioativas, retirado da Revista Brasil Nuclear (ano 9, nº 25, Jun-Ago/2002. ....	230
Figura 79 –Representação esquemática de um ensaio não-destrutivo utilizando uma fonte radioativa.....	234
Figura 80-Esquema do equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial. ....	235
Figura 81-Equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial. ....	235
Figura 82-Modelo de negatoscópio utilizado para análise do filme radiográfico produzido.....	238
Figura 83 -Seção de uma solda contendo poro e uma trinca longitudinal. ....	239
Figura 84-Livro Vozes de Tchernóbil:a história oral do desastre nuclear. ....	240

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Curva de decaimento para o Irídio-192. ....	91
Gráfico 2– Fator de exposição para Selênio-75 e Irídio-192 para aços carbono.....	92
Gráfico 3–Empresas do estado do Rio de Janeiro que utilizam radiação. ....	123
Gráfico 4 - Frequência das respostas dadas pelos estudantes para a questão 1.....	149
Gráfico 5- Frequência das respostas dadas pelos estudantes para a questão 2.....	150
Gráfico 6-Percentuais de respostas para a questão 3. ....	150
Gráfico 7-Frequência de respostas dos alunos para a questão 4 .....	151
Gráfico 8-Gráfico referente à questão 5. ....	152
Gráfico 9-Gráfico referente à questão 6. ....	153
Gráfico 10-Curva de decaimento para o Irídio-192. ....	236
Gráfico 11– Fator de exposição para Selênio-75 e Irídio-192 para aços carbono.....	237

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Aspectos relacionados a alfabetização científica. ....	26
Tabela 2-Etapas de um laboratório aberto. ....	35
Tabela 3-Características das fontes radioativas mais utilizadas na indústria.....	88
Tabela 4-Atividades propostas separadas por blocos.....	98
Tabela 5-Perguntas dos alunos sobre o acidente. ....	103
Tabela 6-Afirmações dos alunos sobre o conceito de qualidade de um produto. ....	112
Tabela 7-Análise de algumas atividades do Bloco II. ....	148
Tabela 8- Transcrição da discussão ocorrida durante a atividade e sua análise. ....	157
Tabela 9-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada. ...	159
Tabela 10-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada. ...	160
Tabela 11-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada. ...	162
Tabela 12-Quadro resumo das atividades aplicadas. ....	166
Tabela 13 –Quadro resumo das atividades propostas divididas em 4 blocos.....	208
Tabela 14-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada. ...	222
Tabela 15-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada. ...	223
Tabela 16- Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada. .....	224
Tabela 17-Características das fontes radioativas mais utilizadas na indústria.....	233

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b>	<b>15</b>
1.1	O QUE DIZEM OS DOCUMENTOS OFICIAIS	16
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>22</b>
2.1	ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	22
2.2	O ENFOQUE CTS	26
2.3	O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO	31
2.4	ARGUMENTAÇÃO	40
2.5	INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	43
<b>3</b>	<b>TÓPICOS DE FÍSICA REFERENTES AO TRABALHO</b>	<b>45</b>
3.1	A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE	50
3.2	DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA	58
3.3	EMISSIONES NUCLEARES	61
3.3.1	<i>Emissões de partículas alfa (<math>\alpha</math>)</i>	61
3.3.2	<i>Emissões de partículas beta (<math>\beta</math>)</i>	63
3.3.3	<i>Emissão de radiação gama (<math>\gamma</math>)</i>	65
3.3.4	<i>Poder de penetração</i>	68
3.4	SÉRIES RADIOATIVAS	69
3.5	TRANSFORMAÇÕES NUCLEARES	75
3.6	PROTEÇÃO RADIOLÓGICA	79
3.7	EFEITOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA	84
3.8	GAMAGRAFIA: UMA APLICAÇÃO INDUSTRIAL	86
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E DADOS DE APLICAÇÃO</b>	<b>96</b>
4.1	VISTA PANORÂMICA	96
4.2	ATIVIDADES PROPOSTAS	97
4.3	BLOCO I	99
4.4	BLOCO II	104
4.5	BLOCO III	121
4.5.1	<i>A visita técnica à NUCLEP</i>	125
4.5.2	<i>A visita ao Centro de Informação de Itaorna</i>	132
4.6	BLOCO IV	140
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DAS ATIVIDADES: UMA ANÁLISE PRELIMINAR</b>	<b>143</b>
5.1	RELATO DA APLICAÇÃO DAS ATIVIDADES DO BLOCO I	144
5.2	ANÁLISE DAS ATIVIDADES DO BLOCO II	147
5.3	DANDO VOZ AO ALUNO	162
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>165</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>172</b>
	<b>APÊNDICE A</b>	<b>179</b>

<b>ANEXO A.....</b>	<b>180</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>185</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>193</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>207</b>



# 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O mundo microscópico exerce uma fascinação ímpar sobre aqueles que procuram compreender o seu funcionamento de tamanha complexidade. Os mistérios e questionamentos associados, por exemplo, ao núcleo atômico permeiam a Ciência há muitos anos e já serviram também de inspiração para filósofos e poetas que se dedicaram a versar sobre os segredos de um universo tão pequeno e tão potente. É instigante pensar como é possível a partir de uma estrutura tão minúscula se obter quantidades gigantescas de energia como as envolvidas nos processos de fissão e fusão nucleares. As transformações trazidas pelas descobertas de Röntgen<sup>1</sup> e do casal Marie<sup>2</sup> e Pierre<sup>3</sup> Curie, segundo Okuno e Yoshimura (2010), mudaram o curso da evolução humana com as suas aplicações quase imediatas e que não ficaram restritas ao cenário europeu. A relação entre a sociedade e a Física das radiações passou do amor ao ódio após o lançamento das bombas atômicas sobre o território japonês ao final da II Guerra Mundial (1939-1945), sob comando dos norte-americanos. A partir deste momento, o mundo conheceu a face maligna da tecnologia nuclear.

É nesta alternância de papéis, entre heroína e vilã, que a Radioatividade é vista pela sociedade, chegando a provocar sentimentos de diferentes naturezas. O medo e o temor demonstrado diante do símbolo radioativo por alguém que desconhece os fenômenos que envolvem radiação se mostra tão evidente quanto a gratidão de alguém que fora salvo pela radioterapia.

---

<sup>1</sup> Wilhelm Röntgen (1845-1923)

<sup>2</sup> Marie Skłodowska Curie (1867-1934)

<sup>3</sup> Pierre Curie (1859-1906)

Quando o tema radiação é colocado em discussão, observa-se a instauração de uma verdadeira polêmica envolvendo diferentes posicionamentos acerca de suas implicações científicas, tecnológicas e sociais.

A sociedade, em princípio, defende que o uso da radiação é prejudicial à saúde e coloca em risco a vida da população, devendo ser evitado em função do risco eminente de morte envolvido.

Dentro os fatores que justificam tal posicionamento da opinião pública destacam-se: a falta de conhecimento técnico-científico acerca do tema por grande parte da população e o sensacionalismo da mídia.

Um fato interessante é que quando tais indivíduos contrários ao uso de radiação são questionados sobre sua opinião, eles utilizam os exemplos de acidentes radiológicos para respaldar sua postura. Porém não se observa um comportamento semelhante quando o assunto envolve temas como dirigir e os perigos envolvidos nesta atividade. Apesar do número expressivo de pessoas que morrem anualmente por acidente de trânsito não são vistas manifestações contrárias ao uso de veículos com meio de transporte.

Acreditamos que a origem desta controvérsia se situa numa falha na formação escolar dos indivíduos. A falta de acesso a noções básicas de Física das Radiações, com sua tamanha repercussão e importância social levam a formação de cidadãos incapazes de ter um posicionamento crítico e fundamentado sobre este assunto.

## **1.1 O QUE DIZEM OS DOCUMENTOS OFICIAIS**

Os documentos oficiais elaborados pelos Ministério da Educação e Cultura (MEC) trazem contribuições e orientações, cujo papel principal é guiar o trabalho do professor

em sua tentativa de desenvolver um ensino de Física que seja capaz de contribuir para a formação científica do cidadão contemporâneo.

A construção da proposta didática contida nesta dissertação foi norteada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (BRASIL, 2000), pelas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de Física (BRASIL, 2002) e pelas Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006).

Dentro da perspectiva, o ensino de Física no Ensino Médio envolve a escolha dos temas a serem abordados de maneira que o conhecimento de Física se torne um instrumento para a compreensão do mundo em que vivemos.

Os textos referentes a esta legislação educacional também contêm diretrizes relacionadas à metodologia de ensino utilizada em sala de aula. Por exemplo, o PCN+ (BRASIL, 2002) ressaltam a importância de que os métodos de ensino sejam modificados, capacitando o aluno a responder perguntas e a procurar as informações necessárias, para utilizá-las nos contextos que forem solicitadas.

Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas, sobretudo, de dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. (BRASIL, 2002, p.23).

A busca por uma formação científica mais crítica envolve a construção de determinadas habilidades e competências a serem desenvolvidas pelos alunos. Os PCN+ para o Ensino Médio de Física apresentam os chamados temas estruturadores, onde seis temas foram escolhidos para organizar de forma mais abrangente o ensino de Física.

Este trabalho foi organizado a partir de uma abordagem do tema cinco, *Matéria e Radiação*, que ressalta a importância do estudo das radiações e suas interações com a

matéria. Trata-se de um tema motivador que permite o estabelecimento de conexão social, científica e tecnológica. Além de permitir associações com diferentes campos interdisciplinares do saber.

O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. 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. Nessa abordagem, uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, será adequado um duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; e por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, através de suas diferentes formas de interagir com a matéria. Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas propriedades trabalhadas no ensino médio, tais como condutividade e transparência, mas permite também promover, como síntese, uma concepção mais abrangente do universo físico. (BRASIL,2002, p.28).

Ainda que o tema Radiação esteja presente nas diretrizes curriculares brasileiras, observa-se que na prática há uma grande distância entre as propostas oficiais e a realidade de ensino das escolas brasileiras de Ensino Médio.

Além do que estabelecem as diretrizes curriculares citadas, a análise dos livros didáticos de Física presente no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015<sup>4</sup> revelou uma abordagem superficial do tema Física das Radiações. Algumas das obras analisadas apresentavam baixo índice de contextualização do conteúdo e outras até mesmo não apresentam uma relação do tema com aspectos ligados ao desenvolvimento

---

<sup>4</sup> Os livros didáticos, pertencentes ao programa citado, foram analisados a partir da leitura das informações apresentadas no Guia de livros didático PNLD 2015, disponível em <<http://www.fnnde.gov.br/programas/livro-didatico/guias-do-pnld/item/5940-guia-pnld-2015>>.

tecnológico. Trata-se de um dado alarmante diante da importância do livro didático como agente facilitador no processo de ensino-aprendizagem, atuando como uma fonte confiável de pesquisa e consulta para os alunos e instrumento de apoio ao trabalho do professor.

No caso específico dos alunos do curso técnico em Mecânica Industrial, existe, devido ao seu perfil profissional de atuação no campo industrial, uma necessidade ainda maior de ter acesso a aulas de Física que promovam uma construção mais sólida dos conhecimentos científicos associados ao tema Física das Radiações. Neste contexto, a importância do trabalho do professor reside na elaboração de uma estratégia didática que permita ao aluno a construção de uma visão científica sobre o tema e a sua apropriação de forma útil e extensível a diferentes práticas e situações, visto que alunos egressos deste curso irão atuar em indústrias que utilizam radiação em seus processos produtivos.

Diante do panorama exposto, a presente dissertação objetiva apresentar uma proposta de inserção da Física das Radiações, com base na proposta curricular inserida na legislação educacional acima citada<sup>5</sup>, para a disciplina de Física, para alunos do curso técnico integrado em Mecânica Industrial de uma escola técnica federal localizada em um município da Baixada Fluminense, do Estado do Rio de Janeiro. A proposta, que apresenta um enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), consiste na realização de atividades investigativas para a construção de conceitos envolvendo radiação e suas aplicações industriais, realizadas ao longo do ano de 2016.

---

<sup>5</sup> Em fevereiro de 2017, foi aprovada, por meio da medida provisória nº 746, de 2016, a Reforma do Ensino Médio, que propõe o Novo Ensino Médio. Nele, a disciplina Física não integra a Base Nacional Comum Curricular e por isso, o seu oferecimento não é mais obrigatório em todas as escolas, somente naquelas que oferecerem o itinerário formativo Ciências da natureza. Maiores informações sobre esta reforma estão disponíveis em <<http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=40361>>.

## 1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Na parte inicial do Capítulo 1, foram apresentadas as motivações para a realização deste trabalho, explicitando a situação atual do ensino de Física das Radiações em nosso país. Foram discutidas questões associadas às diretrizes curriculares brasileiras e como fatores associados ao mercado de trabalho devem ser considerados dentro do processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo. Foram colocados o problema observado e os objetivos que nortearam a construção desta dissertação.

No Capítulo 2, discutimos os referenciais teóricos que embasaram a elaboração da proposta didática: a alfabetização científica, o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) dos currículos de Ciências e o uso de atividades investigativas. A fundamentação teórica deste trabalho teve como suporte os artigos teóricos e trabalhos de pesquisa citados nesse capítulo.

O Capítulo 3 é composto por um embasamento específico de Física das Radiações, em que são apresentados os principais conceitos que serão desenvolvidos através das atividades, com destaque para o fato de que tais conceitos são apresentados considerando que o público alvo desta proposta didática é composto por alunos do ensino médio da área industrial. Por isso, também são explicitados conceitos relacionados às aplicações das radiações na indústria, apontando também aspectos de determinadas normas regulatórias da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

O Capítulo 4 traz a proposta de intervenção em sala de aula, na qual foram explicadas e descritas as diferentes atividades propostas que englobam o desenvolvimento de atividades investigativas e a realização de visitas técnicas. É apresentada a aplicação das atividades numa turma de 2º ano do curso técnico integrado em Mecânica Industrial de uma escola técnica federal. Nesse capítulo, as atividades apresentadas devem ser vistas como sugestões, cabendo ao professor fazer as adaptações necessárias de maneira a enquadrá-las no contexto de sua escola.

O Capítulo 5 apresenta uma análise preliminar de algumas das atividades aplicadas em sala de aula. São mostrados os dados levantados, analisados segundo diferentes parâmetros, de acordo com a sua natureza de coleta. Também traz algumas conclusões construídas a partir das análises realizadas.

O Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais e nele expomos algumas das conclusões sobre o trabalho, embasadas pela fundamentação teórica

Após o Capítulo 6, seguem as Referências Bibliográficas, o Apêndice A que apresenta o documento de autorização para fotografia, filmagem e gravação de voz, o Anexo A que contém um texto complementar sobre o acidente radiológico de Goiânia, o Anexo B traz a transcrição das entrevistas realizadas, o Anexo C que apresenta o material desta proposta destinados aos alunos e, por fim, o Anexo D traz o manual do professor.

Esperamos que os materiais desenvolvidos e as análises realizadas sobre os dados coletados durante o desenvolvimento desta proposta didática possam contribuir para o desenvolvimento de trabalhos futuros que tenham objetivos semelhantes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir apresentaremos os referenciais teóricos que embasaram a elaboração desta proposta didática.

A escolha por tais referenciais justifica-se pela necessidade de desenvolver um ensino de Física que não seja meramente pautado na transmissão de informações, a partir da apresentação de fórmulas, descrições e leis. É preciso trabalhar a Física em sala de aula de maneira que o aluno seja capaz de fazer uso dos conceitos físicos em outros contextos, mostrando a eles a oportunidade de utilizar estas teorias científicas na resolução de problemas concretos, pertencentes ao seu cotidiano.

### 2.1 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

O currículo e as relações que a escola estabelece com a sociedade sofrem forte influência de aspectos políticos, econômicos, sociais e culturais. O momento histórico de um dado país terá claras relações com as políticas governamentais para a Educação, buscando atender demandas de diferentes naturezas. Sendo assim, as expectativas quanto ao papel da educação num país podem variar desde uma proposta de formação de uma elite intelectual até a universalização do acesso escolar.

A ciência pode atender aos interesses de grupos específicos, resultando, portanto, em bens coletivos ou em benefícios muito particulares. Ela pode levar a produtos que promovam a qualidade de vida humana e de outros seres vivos, ou gerar aplicações indesejáveis do ponto de vista ético e dos interesses socioambientais. (MORAIS; ANDRADE, 2010, p.2)

A promulgação da nova Lei de Diretrizes e Bases (LDB) em 1996, seguida da publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) em 1999 e das Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) em 2002,



apontam que o Brasil assumiu uma perspectiva mais democrática com relação à Educação. Fica, desta forma, evidenciada uma tendência de promover uma formação do aluno para a prática social, deixando de contribuir apenas com o conhecimento técnico.

O currículo de Ciências passou a apresentar expectativas sociais que o afastaram do papel de exclusivo formador de futuros cientistas que deveriam compor a elite intelectual do país.

Com esta compreensão, o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, desenvolvendo meios para a interpretação de fatos naturais, a compreensão de procedimentos e equipamentos do cotidiano social e profissional, assim como para a articulação de uma visão do mundo natural e social. Deve propiciar a construção de compreensão dinâmica da nossa vivência material, de convívio harmônico com o mundo da informação, de entendimento histórico da vida social e produtiva, de percepção evolutiva da vida, do planeta e do cosmos, enfim, um aprendizado com caráter prático e crítico e uma participação no romance da cultura científica, ingrediente essencial da aventura humana. (BRASIL,1999, p.208)

Surge, então, um ensino de Ciências que se preocupa com a formação do aluno como um cidadão crítico e atuante em sua sociedade.

Segundo Sasseron e Carvalho (2011), os diferentes termos utilizados, Enculturação Científica. Letramento Científico ou Alfabetização Científica, apresentam uma linha tênue entre eles, algumas vezes atribuídas à tradução. Todos estão associados aos mesmos três eixos estruturantes que marcam grandes linhas orientadoras para o trabalho em sala de aula:

- Compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais;
- Compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática;

- Entendimento das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

A partir deste ponto, será usado apenas o termo Alfabetização Científica, opção pessoal justificada por compartilhar da ideia defendida por Sasseron e Carvalho (2011, p.61):

(...)usaremos o termo “alfabetização científica” para designar as ideias que temos em mente e que objetivamos ao planejar um ensino que permita aos alunos interagir com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo modificá-los e a si próprio através da prática consciente propiciada por sua interação cerceada de saberes de noções e conhecimentos científicos, bem como das habilidades associadas ao fazer científico.

Segundo Carvalho et al (2013), a concepção do ensino de Ciências tendo por objetivo uma *alfabetização científica* teve influência de diferentes trabalhos. As pesquisas do epistemólogo Jean Piaget mostraram como a humanidade realiza a construção do conhecimento, ressaltando a importância de um problema para o início deste processo. O aluno como agente do pensamento e o professor como um orientador na construção de novos conhecimentos. Já os trabalhos de Vygotsky apontam a importância do papel do professor na construção de um novo conhecimento, mostrando este como um elaborador de questões que irão orientar seus alunos potencializando a construção de novo conhecimentos.

Para Carvalho et al (2013, p.5):

Um dos pontos mais importantes da epistemologia das Ciências, e que coincide com os referenciais teóricos já descritos é a posição de Bachelard (1938) quando propõe que todo o conhecimento é a resposta de uma questão. Entretanto não deve ser uma questão ou um problema qualquer. Essa questão ou este problema, para ser uma questão para os alunos, deve estar dentro de sua cultura, sendo interessante para eles de tal modo que eles se envolvam na procura de buscarem uma solução e na busca desta solução deve permitir que os mesmos exponham os seus conhecimentos espontâneos sobre o assunto.

Em sua teoria, Vygotsky (1984) teve como base o desenvolvimento como resultado de um processo sócio histórico, ressaltando o papel da linguagem e da aprendizagem. Outro ponto importante de sua teoria foi mostrar a importância do trabalho em grupo, já que para ele, é na interação entre as pessoas que em primeiro lugar se dá a construção do conhecimento que só depois será intrapessoal.

Zômpero e Laburú (2011) apontam que para o pedagogo americano John Dewey, a educação está centrada no desenvolvimento da capacidade de raciocínio e espírito crítico do aluno. Sendo assim, experiência e aprendizagem não podem ser separadas.

A formação para o trabalho no Brasil sempre esteve associada à formação de mão de obra, principalmente em virtude do fato de no surgimento da educação profissional esta configura-se como uma opção para aqueles que não poderiam se manter nos estudos e que, portanto, necessitavam ingressar no mercado de trabalho o mais rápido possível. A formação profissionalizante, tradicionalmente, é vista como algo destinada à classe trabalhadora, na qual valoriza-se o trabalho manual.

Segundo a lei n.9394/96 (BRASIL,1996), atual Lei de Diretrizes e Bases (LDB), a educação profissional, integrada às diferentes formas de educação, ao trabalho, à ciência e à tecnologia, objetiva garantir ao cidadão o direito ao permanente desenvolvimento de aptidões para a vida produtiva e social.

A alfabetização científica no âmbito do ensino profissional torna-se requisito básico para que seus alunos possam participar ativamente da sociedade tecnológica como cidadão, capazes de tomar decisões e não apenas realizar funções de meramente operacionais.

O conceito de alfabetização científica, no campo da formação profissional, é então associado ao conceito de saber funcional, tendo em vista que o saber do técnico é prioritariamente voltado para a resolução de problemas concretos e para a intervenção profissional enquanto detentor de saberes úteis, significativos e pertinentes. (LACERDA,1997, p.92).

Nesta perspectiva, surgem desafios associados a encontrar maneiras que sejam capazes de proporcionar uma alfabetização científica adequada para alunos da educação profissional.

Uma possível solução para as questões levantadas é apresentada por Lacerda (1997) que afirma que a alfabetização científica no contexto da formação profissional deveria ser estreitamente associada a um processo de explicitação da plausibilidade dos conhecimentos científicos implícitos aos conhecimentos técnicos e da funcionalidade da base científica dos saberes adquiridos. Desse modo, o enunciado científico terá garantida sua validade fora do laboratório e da sala de aula, em outros contextos que não o do manual escolar ou do discurso do professor.

## 2.2 O ENFOQUE CTS

Segundo Rodrigues (2014), alguns aspectos relacionados ao estabelecimento de um processo de ensino–aprendizagem, expostos na tabela 1, que seja capaz de promover uma real alfabetização científica, devem ser considerados:

Por quê?	Para quê?	Como?
Relevância social.	Cidadania consciente	Enfoque CTS Investigação Argumentação

Tabela 1-Aspectos relacionados a alfabetização científica.

(Fonte: Autoria própria)

Em primeiro lugar, é preciso considerar o papel preponderante das relações CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e realizar uma ampliação de foco de estudos. Em seguida, deslocar o papel do aluno na sala de aula de receptor passivo de

conhecimentos escolares para sujeito ativo na construção do conhecimento. (RODRIGUES, 2014, p.19).

A minha defesa por um currículo de ciências com ênfase em CTS justifica-se por necessidade evidente de abordar a ciência de maneira mais ampla, atendendo a um objetivo maior de inserção em uma cultura científica e não apenas promovendo uma capacitação daqueles alunos que pretendem seguir carreiras científicas.

Dentro da perspectiva do ensino tradicional, as aulas de Física são vistas como momentos nos quais o aluno do ensino médio deve saber aplicar fórmulas e resolver alguns exercícios de álgebra e, em alguns casos, seguir um roteiro fechado para desenvolver alguma atividade experimental. A dinâmica desenvolvida, na maioria das vezes, não desperta o interesse dos estudantes pela Física e a faz ser vista como algo acabado e descontextualizado do cotidiano do aluno.

A instrução tradicional faz com que a Física seja encarada como algo sem relevância para o dia-a-dia do aluno que, apesar de viver em um mundo altamente influenciado pela tecnologia, não consegue compreender as associações existentes entre o que aprende na escola média e os inúmeros elementos tecnológicos que o cercam.

Uma consequência da abordagem tradicional de Ciências é a formação de alunos que não conseguem ter um posicionamento crítico diante de questões tecnocientíficas de interesse social, como a produção de alimentos transgênicos e o uso de células tronco. Desta forma, são formados cidadãos que tratam os conhecimentos adquiridos em sala de aula como elementos estanques, incapazes de auxiliar na tomada de decisões no caso de problemas tecnológicos que de alguma maneira estão associados a questões sociais amplas e que, portanto, envolve uma responsabilidade social de cada um dos integrantes desta sociedade.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino de Ciências Naturais (BRASIL, 1997, p. 21) apontam que:

Numa sociedade em que se convive com a supervalorização do conhecimento científico e com a crescente intervenção da tecnologia no dia-a-dia, não é possível pensar na formação de um cidadão crítico à margem do saber científico.[...]É importante que se supere a postura “cientificista” que levou durante muito tempo a considerar-se ensino de Ciências como sinônimo da descrição de seu instrumental teórico ou experimental, divorciado da reflexão sobre o significado ético dos conteúdos desenvolvidos no interior da Ciência e suas relações com o mundo do trabalho.

Ainda de acordo com tais parâmetros (1997, p.25), “não há neutralidade nos interesses científicos das nações, das instituições, nem dos grupos de pesquisa que promovem e interferem na produção do conhecimento”.

As necessidades do mundo contemporâneo, no qual emergiu um novo modo de produção do conhecimento (GIBBONS *et al*, 1994) com características mais transdisciplinares que disciplinares, não são atendidas pelo sistema tradicional de educação. A solução pode residir na instauração de um currículo que seja capaz de promover uma articulação efetiva entre ciência, tecnologia e sociedade.

(...)qualquer que seja o paradigma, escolher entre uma vulgarização “efeito de vitrine” ou “transmissão de poder social”, não se trata de uma escolha científica, mas de uma opção sociopolítica, eventualmente guiada por uma ética. Uma escolha engendrará uma sociedade tecnocrática com pouca liberdade, a outra permitirá aos cidadãos tomar decisões em relação à sua vida individual e a sua existência coletiva. (FOUREZ, 1995, p.223).

Nos currículos com enfoque CTS procura-se evidenciar como os contextos social, cultural e ambiental influenciam nas relações de efeito que cada um dos elementos do tripé (Ciência, Tecnologia e Sociedade) provocam sobre os outros. Estas interações são exemplificadas em MCKAVANAGH e MAHER (1982, p.72 APUD SANTOS E MORTINER 2002, p.121).

<b>Aspectos da abordagem de CTS</b>	
<b>Aspectos de CTS</b>	<b>Esclarecimentos</b>
1. Efeito da Ciência sobre a Tecnologia	A produção de novos conhecimentos tem estimulado mudanças tecnológicas.
2. Efeito da Tecnologia sobre a Sociedade	A tecnologia disponível a um grupo humano influencia sobremaneira o estilo de vida desse grupo.
3. Efeito da Sociedade sobre a Ciência	Por meio de investimentos e outras pressões, a sociedade influencia a direção da pesquisa científica.
4. Efeito da Ciência sobre a Sociedade	O desenvolvimento de teorias científicas podem influenciar a maneira como as pessoas pensam sobre si próprias e sobre problemas e soluções.
5. Efeito da Sociedade sobre a Tecnologia	Pressões públicas e privadas podem influenciar a direção em que os problemas são resolvidos e, em consequência, promover mudanças tecnológicas.
6. Efeito da Tecnologia sobre a Ciência	A disponibilidade dos recursos tecnológicos limitará ou ampliará os progressos científicos.

Figura 1- Aspectos da abordagem de CTS.

(Fonte: SANTOS E MORTINER, 2002)

Aikenhead (1994) sugere que as atividades com ênfase CTS sejam organizadas de acordo com a seguinte sequência:

1ª etapa: Introdução de um problema social.

2ª etapa: Análise da tecnologia relacionada ao tema social.

3ª etapa: Estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida.

4ª etapa: Estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado.

5ª etapa: Discussão da questão social original.

Santos e Mortimer (2002) afirmam que o estudo de temas a partir da sequência sugerida acima permite a introdução de questões sociais a serem discutidos pelos alunos, de forma a propiciar o desenvolvimento da capacidade de decisão.

(...) a abordagem dos temas é feita por meio da introdução de problemas, cujas possíveis soluções são propostas em sala de aula após a discussão de diversas alternativas, surgidas a partir do estudo do conteúdo científico, de suas aplicações tecnológicas e consequências sociais. (SANTOS; MORTIMER, 2002, p.122)

Aikenhead (1996) aponta que a inserção do enfoque CTS pode ser feita no currículo de diversas formas ou em diversos níveis. Também sugere uma classificação destes níveis em oito categorias, conforme mostrado na figura 2. Deve-se destacar que não há um nível mais correto de inserção CTS no currículo, onde o fundamental é adequar a escolha do nível às necessidades da escola onde as atividades serão desenvolvidas.

Categoria		Características
1	Motivação através de conteúdo CTS.	Menção breve de conteúdo CTS como forma de atrair o interesse do aluno.
2	Inserção casual de conteúdo CTS.	Estudo curto de conteúdo CTS atrelado ao conteúdo científico.
3	Inserção proposital de conteúdo CTS.	Estudo sistemático e coerente de conteúdo CTS atrelado ao conteúdo científico.
4	Disciplina através de conteúdo CTS.	Conteúdo CTS como organizador do conteúdo científico de uma disciplina.
5	Ciência através de conteúdo CTS.	Conteúdo CTS como organizador do conteúdo científico.
6	Ciência com conteúdo CTS.	Foco no conteúdo CTS. O estudo do conteúdo específico enriquece a aprendizagem.
7	Inserção de ciência em conteúdo CTS.	Foco no conteúdo CTS. O conteúdo específico é mencionado mas não é abordado sistematicamente.
8	Conteúdo CTS.	São estudadas questões tecnológicas ou sociais maiores. O conteúdo específico, quando citado, serve apenas para indicar um <i>link</i> com a ciência.

Figura 2 -Categorias de inserção CTS no currículo.

(Fonte: RODRIGUES, 2014, p.22)



Questões de cunho tecnológico, em geral apresentam algum interesse social e, por isso, tendem a despertar mais o interesse dos alunos pela Física. Porém, deve-se destacar que a simples inserção de temas sociais no currículo não garante mudanças reais na prática pedagógica.

Para Santos (2007), a inserção de temas sociais no currículo também requer ações transformadoras no ambiente escolar, que passam pelo resgate da função social da educação em ciências. A inclusão de novos conteúdos, bem como a ampliação de carga horária em ciências ou implantação de laboratórios sofisticados não basta. É preciso mudança de postura e de objetivos pedagógicos em sala de aula.

### **2.3 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO**

Segundo Chassot (2003) pode-se dizer que se fará alfabetização científica quando a escola, em todos os níveis de ensino, cumprir seu papel de capacitar os indivíduos para que saibam utilizar os conhecimentos científicos adquiridos para resolver problemas do dia –a- dia e auxiliar na tomada de decisões conscientes, percebendo que a produção e o uso da ciência tanto podem contribuir para a melhoria na qualidade de vida, quanto podem ser fatores limitantes para o seu desenvolvimento.

Dentro deste contexto, uma opção para a promoção da alfabetização científica é a incorporação de atividades investigativas ao ensino de Ciências. Assim, os alunos por meio da observação e da ação, poderão perceber que o conhecimento científico se dá por meio de uma construção. Para que esta percepção ocorra, é preciso que o aluno saia de sua postura passiva tradicional que carrega a imagem da ciência como algo incontestável e acabado.

Carvalho et al (2013) descrevem as sequências de ensino investigativa (SEIs) como sequências de atividades abrangendo um tópico do programa escolar que, na

maioria das vezes, são iniciadas por um *problema*, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado. Por promover a contextualização do conhecimento no dia a dia dos alunos, permite que eles possam sentir a importância da aplicação do conhecimento construído do ponto de vista social.

As sequências de ensino investigativas objetivam permitir aos alunos:

- Condições de trazer seus conhecimentos prévios para a construção de novos;
- Levantarem hipóteses, permitindo a transposição conhecimento espontâneo para o científico;
- Procurar uma metodologia para solução do problema, levando às implicações e às conclusões dela provenientes.

As atividades investigativas podem ser encaradas como um problema a ser resolvido pelo aluno.

As SEIs devem ter, em geral, segundo Carvalho et al (2013) algumas atividades chaves:

- Iniciada por um *problema* que introduz os alunos no tópico desejado. Este problema deve fazer sentido para eles, ou seja, deve estar situado num contexto de vida real.
- Após a resolução do problema pelos alunos, deve ser realizada uma *atividade de sistematização do conhecimento* construído por eles.

- Realizar uma atividade para promover a *contextualização* no dia-a-dia dos alunos, revelando a *importância social* da aplicação do conhecimento construído.

Zômpero e Laburú (2011) destacam que o ensino por investigação passou por modificações em função das mudanças e necessidades da sociedade. Atualmente, a ideia não mais é formar cientistas como fora na época dos grandes projetos, e sim, promover o desenvolvimento de habilidades cognitivas e da capacidade de argumentação do aluno. Há maneiras distintas de se desenvolverem as atividades investigativas, porém em todos os casos concorda-se que são baseadas em problemas que os alunos devem resolver.

Portanto, o problema proposto tem um papel central dentro de uma atividade investigativa e por isso deve apresentar algumas características que segundo Jimenez (2010) o configuram como um problema autêntico: não deve apresentar solução imediata e nem óbvia, deve ser relevante para o aluno, requer processos de indagação para ser solucionado, deve ser aberto, ou seja, não deve ter uma única solução aceitável.

Para Capechi (2013, p.25) “(...) problematizar é formular problemas diferentes daqueles que os alunos estão acostumados a elaborar, de forma a proporcionar oportunidades para que novos conhecimentos sejam construídos”.

De acordo com Azevedo (2004), uma SEI pode ser iniciada por:

- Demonstrações Investigativas
- Laboratório Aberto
- Questões abertas
- Problemas abertos

A escolha por qual ou quais atividades utilizar em sala deve ser feita pelo professor, tendo em vista o tema a ser abordado e o público discente envolvido, sempre visando dar oportunidade aos alunos de levantarem e testarem suas hipóteses, passarem da ação manipulativa à intelectual estruturando seu pensamento e apresentando as argumentações discutidas em sala de aula.

As *demonstrações investigativas* partem da apresentação pelo professor de um problema ou fenômeno a ser estudado e levam a investigação a respeito desse fenômeno. Contribuem para o ensino de Física nos seguintes pontos: percepção das concepções dos alunos, maior participação e interação do aluno em sala de aula, valorização da interação do aluno com o objeto de estudo e valorização da aprendizagem de atitudes e não apenas conteúdo.

Já o *laboratório aberto* busca a solução de um problema que será respondida por uma manipulação experimental. Após a proposição de um problema autêntico, uma atividade de laboratório aberto deve apresentar algumas a seguinte sequência de etapas:

ETAPAS	CARACTERÍSTICAS
Levantamento de hipóteses	As ações manipulativas e o levantamento de hipóteses. Nesta etapa, observa-se que a importância do erro como uma ferramenta de ensino.
Elaboração de um plano de trabalho	Corresponde à elaboração de uma estratégia de como o experimento deve ser realizado.
Montagem do arranjo experimental e coleta de dados	Corresponde à realização do experimento propriamente dita.

Análise de dados	O professor deverá atuar de maneira a promover a cooperação entre linguagens, mostrando a especialização da tabela e do gráfico.
Conclusão e sistematização dos conhecimentos	Corresponde à formalização de uma resposta, discutindo as hipóteses iniciais e suas consequências.

Tabela 2-Etapas de um laboratório aberto.

(Fonte: Dados extraídos de AZEVEDO, 2004).

As *questões abertas* são usadas para propor aos alunos fatos relacionados à sua vida diária, cuja explicação está ligada a conceitos já construídos. É importante que o aluno faça o registro escrito da resposta de modo que ele vá organizando uma “memória” dos fatos e das discussões propostas.

Ao trabalhar a elaboração verbal e escrita, Carvalho et al (2004), aponta que exercitamos o desenvolvimento da argumentação dos alunos e de sua redação, competências hoje requisitadas pelo Exame Nacional do Ensino Médio - ENEM, como demonstrar o domínio da norma culta da Língua Portuguesa e do uso da linguagem científica; aplicar conceitos para a compreensão de fenômenos naturais, selecionar e organizar informações para enfrentar situações-problemas; organizar informações e conhecimentos disponíveis em situações concretas, para a construção de argumentos consistentes.

Por fim, Azevedo (2004), destaca que os problemas abertos são situações gerais apresentadas aos grupos ou à classe nas quais se discute desde as condições de contorno até as possíveis soluções para a situação apresentada pelo professor por meio da proposição do problema. Diferentemente das questões abertas, os problemas abertos devem levar à matematização dos resultados.

Também chamados de problemas de enunciado aberto, trazem uma questão aberta, ampla, em que cada problema dará uma nova condição de hipóteses a serem analisadas. São capazes de oferecer aos alunos as seguintes possibilidades: o desenvolvimento do raciocínio lógico, a capacidade de autonomia, o estímulo a criatividade e utilizar a vivência cotidiana para resolver o problema, trançando hipóteses e planos estratégicos para esta resolução.

Azevedo (2004) alerta que, apesar de permitir o desenvolvimento de muitas habilidades e o alcance de muitos objetivos, a inclusão dos problemas abertos nas aulas de Física, deve ser uma decisão muito bem pensada pelo professor, tendo em vista o elevado número de aulas necessárias para o desenvolvimento deste tipo de atividade.

A proposta das SEIs está pautada na ideia de um ensino cujos objetivos se concentram tanto no aprendizado de conceitos quando no de ações e valores próprios da cultura científica. Desta forma, uma avaliação somativa característica do ensino tradicional, que visa a classificação dos alunos, mostra-se incompatível com esta proposta.

De acordo com Carvalho et al (2013), as inovações didáticas devem estar ligadas a inovações na avaliação, pois uma nova postura metodológica em sala de aula fica inconsistente com uma postura tradicional de avaliação.

A mudança postural também deverá atingir professores e estudantes, de maneira que seja criado um ambiente que propicie e valorize a participação de todos. As contribuições oriundas das experiências pessoais dos alunos agregam valor à atividade desenvolvida, propiciando maior empenho, interesse e até mesmo criando uma espécie de envolvimento emocional com o processo de aprendizagem, visto que o aluno tem a possibilidade de reconhecer nele o seu universo, com seus problemas e dificuldades.

O professor apresenta um papel de destaque numa atividade investigativa, à medida que, deve propor um problema formulado de maneira que de fato haja o que investigar. Cabe ao docente, elaborar boas perguntas e estimular os alunos a assumirem uma postura de busca por respostas, abandonando o tradicional comportamento passivo onde apenas aguarda por respostas prontas, sem o menor esforço.

A função do professor será a de sistematizar os conhecimentos gerados, não no sentido de “dar a resposta final”, mas de assumir o papel de crítico da comunidade científica, assim, quando os alunos apresentam soluções incorretas, o professor deve argumentar com novas ideias e contraexemplos. (CARVALHO et al, 1998, p.16-17).

Um exemplo deste tipo de postura que o professor deve estimular o aluno a assumir poderá ser observado nas atividades descritas no item 4.5, no qual são descritas as dinâmicas aplicadas com alunos do curso técnico integrado em Mecânica Industrial. Nelas, os alunos recebem um problema a ser respondido e para isso, deverão levantar hipóteses, testá-las, dialogar entre si para que possam coletivamente construir justificativas e propor explicações para o que observam.

É preciso compatibilizar as atividades das SEIs com a avaliação da aprendizagem dos alunos: avaliação dos conceitos, termos e noções científicas, avaliação das ações e processos da ciência e avaliações das atitudes exibidas durante as atividades de ensino.

Uma avaliação pensada como formativa, realizada no decorrer do ensino de uma SEI, tem a finalidade também de criar oportunidades para uma autoavaliação por parte dos alunos, cabendo ao professor orientá-los no reconhecimento de seus avanços e nas conquistas que ainda precisam ser alcançadas. A ideia principal desta avaliação é servir de um instrumento que permita que alunos e professor confirmem se estão ou não aprendendo.

O uso das atividades investigativas, como uma inovação ao tradicional, também apresenta suas próprias dificuldades e barreiras a serem superadas. De acordo com Sasseron (2013), a tomada de consciência de ações não é fácil para os alunos nem para

os professores, já que conduzir intelectualmente o aluno fazendo uso de questões, de sistematização de suas ideias e de pequenas exposições não é tarefa trivial.

Dentre as dificuldades apontados pelos professores diante da utilização das atividades investigativas em suas aulas, destacam-se:

- Necessidade de assumir um novo papel na sala de aula;
- Fomentar o trabalho em grupo na sala de aula;
- Gerenciamento do tempo;
- Inclusão deste tipo de atividades na avaliação dos alunos;
- Lidar com os pais, diretores das escolas e outros membros da comunidade, que não compreendem as linhas orientadoras do ensino por investigação.

Muitos professores alegam que a ausência de laboratório na escola, os impede de desenvolver atividades investigativas em suas aulas, visto que se encontram impossibilitados de promover atividades manipulativas. Entretanto, um problema a ser investigado não precisa ser necessariamente experimental. Podendo ser mediado por outros recursos como textos, vídeos, simulações de computador, visitas técnicas e problemas de lápis e papel.

No caso específico do tema Física das Radiações, havia uma impossibilidade de desenvolvimento de atividades experimentais, visto que não poderíamos propor que os alunos manuseassem fontes radioativas. Entretanto, no caso peculiar dos alunos do curso técnico em Mecânica Industrial, existe, devido ao seu perfil profissional de atuação no campo industrial, uma necessidade ainda maior de ter acesso a aulas de Física que promovam uma construção mais sólida dos conhecimentos científicos associados ao



tema Física das Radiações. O fato da escola analisada neste trabalho ficar situada numa região de distrito industrial também ressaltou esta primordialidade.

O uso das atividades investigativas apresentou-se como uma solução viável para o desenvolvimento desta proposta pedagógica, sendo mediada por recursos como textos, vídeos, questões de vestibular e visitas técnicas, conforme será apresentado no capítulo 4.

As visitas realizadas, além de proporcionaram uma interação na prática dos aspectos vistos nas aulas teóricas de Física das Radiações, também se configuraram como uma excelente oportunidade de explorar a relação entre ciência, tecnologia e sociedade.

Se uma atividade investigativa não precisa ser necessariamente experimental, uma atividade experimental também não obrigatoriamente pode configurar uma atividade investigativa, já que segundo Tamir (1991 apud Borges, 2002) no denominado laboratório tradicional, o aluno realiza atividades práticas, envolvendo observações e medidas, acerca de fenômenos previamente determinados pelo professor. O uso de um roteiro fechado não estimula o abandono da passividade por parte dos alunos.

Apesar das dificuldades e barreiras encontradas pelos professores para a implementação de atividades associadas ao ensino por investigação, considera-se possível e necessária a utilização de atividades investigativas nas escolas por favorecer, além do desenvolvimento de habilidades, também a capacidade de argumentação e de possibilitar aos alunos formas de pensamentos mais rigorosas, críticas e criativas que possibilitarão a formação de futuros cidadãos mais participativos e ativos na sociedade.

As atividades investigativas podem ser desenvolvidas para diferentes níveis de ensino e para diferentes áreas científicas.

Zômpero e Laburú (2011) apontam que diversos autores concordam o uso de atividades investigativas aplicadas ao ensino de Ciências proporciona ao aluno, além da aprendizagem de conceitos e procedimentos, o desenvolvimento de diversas habilidades cognitivas e a compreensão da natureza da Ciência.

No caso do ensino de Física, algumas das contribuições das atividades investigativas são:

- Percepção das concepções dos alunos, pois é a partir delas e da manipulação do material escolhido que os alunos irão levantar suas hipóteses;
- Aproximação de uma atividade de investigação científica;
- Maior participação e interação do aluno em sala de aula;
- Valorização da interação do aluno com o objeto de estudo;
- Valorização da aprendizagem de atitudes e não apenas conteúdos;
- Possibilidade da criação de conflitos cognitivos em sala de aula.

## **2.4 ARGUMENTAÇÃO**

Uma ferramenta bastante útil para análise das discussões desenvolvidas pelos alunos durante as atividades de investigação é o Padrão de Argumento de Toulmin.

De acordo com Capecchi e Carvalho (2004), trata-se de uma ferramenta poderosa para a compreensão da argumentação no pensamento científico. É descrito como um

padrão para a análise de argumentos que identifica, além dos elementos básicos que os compõem, as relações entre estes elementos.

A figura a seguir representa esquematicamente o modelo proposto por Toulmin:

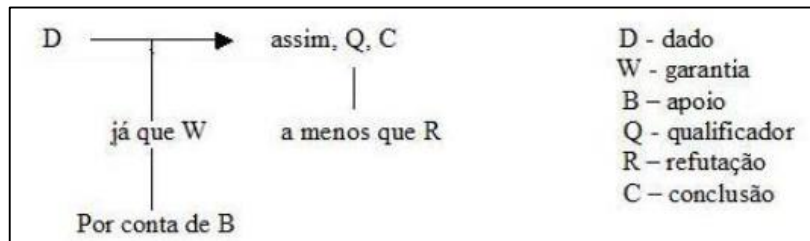


Figura 3-Padrão de Argumento de Toulmin. (Fonte: ASEM, E,2009)

De acordo com o modelo de Toulmin, os elementos fundamentais de um argumento segundo o padrão acima são o dado, a conclusão e a justificativa. De forma que é possível apresentar um argumento válido utilizando apenas estes constituintes fundamentais: a partir de um dado, em função de uma dada justificativa, pode-se chegar a uma dada conclusão. Entretanto este argumento será mais completo se forem apontadas as condições nas quais a justificativa apresentada é válida ou não. Pode-se acrescentar um qualificador modal para apresentar estas condições.

Aplicando o padrão proposto por Toulmin (2006), o professor verifica se o aluno, a partir de um dado (D), apresenta uma justificativa (W) calcada em um conhecimento básico (B), podendo acrescentar um qualificador modal (Q). Assim, ele pode chegar a uma conclusão (C) acerca do fenômeno ou apresentar uma refutação (R) da justificativa, que especifica as condições em que ela não seja válida.

Considerando o processo de aprendizagem, é necessário considerar que a construção de argumentos é gradual e requer um trabalho coletivo, já que um argumento válido pode ser construído a partir da contribuição de diferentes alunos.

A argumentação dos alunos mostra como estão aprendendo, configurando, portanto, uma possível ferramenta para fins de avaliação da aprendizagem. Uma forma

de melhor analisar a argumentação dos alunos é utilizar a gravação em vídeo ou em áudio das atividades desenvolvidas.

Professores relatam dificuldades para realizar o acompanhamento e análise das discussões entre os estudantes durante as atividades realizadas em sala de aula. Uma questão sempre presente é como o docente pode participar dos debates sem induzir o raciocínio dos alunos.

Um grande obstáculo para o desenvolvimento de tarefas que proporcionem discussões em sala de aula, é a dificuldade do professor em organizá-las, desde a administração da gradativa adaptação dos alunos ao processo de ouvir os colegas, até o direcionamento de suas questões para uma sistematização de ideias, que leve a conclusões. Portanto, o acompanhamento da forma com que os professores administram o processo, como intervêm com o intuito de dar suporte à fala dos alunos durante o trabalho com atividades envolvendo argumentação, é essencial para que seu desenvolvimento seja possível. (CAPECCHI; CARVALHO; SILVA;2002, p.154).

A criação de atividades estimulantes para que os alunos argumentem em sala de aula constitui um instrumento fundamental dentro de um processo de ensino-aprendizagem, cujo objetivo é desenvolver uma postura cooperativa por parte dos alunos e incentivar a sua participação ativa.

No caso das atividades que serão apresentadas no capítulo 4, o levantamento de dados relativos à argumentação dos alunos foi mediado pela utilização de gravadores que permitiram o registro das falas dos alunos durante a realização das sequências investigativas.

## 2.5 INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Uma forma de se averiguar ao longo das aulas se a alfabetização científica está em desenvolvimento entre os alunos é através da utilização dos indicadores de alfabetização científica. Segundo Sasseron e Carvalho (2008), uma vez que os indicadores nos oferecem a oportunidade de visualizar, com maior clareza, os avanços dos alunos nas atividades propostas pelo professor, importa destacar que estes indicadores também demonstram o aluno como sujeito de sua própria aprendizagem. O professor tem, através dos indicadores, pistas sobre como aprimorar sua prática de modo que ela, efetivamente, alcance o aluno.

De acordo com Sasseron e Carvalho (2008, p.338):

Nossos **indicadores** têm a função de nos mostrar algumas destrezas que devem ser trabalhadas quando se deseja colocar a AC em processo de construção entre os alunos. Estes indicadores são algumas competências próprias das ciências e do fazer científico: competências comuns desenvolvidas e utilizadas para a resolução, discussão e divulgação de problemas em quaisquer das Ciências quando se dá a busca por relações entre o que se vê do problema investigado e as construções mentais que levem ao entendimento dele. Assim sendo, reforçamos nossa ideia de que o ensino de ciências deva ocorrer por meio de atividades abertas e investigativas nas quais os alunos desempenhem o papel de pesquisadores.

Os indicadores dividem-se em três grupos: **indicadores para trabalhar com os dados de uma investigação, indicadores para estruturação do pensamento e indicadores para procura do entendimento da situação analisada**. A seguir são apresentados os indicadores com a suas subdivisões em categorias e o resumo das principais ideias apontadas pelas autoras.

<b>Indicadores da Alfabetização Científica</b>		
<b>Indicadores para trabalhar com os dados de uma investigação</b>	<i>seriação de informações</i>	Indicador que não necessariamente prevê uma ordem a ser estabelecida, mas pode ser um rol de dados, uma lista de dados trabalhados.
	<i>organização de informações</i>	ocorre nos momentos em que se discute sobre o modo como um trabalho foi realizado.
	<i>classificação de informações</i>	ocorre quando se busca conferir hierarquia às informações obtidas.
<b>Indicadores para estruturação do pensamento</b>	<i>raciocínio lógico</i>	compreende o modo como as idéias são desenvolvidas e apresentadas e está diretamente relacionada à forma como o pensamento é exposto;
	<i>raciocínio proporcional</i>	mostra como se estrutura o pensamento, e refere-se também à maneira como variáveis têm relações entre si, ilustrando a interdependência que pode existir entre elas.
<b>Indicadores para entendimento da situação analisada</b>	<i>levantamento de hipóteses</i>	aponta instantes em que são alçadas suposições acerca de certo tema (pode surgir da forma de uma afirmação ou de uma pergunta).
	<i>teste de hipóteses</i>	colocar à prova as suposições anteriormente levantadas (pode ocorrer tanto diante da manipulação direta de objetos quanto no nível das idéias).
	<i>Justificativa</i>	quando em uma afirmação qualquer proferida lança mão de uma garantia para o que é proposto.
	<i>Previsão</i>	é explicitado quando se afirma uma ação e/ou fenômeno que sucede associado a certos acontecimentos
	<i>Explicação</i>	quando se busca relacionar informações e hipóteses já levantadas. (Estão relacionadas à justificativa para o problema).

Figura 4-Indicadores de Alfabetização Científica. Dados extraídos da Sasseron e Carvalho (2008 apud Penha, Carvalho e Vianna 2009, p.4).

Neste presente trabalho, tais indicadores serão utilizados para analisar as interações discursivas registradas durante a execução de atividades investigativas por parte dos alunos, após a apresentação de uma questão a ser respondida.

### 3 TÓPICOS DE FÍSICA REFERENTES AO TRABALHO

Neste capítulo serão apresentados conceitos de Física relacionados ao trabalho aqui apresentado, desenvolvido junto a alunos de Ensino Médio da área industrial, com o objetivo principal de se tornar um material complementar a literatura já existente, dirigido a professores de Física, visto que existe uma escassez de material dentro da área de Física Nuclear que apresente uma linguagem e abordagem especificamente voltadas ao público de nível médio.

Segundo Okuno e Yoshimura (2010), radiação pode ser definida como uma forma de energia, emitida por uma fonte e transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais. Consideram-se radiações as partículas atômicas ou subatômicas energéticas, denominadas de radiações corpusculares, e as ondas eletromagnéticas, também chamadas de radiações ondulatórias.

De acordo com Santos e Mól (2013), alguns átomos possuem núcleos muito energéticos devido à grande quantidade de partículas neles contidas. A emissão de diferentes partículas leva à formação de núcleos mais estáveis. Essas emissões foram chamadas de radiações nucleares ou, simplesmente, radioatividade e os átomos que as emitem chamados de radioativos. Desta forma, *radioatividade é a emissão de radiações nucleares*.

Ao contrário do que se imagina, a radioatividade não é uma invenção humana, mas sim um fenômeno natural ao qual estamos sujeitos a todo instante. O planeta Terra é radioativo; o ar que respiramos, as ruas por onde andamos, a água que bebemos, enfim, toda matéria contém uma dose de radiação.

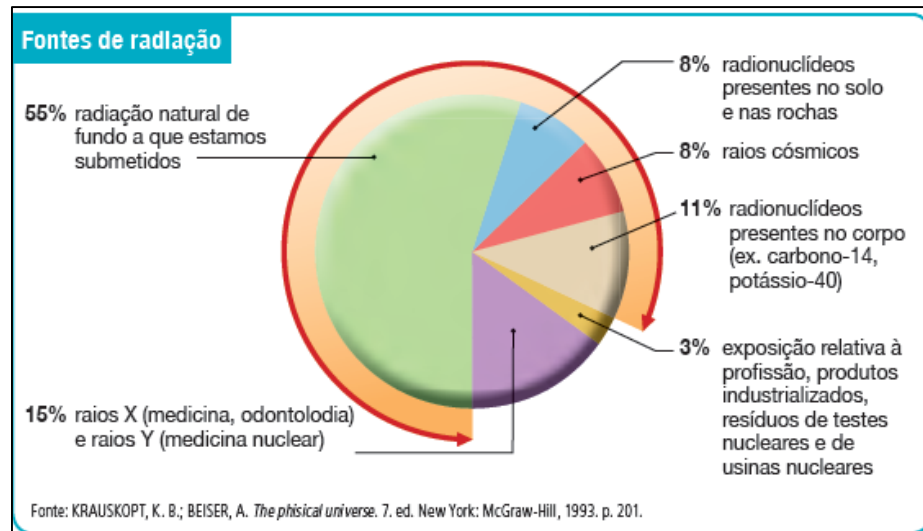


Figura 5-Proporções entre os diferentes tipos de radiação às quais estamos expostos.

(Fonte: Santos e Mól, 2013, p.269).

A maior parte das radiações que chegam à Terra são oriundas do Sol, sendo provenientes também de outros astros de nossa galáxia. Apesar de serem extremamente energéticas, a maioria dessas radiações não consegue atravessar as camadas mais altas da atmosfera, situadas acima de vinte e cinco quilômetros da superfície terrestre. Embora esse fato não seja alarmante para o cidadão, em virtude da elevada altitude envolvida, o aumento do número de voos realizado a grandes altitudes se tornou um elemento preocupante, uma vez que, neste caso, as aeronaves recebem uma quantidade de radiação cósmica significativamente superior à média que normalmente é recebida na superfície do nosso planeta.

Uma outra preocupação associada a exposição à radiação cósmica reside no aumento do buraco na camada de ozônio da atmosfera, que tem provocado uma elevação substancial do percentual devido a estas radiações.

Porém, não estamos expostos somente à radiação cósmica, pois existem alguns tipos de radiações que são emitidos espontaneamente por átomos de certas substâncias



que estão presentes em todo o planeta e, por isso, estamos sujeitos às suas radiações o tempo todo.

Os primeiros metros da atmosfera terrestre, a partir da superfície, são dominados por radiações produzidas diretamente pelo solo e rochas da superfície terrestre. O intenso processo geológico de formação do magma, que ocorreu no início da formação da Terra, concentrou algumas substâncias radioativas na crosta terrestre, tornando o planeta radioativo. Exemplos destas substâncias são o radônio e o torônio, respectivamente, produtos de decaimento do urânio e tório, que são encontrados em rochas, solos, sedimentos e minérios. Estes são gasosos e depositam-se nas partes mais baixas dos ambientes devido a seu alto peso atômico.

Um outro tipo de radiação é a radiação eletromagnética que se trata de uma forma de energia que se propaga como combinação de campos elétricos e magnéticos, variáveis no tempo e no espaço, que viajam no vácuo ou no ar à mesma velocidade da luz.

A radiação eletromagnética pode ser classificada de acordo com a frequência da onda, formando uma distribuição da radiação eletromagnética em suas diversas faixas de frequências, o chamado espectro eletromagnético. As radiações podem ser classificadas entre ionizantes e não ionizantes.

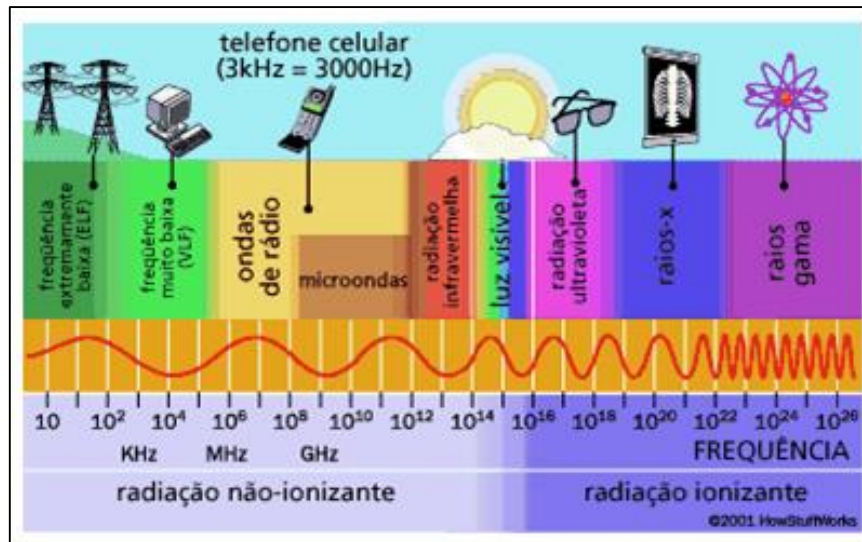


Figura 6- Espectro eletromagnético

(Fonte: [http://wiki.stoa.usp.br/Fap0459/textos/grupo\\_Eneas/Waldair](http://wiki.stoa.usp.br/Fap0459/textos/grupo_Eneas/Waldair) Acesso em set/2016)

Qual a diferença entre radiação ionizante e radiação não ionizante? Para responder a esta pergunta primeiro é preciso saber que ionizar significa formar íons.

Segundo Okuno e Yoshimura (2010), uma radiação é considerada ionizante se for capaz de arrancar um elétron de um átomo ou de uma molécula, ao qual ele está ligado por força elétrica; caso contrário, é considerada não ionizante. Neste trabalho, iremos nos deter a abordagem de radiações ionizantes.

De acordo com Cardoso e Barroso (2005), não existe ainda nenhum estudo que comprove que a radiação não ionizante causa efeitos deletérios à saúde. Seu principal efeito biológico é térmico: o aquecimento devido à energia eletromagnética. Este efeito não leva **necessariamente** a efeitos biológicos. O aquecimento de nossa pele pelos raios solares, por exemplo, é um efeito biológico. Haverá risco de queimaduras se não forem obedecidos os limites de exposição solar.

Raios-x e raios gama se enquadram no grupo das radiações ionizantes, por apresentarem capacidade de ionização, isto é, de arrancar elétrons do material durante sua passagem pelo mesmo. Tratam-se de radiações bastantes penetrantes quando comparadas aos demais tipos. As radiações gama e x apresentam origens diferentes. Os raios gama são originados em transições nucleares, ou seja, são emitidos pelo núcleo durante o processo de reestruturação interna, para atingir a estabilidade. Já os raios X tem origem em transições eletrônicas, originam-se na eletrosfera ou no freamento de partículas carregadas no campo eletromagnético do núcleo atômico ou dos elétrons.

Nós vivemos em um mundo radioativo. Sendo assim, o tempo todo estamos inevitavelmente sujeitos a emissões radioativas, oriundas de fontes naturais ou artificiais.

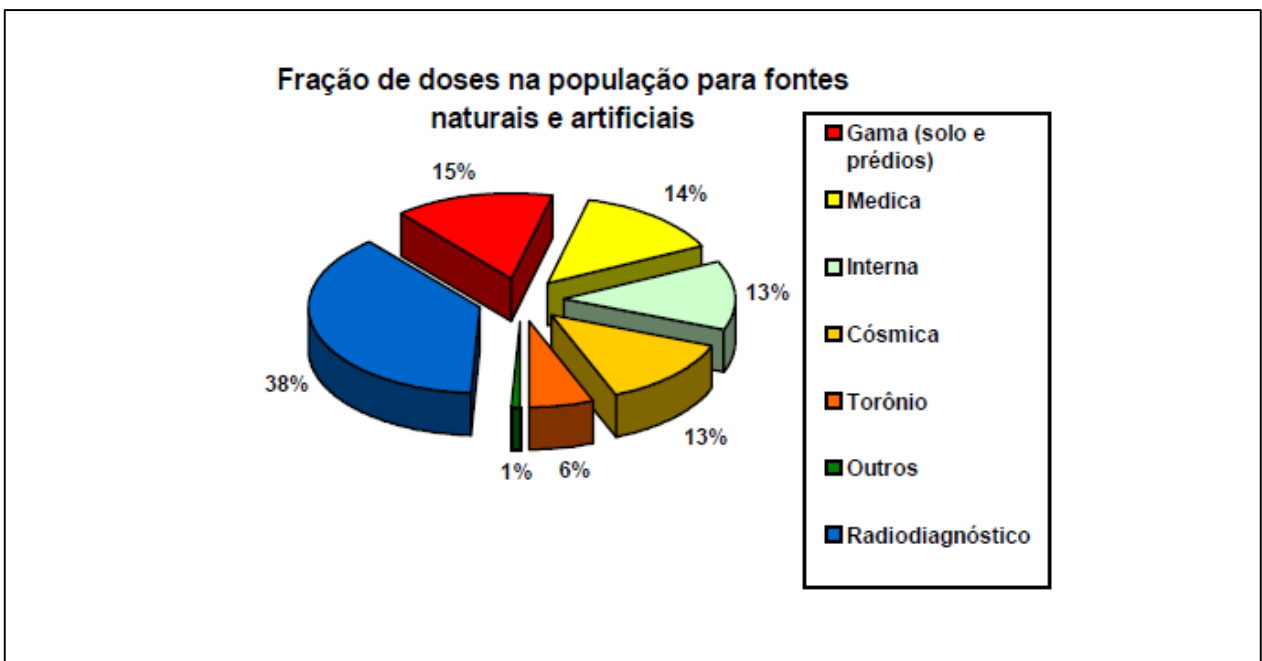


Figura 7- Distribuição da dose na população para fontes naturais e artificiais.

(Fonte: Cardoso e Barroso, 2005, p.8)

A radioatividade natural ou espontânea é aquela que ocorre em determinados elementos radioativos encontrados na natureza, como, por exemplo, na crosta terrestre e na atmosfera. As principais fontes naturais de radiação estão associadas a elementos

radioativos que tiveram sua origem quando da criação do universo ou são formados pela interação com a radiação cósmica.

As fontes artificiais de radiação são utilizadas no diagnóstico e terapia dentro da área médica, além de apresentarem usos diversos dentro da área industrial.

### 3.1 A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE

Na década de 1870, o físico inglês William Crookes<sup>6</sup> desenvolveu uma ampola de vidro de cristal, na qual se podiam observar raios luminosos que ficaram conhecidos como raios catódicos. Em 1895, fazendo estudos com esses tubos, o físico alemão Röntgen descobriu um tipo de radiação: os raios-x, conforme destacado na figura 4.

O artigo ***A Descoberta dos Raios-x: O Primeiro Comunicado de Röntgen***, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 20, número 4, dezembro de 1998, apresenta entrevista, em destaque a seguir, que Röntgen concedeu a um jornalista americano, Henry Dam, talvez no final de janeiro de 1896:

*“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*

---

<sup>6</sup> William Crookes (1832-1919).

*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 tinha 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 de raios, é claro que comecei a investigar o que eles fariam.” (DAM 1896, p. 413).*

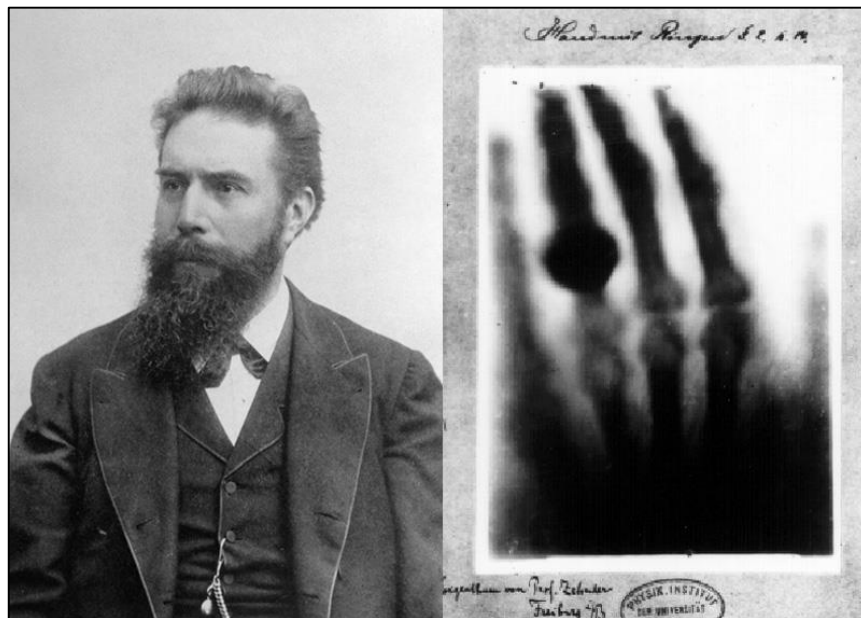


Figura 8- Willian Röntgen e ao lado da imagem do primeiro raio-X, obtido por ele em dezembro de 1896.

(Fonte: < <http://www.ibamendes.com/2010/11/raio-x-selecao-natural.html> >Acesso em nov/2016).

Ele foi o primeiro físico a ganhar o prêmio Nobel de Física em 1901. Sua descoberta logo foi difundida e esta radiação foi rapidamente teve diferentes aplicações. Esse é um bom exemplo de rápida aplicação tecnológica de descobertas científicas.

Há relatos da utilização de raios-X durante a Guerra de Canudos (1896-1897) para fins de localização dos projéteis nos corpos dos feridos, como pode ser observado na figura 9.

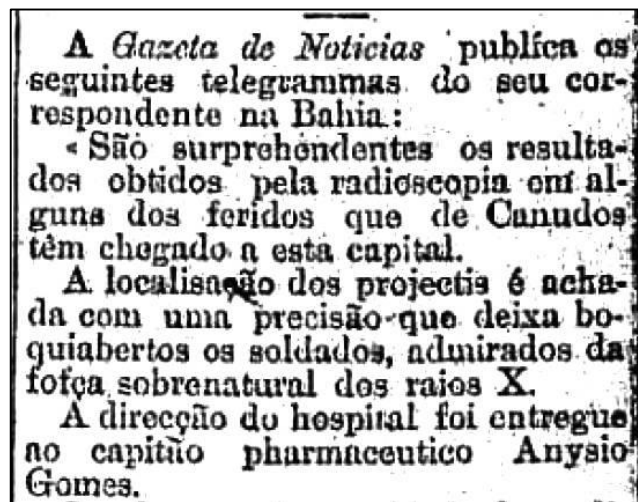


Figura 9-Notícia publicada em São Paulo no jornal A Gazeta de Notícias em 16 de agosto de 1897.

(Fonte: < <http://www.novomilenio.inf.br/santos/h0446.htm> > Acesso em nov/2016).

O médico mineiro José Carlos Ferreira Pires adquiriu o primeiro aparelho de raio-X do Brasil em 1898, três anos após a descoberta do raio-X. A primeira chapa radiográfica feita por ele, em 1898, foi da mão do então ministro Lauro Muller.

Hoje sabemos que os raios-X são emitidos quando elétrons, acelerados pela alta voltagem, se chocam com outros átomos e sofrem frenagem. Esse movimento faz com que os átomos percam energia, que é irradiada por meio de ondas eletromagnéticas, cuja frequência é maior do que a dos raios ultravioleta.

Anos depois da descoberta dos raios-X, o físico francês Becquerel<sup>7</sup> resolveu testar a possível emissão de uma radiação semelhante por uma substância fosforescente de urânio. Acidentalmente, descobriu que tal substância emitia radiação espontaneamente, e não radiação absorvida de raios solares, por exemplo. Estudando detalhadamente outras substâncias, constatou que qualquer substância composta de urânio possuía esta propriedade. Ele sugeriu à sua aluna de doutorado, a polonesa Marie Curie, que estudasse um minério de urânio chamado pechblenda ou uranita ( $\text{UO}_2$ ). Esse minério apresentava uma quantidade de radiação consideravelmente maior que os demais minérios já estudados.

Marie Curie e seu marido, Pierre Curie, trabalharam com 1400 litros do minério e isolaram átomos de dois elementos químicos até então desconhecidos. Ao primeiro, que é cerca de 400 vezes mais radioativo que o urânio, deram o nome de rádio. E ao outro, cerca de 60 vezes mais radioativo que o urânio, deram o nome de polônio, em homenagem à sua terra natal.

A figura 10 traz um registro do casal Curie em seu laboratório na França.

---

<sup>7</sup> Antoine Henri Becquerel (1852-1908)





Figura 10-Pierre e Maire Curie em seu laboratório.

(Fonte: <<https://www.nobelprize.org>> Acesso em nov/2016)

Marie Curie conseguiu determinar a massa atômica do Rádio (225) e verificou que o cloreto de rádio era espontaneamente luminoso.

Em 1903, Becquerel e o casal Curie ganharam o prêmio Nobel de Física. Três anos depois Pierre morreu e, em 1911, a Madame Curie ganhou Prêmio Nobel de Química por seus trabalhos relacionados ao isolamento do elemento rádio, que só foi conseguido em 1910. Por ser mulher, ela nunca foi membro da Academia de Ciências de Paris.

Marie Curie visitou o Brasil em 1926 e ao longo de 45 dias de viagem conheceu algumas cidades brasileiras como Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Durante sua estadia, ela deu palestras sobre o tema radioatividade e realizou algumas visitas, como ao Instituto do Rádio em Belo Horizonte, conforme mostrado na figura 11, local do primeiro centro destinado à luta contra o câncer no Brasil.



Figura 11- Marie Curie em Belo Horizonte em 1926.

(Fonte: <<https://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2015/05/06>> Acesso em nov/2016)

Por volta de 1898, Rutherford<sup>8</sup> iniciou, no Canadá, os estudos sobre a natureza dos raios de Becquerel. Um ano depois concluía que a emanção proveniente de substâncias radioativas era complexa, sendo constituída por pelo menos dois tipos de radiação, que apresentavam comportamento diferentes numa região de campo magnético. Estas foram chamadas de radiação alfa e beta.

Paul Villard<sup>9</sup>, um ano depois, identificou um terceiro tipo de radiação, denominou-a de radiação gama. Esta não sofria deflexão em campos magnéticos.

---

<sup>8</sup> Ernest Rutherford (1871-1937)

<sup>9</sup> Paul Villard (1860-1934)

Em 1934, Irene Curie<sup>10</sup>, filha do casal Curie e seu marido Frederic Joliot-Curie<sup>11</sup> produziram artificialmente, pela primeira vez, os elementos radioativos fósforo P<sup>30</sup> e nitrogênio N<sup>13</sup>, bombardeando <sup>27</sup>Al<sub>13</sub> e <sup>10</sup>B<sub>5</sub>, respectivamente, com partículas alfa emitidas por uma fonte natural de polônio-210, conforme mostrado na figura 12.

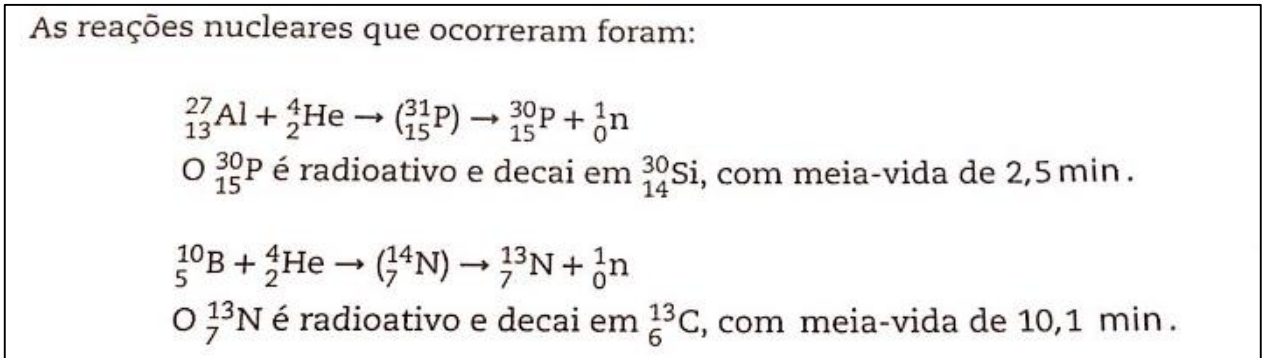


Figura 12 – Reações de produção dos elementos radioativos P-30 e N-13.

(Fonte: Okuno e Yoshimura, 2010, p.59).

Até então as radiações utilizadas na Medicina eram os raios-X, produzidos por tubos de raios-X, e as radiações alfa, beta e gama, provenientes de radionuclídeos naturais. A partir desta época, os mais diferentes tipos de radionuclídeos têm sido produzidos, bombardeando elementos não radioativos com partículas produzidas e aceleradas por máquinas. Estas máquinas forneciam partículas que, ao atingirem o alvo, induziriam reações nucleares. Segundo Okuno e Yoshimura (2010), a produção artificial de radioisótopos em grande quantidade só se tornou possível com o início do desenvolvimento de ciclotrons, por Ernest Orlando Lawrence e Milton Stanley Livingston,

---

<sup>10</sup> Irene Curie (1897-1956)

<sup>11</sup> Frederic Joliot-Curie (1900-1958)

no começo da década de 1930 e de reatores de fissão, na Segunda Guerra Mundial (1939-1945), por Enrico Fermi.

Atualmente, os radionuclídeos são utilizados nas mais diversas áreas como diagnóstico e terapia de doenças, conservação de alimentos, esterilização de materiais cirúrgicos e médicos, controle de qualidade em processos industriais etc.

Entretanto, o uso da radiação não traz apenas os benefícios citados. No início da história da radiação, os cientistas e médicos sabiam muito pouco sobre os efeitos provocados pela exposição à radiação e por isso não havia uma preocupação com questões relacionadas à radioproteção. Cientistas pioneiros em pesquisas envolvendo o uso de radiação tiveram queimaduras na pele e muitos morreram com leucemia e outros tipos de câncer, inclusive a própria Marie Curie que faleceu aos 66 anos em 4 de julho de 1934 de anemia aplástica.

### **3.2 DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA**

Quase todo elemento tem isótopos que são naturalmente radioativos. Por que alguns isótopos<sup>12</sup> são radioativos e outros não? Ou, em outras palavras, por que alguns núcleos são estáveis e não emitem nada espontaneamente, enquanto outros são instáveis e emitem vários tipos de raios?

---

<sup>12</sup> São átomos de um mesmo elemento químico que possuem a mesma quantidade de prótons (mesmo número atômico), mas diferenciam-se pelo número de massa, definido como a soma do número de prótons e o número de nêutrons.

Segundo Cardoso e Barroso (2005), a explicação para este fato estaria relacionada ao equilíbrio de forças que existem no núcleo atômico. Sabemos que cargas de mesma natureza se repelem. Como no núcleo atômico estão concentrados todos os prótons em uma região extremamente pequena, existe uma força elétrica coulombiana de repulsão entre essas partículas muito grande. A força que anula essa repulsão é denominada força nuclear forte. Trata-se de uma força resultante da interação de subpartículas que existem no núcleo atômico, entre elas os nêutrons. Em determinados átomos, há uma instabilidade grande, de forma que a energia nuclear que mantém os prótons unidos não é suficiente para reter todos eles. Como resultado, o núcleo atômico fica instável e começa a desintegrar.

No núcleo atômico atuam as forças elétrica (repulsão) e a nuclear (atração). Embora ambas diminuam de intensidade quando a distância entre as partículas em interação aumenta, a força nuclear se enfraquece muito mais com a distância que a força elétrica. Quando o núcleo contém muitos prótons e nêutrons, a distância entre as partículas naturalmente vai aumentando. Com isso, a repulsão elétrica começa a vencer a atração da força forte. As forças no núcleo começam a ficar desbalanceadas. Esse desbalanceamento faz com que os elementos pesados, com muitos prótons e nêutrons, tendam a ser radioativos, embora isótopos de elementos mais leves também possam ser radioativos, como é o caso do bário e do potássio, por exemplo.

Buscando alcançar a estabilidade, equilibrando as forças dentro do núcleo, os elementos com número de prótons maior de 92 "transmutam", ou seja, transformam-se em outro elemento. Nesse processo de desintegração, o núcleo emite partículas que eram parte integrante dele.

Como nem todos os isótopos de um mesmo elemento são radioativos, é necessário distingui-los de alguma maneira e para isso não se pode usar o número atômico como referência. Neste sentido, justifica-se o uso do número de massa. São

definidos como núclídeos os átomos que possuem números atômicos iguais e números de massa diferentes.

A classificação de um núclídeo como radioativo irá depender da proporção nêutrons /prótons, pois dependendo da sua quantidade de nêutrons, ele pode ser estável. Desta forma, existe uma proporção definida para nêutrons e prótons na qual o núclídeo localiza-se na chamada zona de estabilidade, na qual não há emissão de radiação. Fora desta região, os núclídeos são instáveis e tendem a emitir radiação até se tornarem estáveis.

A chamada tabela de núclídeos, mostrada na figura 13, permite verificar se núclídeos analisados são estáveis ou não, já que serão considerados instáveis aqueles, cuja proporção nêutron/próton é superior ou inferior à da zona de estabilidade.

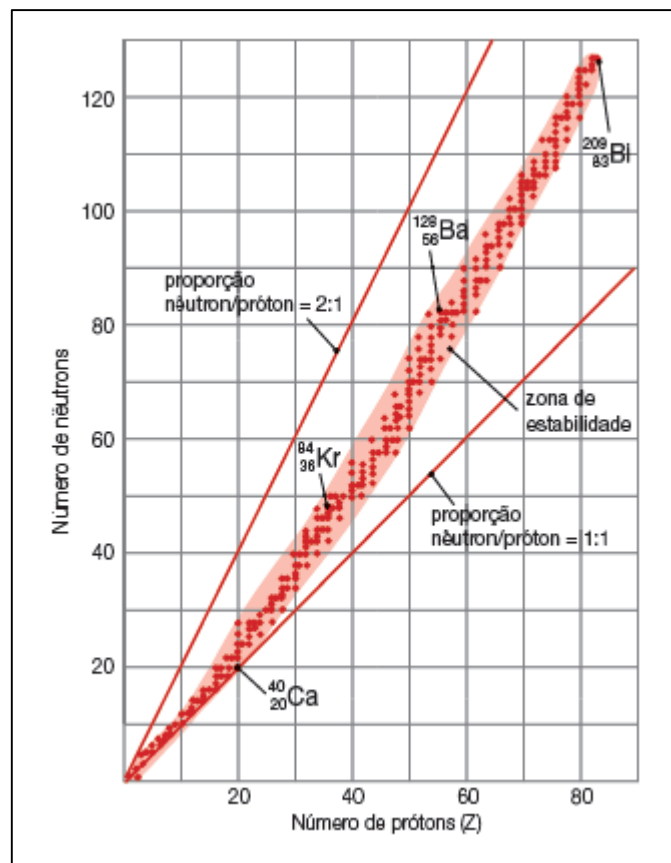


Figura 13- Tabela de núclídeos (Fonte: Santos e Mól, 2013, p.280).

### 3.3 EMISSÕES NUCLEARES

Durante as reações químicas, poder ocorre o rearranjo de átomos, acompanhadas de alterações em suas estruturas eletrônicas. No entanto, os núcleos dos átomos permanecem inalterados. A radioatividade, ao contrário, é um fenômeno nuclear. Tais fenômenos envolvem grandes quantidades de energia e dependem muito pouco de fatores físicos, como temperatura e pressão, ou de fatores químicos, como estado de oxidação e interações com outros átomos. O fato de um elemento químico emitir radiação por átomos depende basicamente de seus núcleos serem ou não instáveis. (Santos e Mól, 2013).

Como o processo pode envolver variação da carga nuclear (positiva), também é possível haver alteração na eletrosfera (negativa) para compensar. Dessa maneira, havendo transformação nuclear, poderemos ter transmutação de elementos. Rutherford e Frederick Soddy<sup>13</sup> demonstraram que a emissão de partículas do interior de um núcleo atômico envolvia a transformação de um elemento químico em outro. A transmutação artificial foi realizada pela primeira vez em 1934 pelo casal Joliot-Curie.

#### 3.3.1 Emissões de partículas alfa ( $\alpha$ )

Os estudos realizados por Henri Becquerel sobre a emissão de radiação por substâncias contendo átomos de urânio despertaram a atenção de Rutherford. Em seus experimentos, ele observou diferentes níveis de penetração da radiação alfa em relação às demais radiações.

---

<sup>13</sup> Frederick Soddy (1877-1956)

Aplicando um potencial elétrico sobre o percurso da radiação alfa, Rutherford concluiu que essa radiação seria formada por partículas positivas, tendo em vista que eram desviadas para o polo negativo da placa.

A radiação alfa é constituída por partículas positivas, formadas por dois prótons e dois nêutrons, ou seja, iguais ao núcleo do átomo de hélio.

A partícula alfa é uma das partículas emitidas espontaneamente dos núcleos de átomos radioativos, principalmente pesados, com número atômico igual ou maior a 83.

Uma típica reação nuclear envolvendo emissão de partícula alfa pode ser escrita conforme a equação 3.1:



Onde X é o elemento pai e Y, o elemento filho. A e Z representam, respectivamente, o número de massa e o número atômico.

Soddy, trabalhando com Rutherford, foi quem observou a regularidade mostrada na equação acima e a enunciou na forma de uma lei que pode ser definida da seguinte maneira: “Quando átomos de um elemento químico emitem radiação alfa, formam-se átomos de outro elemento químico cujo número atômico é menor em duas unidades e cujo número de massa é menor em quatro unidades”.

Um exemplo típico é o da emissão de partícula alfa (decaimento alfa) do urânio-238 ( ${}^{238}\text{U}$ ), mostrado na equação 3.2:





Quando a partícula alfa é emitida do núcleo do  $^{238}\text{U}$ , o seu número atômico diminui de 2 unidades e, para transformar-se em um átomo neutro do  $^{234}\text{Th}$ , libera também dois elétrons da camada mais externa, que não transferidos a algum átomo ou molécula do meio. Já a partícula alfa, que é emitida com energia cinética, sai ionizando átomos que encontra em seu caminho e vai perdendo energia até parar, quando captura dois elétrons da vizinhança e se torna um átomo neutro de He, o que lhe garante um alto poder de ionização.

### **3.3.2 Emissões de partículas beta ( $\beta$ )**

Em 1900, estudando a radiação beta, Becquerel observou que, quando submetida a um campo elétrico, ela se desviava para o lado das cargas positivas; possuía carga negativa e massa muito menor do que as partículas alfas. Entretanto, essa radiação não é originária da eletrosfera, e sim de núcleos de átomos radioativos. Quando um núcleo radioativo emite uma partícula beta, seu número de massa não se altera, mas seu número atômico aumenta em uma unidade.

As partículas betas  $\beta$  têm carga negativa  $\beta^-$  ou positiva  $\beta^+$  e são elétrons ( $e^-$ ) ou pósitrons ( $e^+$ ) respectivamente. Pósitrons são anti-partículas dos elétrons, sendo que as anti-partículas têm exatamente as mesmas características da partícula correspondente, apenas a sua carga é oposta.

Se a partícula beta tem origem nuclear, como é possível emitir elétrons se o núcleo é composto apenas por prótons e nêutrons? A resposta para esta questão veio em 1934

quando Enrico Fermi<sup>14</sup> descobriu uma partícula chamada neutrino ( $\nu$ ), sendo ela neutra e praticamente sem massa.

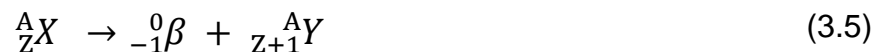
A emissão da partícula  $\beta^+$  é correspondente à transformação de um próton em um nêutron com a emissão de um  $e^+$  (pósitron) mais um neutrino  $\nu$ , conforme mostrado na equação 3.3:



Já a partícula  $\beta^-$  é emitida quando um nêutron ( $n$ ) de dentro de um núcleo se transforma num próton ( $p$ ) emitindo um  $e^-$  e um antineutrino  $\bar{\nu}$ , conforme mostrado na equação 3.4:



Uma típica reação nuclear envolvendo emissão de partícula beta é apresentada na equação 3.5.



Onde  $X$  é o elemento pai e  $Y$ , o elemento filho.  $A$  e  $Z$  representam, respectivamente, o número de massa e o número atômico.

---

<sup>14</sup> Enrico Fermi (1901-1954).

Essa constatação, feita por Soddy e pelo químico polonês Kasimir Fajans<sup>15</sup>, levou a proposição de uma segunda lei da radioatividade, que pode ser assim definida: “Quando átomos de um elemento químico emitem radiação beta, formam-se átomos de outro elemento químico cujo número atômico é maior em uma unidade e cujo número de massa não é alterado”. (Santos e Mól, 2013).

Um exemplo típico é o da emissão de partícula beta (decaimento beta) do bismuto-214 é mostrado na equação 3.6.



Ao emitir uma partícula beta, os átomos do elemento químico têm seu número atômico aumentado em uma unidade. Nesse caso, seu número de massa permanece inalterado. Como caso de emissão de partícula beta, um nêutron de cada átomo é transformado em próton, então o átomo obtido possui um próton a mais do que aquele que lhe deu origem.

### **3.3.3 Emissão de radiação gama ( $\gamma$ )**

O físico Villard descobriu um terceiro tipo de radiação, a qual deu o nome de radiação gama, seguindo a notação adotada por Rutherford para as citadas anteriormente. Villard observou que a radiação gama não é afetada por campos elétricos.

---

<sup>15</sup> Kasimir Fajans (1887-1985).

Raios gama são um tipo de radiação eletromagnética que resulta de uma redistribuição das cargas elétricas em um núcleo. Um raio gama é um fóton<sup>16</sup> de alta energia emitido pelo núcleo atômico. Para núcleos complexos de elementos pesados, há inúmeras diferentes possibilidades em que os prótons podem se rearranjar dentro do núcleo. Podem ser emitidos quando há uma mudança de uma configuração para outra. Nem o número de massa nem o número atômico de um núcleo se alteram quando um raio gama é emitido. Entretanto, a massa do núcleo também aqui sofre uma pequena diminuição, sendo convertida em fóton.

A radiação gama é constituída por ondas eletromagnéticas, semelhantemente aos raios-x. No espectro eletromagnético, mostrado na figura 11, ela possui frequência<sup>17</sup> maior do que os raios-x. Ocorre que, enquanto os raios-x são produzidos na eletrosfera, a radiação gama é produzida no núcleo atômico. A radiação gama, assim como os raios-x, não possui carga nem massa.

---

<sup>16</sup> Segundo a teoria desenvolvida a partir dos trabalhos de Max Planck, em 1901 e Albert Einstein, em 1905, a radiação eletromagnética é emitida e propaga-se em forma de pequenos pulsos de energia, chamados de fótons, que são partículas sem carga e com massa de repouso nula, que se propagam com a velocidade da luz.

<sup>17</sup> Frequência é uma grandeza física que indica o número de ocorrências de um evento (ciclos, voltas, oscilações etc.) em um determinado intervalo de tempo.

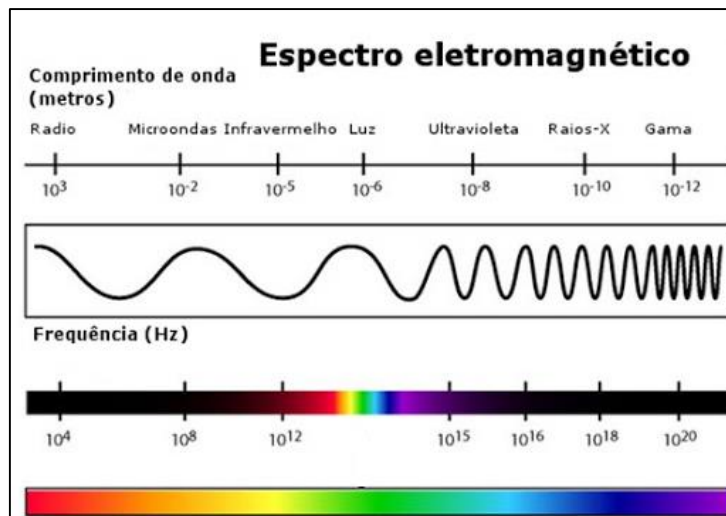


Figura 14-Espectro da radiação eletromagnética.

(Fonte: < [http://wiki.stoa.usp.br/Teced/textos/Grupo\\_8](http://wiki.stoa.usp.br/Teced/textos/Grupo_8) > Acesso em jul/2016).

Átomos que emitem radiação gama não perdem sua identidade, ou seja, continuam com seus números atômico e de massa inalterados.

Um exemplo de emissão de radiação gama é o caso do céscio-55, que emite radiação beta, formando o bário-56, que por sua vez, irá emitir radiação gama para poder se tornar estável, conforme é mostrado na figura 12:

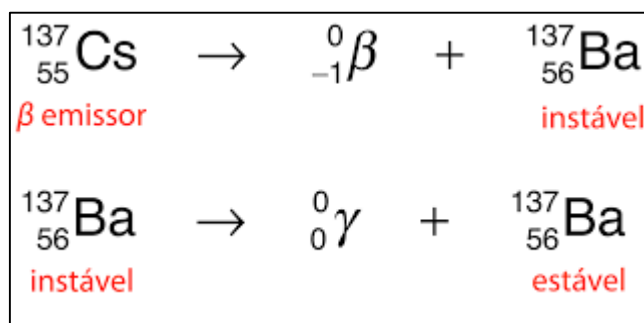


Figura 15-Exemplo de emissão de radiação gama.

(Fonte: <http://cursoquimicaintegral.blogspot.com.br/2012/10/radioatividade> Acesso em out/2016)

A figura 16 apresenta as principais considerações a respeito da natureza das radiações alfa, beta e gama:

CARACTERÍSTICAS DAS RADIAÇÕES $\alpha$ , $\beta$ E $\gamma$				
Nome	Símbolo	Carga elétrica	Massa	Natureza
Alfa	$\alpha$	+2	$6,65 \cdot 10^{-24}$ g/partícula	Dois prótons e dois nêutrons.
Beta	$\beta$	-1	$9,11 \cdot 10^{-28}$ g/partícula	Elétron produzido a partir de transformações nucleares.
Gama	$\gamma$	0	0	Radiação eletromagnética.

Figura 16– Algumas características das radiações alfa, beta e gama.

(Fonte: Santos e Mól, 2013, p.274).

### 3.3.4 Poder de penetração

A distância percorrida pelas partículas ou radiações antes de pararem é denominada de alcance. As radiações de origem nuclear apresentam diferente poder de penetração quando interagem com a matéria. O poder de penetração da radiação na matéria depende da sua energia: quanto mais energética for a radiação, maior será o seu alcance. Contudo, diferentes radiações, mesmo que possuam a mesma energia, penetram a matéria com alcances diferentes.

A radiação alfa tem um poder de penetração muito reduzido e uma alta taxa de ionização. Para exposições externas, são inofensivas pois, não conseguem atravessar as primeiras camadas epiteliais. Não conseguem atravessar a pele humana, porém a ingestão de uma fonte emissora de radiação alfa pode causar danos importantes. Em um dado meio, partículas alfa de mesma energia possuem o mesmo alcance. Aumentando sua energia o alcance também aumenta. Para mesmas energias, o alcance diminui se a densidade do meio aumentar.

As partículas betas são muito mais penetrantes que as partículas alfas, possuindo um poder de penetração médio, podendo ser blindadas por uma folha de alumínio ou plástico. Porém, irão apresentar um poder de ionização menor se comparado a radiação alfa.

Já a radiação gama não possui nem carga e nem massa. Possui alto poder de penetração, pois não perde muita energia quando passa por um material, tendo um alto poder de penetração e um alcance muito longo. É necessária uma camada espessa de chumbo, ou de concreto, para reduzi-las de forma significativa. Se ioniza diretamente outros átomos, no entanto, pode fazer com que átomos emitam outras partículas, que causam ionização. É importante ressaltar que a energia associada a cada uma destas radiações também é um fato importante para determinar o seu poder de penetração. Desta forma, o alcance será influenciado pela energia da radiação e pelo tipo de material no qual está incidindo.

### **3.4 SÉRIES RADIOATIVAS**

A emissão sucessiva de diferentes formas de radiação pode levar à modificação do núcleo original e à formação de núcleos de átomos menores e mais estáveis, levando à transformação de átomos de diferentes elementos químicos, o chamado decaimento radioativo.

Quando um nuclídeo radioativo (radionuclídeo) decai, seu produto também pode ser radioativo. Dentro deste processo de decaimento radioativo, os átomos dos elementos participantes constituem as séries radioativas. A figura 17 mostra três exemplos de séries radioativas naturais.

O decaimento radioativo é tido como um fenômeno probabilístico: na medida em que não é possível prever quando exatamente um determinado núcleo decairá. O decaimento de qualquer um dos núcleos tem igual probabilidade de ocorrer. A desintegração de um único átomo radioativo é um fenômeno aleatório. Há núcleos que terão um longo tempo de vida e outros que terão vida curta.

A taxa de decaimento do número de núcleos radioativos com o tempo é diretamente proporcional ao número de núcleos radioativos.

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.7)$$

Onde  $N(t)$  é o número de átomos que ainda não se desintegraram após um intervalo de tempo  $t$ ,  $N_0$  é o número inicial de átomos e  $\lambda$  é a constante de decaimento (característica de cada radionuclídeo). O sinal negativo significa que  $N$  decresce com o aumento do tempo  $t$ .

O tempo de vida de um átomo de um radioisótopo não é o mesmo que o tempo de vida de outro átomo do mesmo radioisótopo, de modo que é necessário definir a vida média ( $\bar{t}$ ) de um radioisótopo: a média aritmética do tempo de vida de todos os átomos de uma determinada massa deste isótopo. Onde:

$$\bar{t} = \frac{1}{\lambda} \quad (3.8)$$



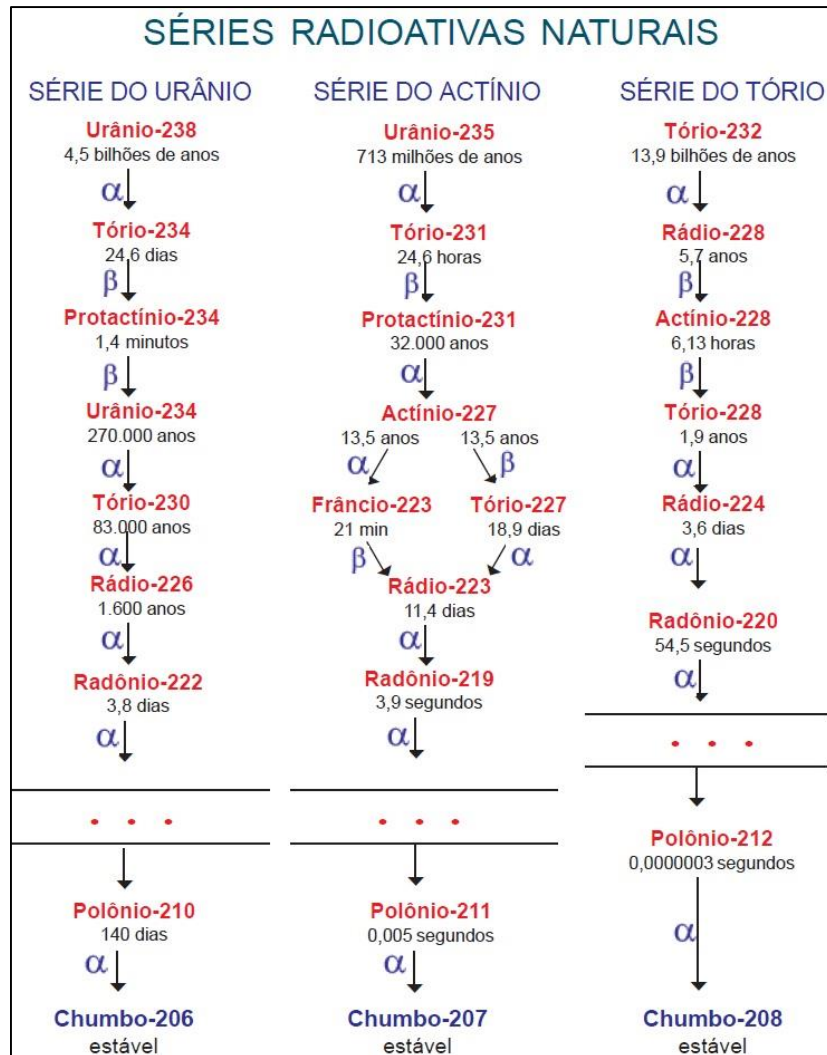


Figura 17-Exemplo de séries radioativas naturais.

(Fonte: <[portalnuclear.cnen.gov.br/Material\\_didatico/apostilas/radio.pdf](http://portalnuclear.cnen.gov.br/Material_didatico/apostilas/radio.pdf)> Acesso em out/2016)

A natureza probabilística da desintegração radioativa leva à definição do conceito de **meia-vida** dos elementos como o tempo necessário para que o número de isótopos radioativos de uma substância se reduza à metade.

Tomemos como exemplo uma massa inicial de 16g de  $_{15}\text{P}^{32}$  que após um período de cerca de 14 dias tem sua massa reduzida para 8g, sendo que por emissão de partícula

beta átomos de  $^{15}\text{P}^{32}$  serão transmutados em átomos de  $^{16}\text{S}^{32}$ , conforme podemos observar no gráfico apresentado na figura 18.

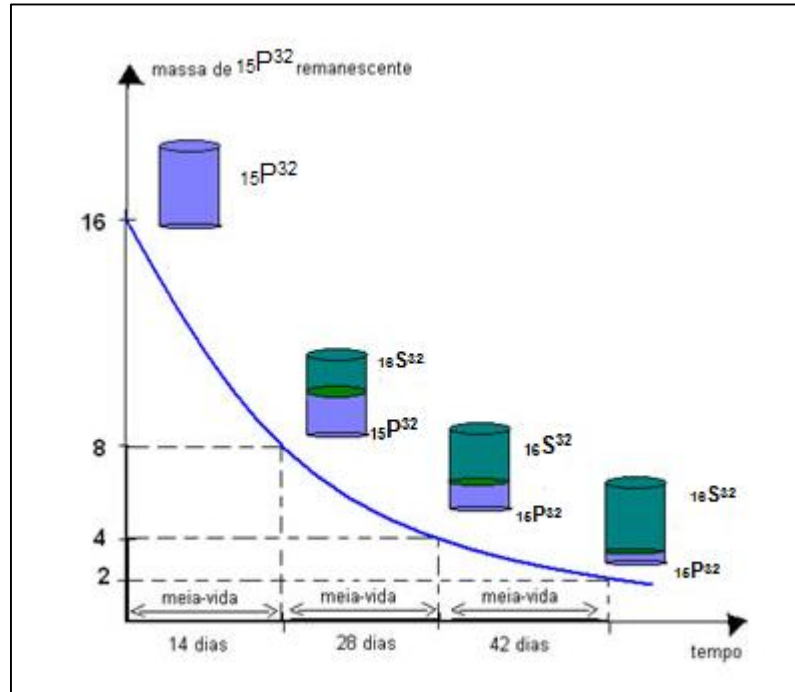


Figura 18-Curva de decaimento do isótopo radioativo  $^{15}\text{P}^{32}$ .

(Fonte :<<http://alunosonline.uol.com.br/quimica/periodo-meia-vida.html>>Acesso out/2016).

À medida que um dado radionuclídeo (pai) decai, ele se transforma em um átomo de outro elemento químico (filho) que poder ser instável ou estável. Enquanto o número de átomos pai diminui exponencialmente com o tempo, o número de átomos filho aumenta. A figura 19 mostra o tempo de meia-vida para alguns radionuclídeos.

TEMPO DE MEIA-VIDA DE ALGUNS NUCLÍDEOS RADIOATIVOS		
Isótopos	Radiação emitida	Meia-vida
$^{238}\text{U}$	$\alpha$	4 500 000 000 anos
$^{239}\text{Pu}$	$\alpha$	24 000 anos
$^{14}\text{C}$	$\beta$	5 700 anos
$^3\text{H}$	$\beta$	12,3 anos
$^{60}\text{Co}$	$\beta$	5,3 anos
$^{32}\text{P}$	$\beta$	14,3 dias
$^{131}\text{I}$	$\beta$	8,1 dias

Figura 19-Tempo de meia-vida para diferentes radionuclídeos.

(Fonte: Santos e Mól, 2013, p.283).

Outro conceito importante é o de atividade de uma amostra radioativa. A taxa de decaimento, que é o número de decaimentos por unidade de tempo de uma amostra radioativa, é chamada de atividade e é definida pela equação 3.9:

$$A = \lambda \cdot N = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.9)$$

Onde  $A$  e  $A_0$  é a atividade da amostra no instante  $t$  e no instante inicial, respectivamente.

A unidade de atividade no Sistema Internacional é o becquerel (Bq), de modo que  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ , ou seja, uma desintegração por segundo. A histórica unidade curie (Ci), introduzida em homenagem a Marie Curie, foi definida de tal forma que 1 Ci é o número de desintegrações por segundo de uma amostra contendo 1g de Ra-226. Onde:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

A figura 20 apresenta a curva de decaimento para duas substâncias radioativas diferentes, 1 e 2, mostrando que embora o número inicial de átomos ( $N_0$ ) fosse o mesmo, o número de átomos que ainda não se desintegraram para cada uma delas, após um intervalo de tempo  $T_{\frac{1}{2}}$ , não é igual em função da diferente constante de decaimento para as substâncias 1 e 2.

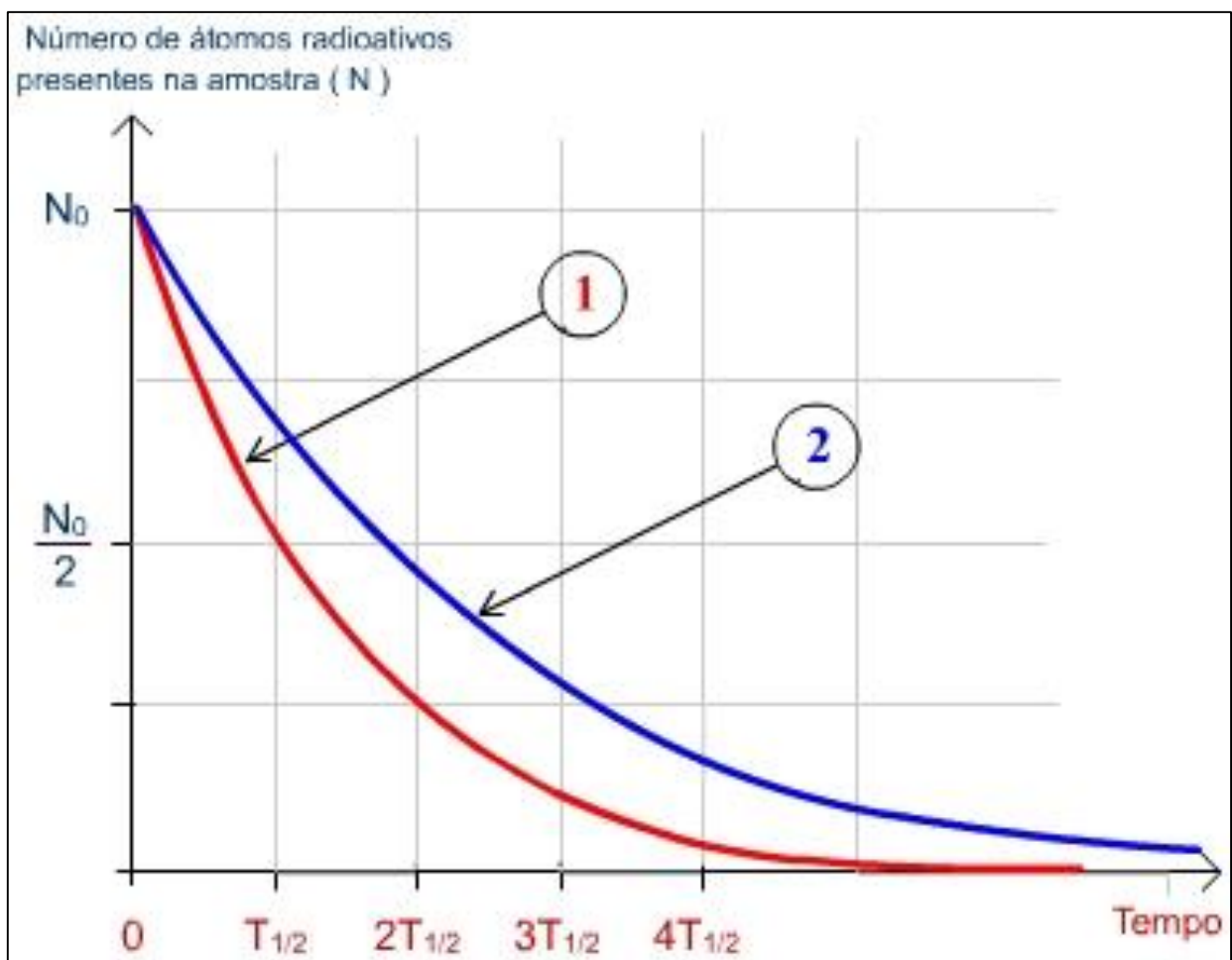


Figura 20-Curvas de decaimento radioativo para duas substâncias diferentes.

(Fonte: <http://www.ufrgs.br/biofisica/problemas.htm> Acesso em out/2016)

### 3.5 TRANSFORMAÇÕES NUCLEARES

Quando dois núcleos se aproximam suficientemente, eles podem interagir através da força nuclear e pode então ocorrer uma reação entre os dois núcleos. Quanto à questão energética envolvida, neste tipo de reação pode haver tanto a liberação de energia quanto à exigência de absorção de energia externa para que este processo ocorra. Podemos citar dois tipos de reações nucleares: a fissão e a fusão.

No interior do núcleo, ocorre um equilíbrio de forças entre a atração nuclear e a repulsão elétrica entre os prótons. Para o caso do urânio, por exemplo, se o seu núcleo absorve um nêutron, ocorrerá o fornecimento de energia suficiente para que as forças nucleares fiquem menores que as elétricas, provocando uma forma alongada que levará a sua partição (divisão).

O processo de fissão nuclear consiste na separação, em duas ou mais partes, do núcleo de um átomo pesado, acompanhada da liberação de muita energia e de nêutrons.

De acordo com o modelo da gota líquida, um dos modelos nucleares utilizado para explicar a fissão nuclear, o núcleo atômico é considerado como uma esfera que possui densidade constante em seu interior, que decresce para zero quando chega à superfície nuclear. A seguir serão apresentadas considerações sobre o processo de fissão nuclear a partir deste modelo.

Segundo HEWITT (2002), fusão nuclear envolve o delicado equilíbrio entre a atração nuclear e a repulsão elétrica entre os prótons no interior do núcleo. No caso do urânio, por exemplo, este equilíbrio é tênue, de forma que se o seu núcleo for esticado adquirindo uma forma mais alongada, as forças elétricas podem forçá-lo até uma forma mais alongada ainda. Se este alongamento passar de um ponto crítico, as forças nucleares poderão “perder” para as forças elétricas e o núcleo se partirá. Assim ocorre a fissão nuclear. A absorção de um nêutron pelo núcleo de urânio fornece energia suficiente

para causar tal alongamento. O processo de fissão resultante pode resultar em diferentes combinações de núcleos menores. Um exemplo típico deste tipo de reação nuclear é mostrado na figura 21 a seguir.

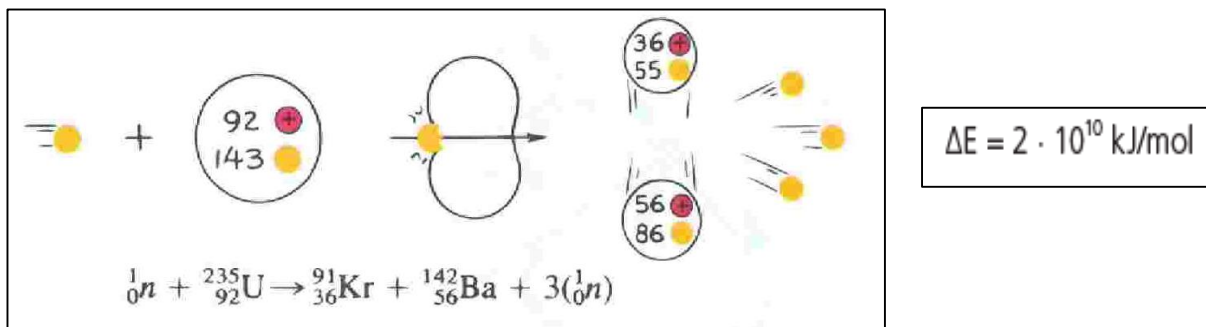


Figura 21-Uma das possíveis reações de fusão para o urânio-235. (Fonte: HEWITT,2002, p.575)

A reação de fissão do urânio-235 é iniciada pela colisão de um nêutron contra um núcleo de  ${}^{235}\text{U}$ , liberando uma grande quantidade de energia e de dois a três nêutrons. Estes irão causar a fissão de outros três átomos de urânio, liberando assim um total de mais nove nêutrons que irão se chocar com outros átomos e assim por diante. Esta sequência é chamada de reação em cadeia.

A energia da fissão está principalmente na forma de energia cinética dos fragmentos do processo. Parte da energia é a energia cinética cedida aos nêutrons ejetados e uma quantidade ainda menor é de radiação gama.

O número de eventos de fissão será determinado pela quantidade de massa do combustível físsil. A massa crítica é a quantidade de massa para qual cada evento de fissão produz, em média, um evento de fissão adicional. Uma massa subcrítica é aquela para qual a reação em cadeia se extingue. Já a supercrítica é aquela para a qual a reação em cadeia cresce explosivamente.

As reações em cadeia não ocorrem normalmente com o urânio metálico puro (natural) porque a fissão ocorre principalmente com um de seus isótopos, o urânio-235, sendo que apenas 0,7% do urânio encontrado na natureza é  ${}^{235}\text{U}$ .

Em função de sua baixa abundância, é preciso obter o  $^{235}\text{U}$  a partir de um processo de enriquecimento do urânio encontrado na natureza. A separação de isótopos de urânio é feita por meio do uso de uma centrífuga. O gás hexafluoreto de urânio é colocado dentro de um cilindro que gira a alta velocidade, fazendo com que o  $^{238}\text{U}$ , por ser mais pesado, gravite para fora do eixo de rotação e o gás rico em  $^{235}\text{U}$  é, então, extraído da parte central do cilindro. Para funcionamento das usinas, o percentual de enriquecimento do urânio é de 2 a 5%. Para mover submarinos, é de 20%, e para a fabricação de bombas, é de 95%.

O processo que transforma energia nuclear (reação de fissão) em calor que, por sua vez, é transformado em energia mecânica e, por fim, é transformado em eletricidade. Os reatores nucleares são compostos pelo combustível nuclear, as barras de controle e o líquido (normalmente, água) usado para transferir para a turbina o calor gerado no processo de fissão. As barras de controle são feitas de um material que absorve nêutrons, como cádmio e boro; assim o seu uso permitirá o controle da reação e da energia liberada.

A maioria dos reatores em uso atualmente são do tipo PWR (*pressurized water reactor*), nos quais a água é mantida sob alta pressão para que possa atingir uma alta temperatura sem entrar em ebulição. Aquecida pela fissão, esta água transfere o calor para um outro sistema de água mantido a uma pressão mais baixa, que faz funcionar uma turbina e um gerador elétrico. O calor liberado nas reações evapora a água, produzindo o vapor que é utilizado para mover as turbinas. O uso de dois sistemas de água separados objetiva impedir que a radioatividade alcance a turbina.

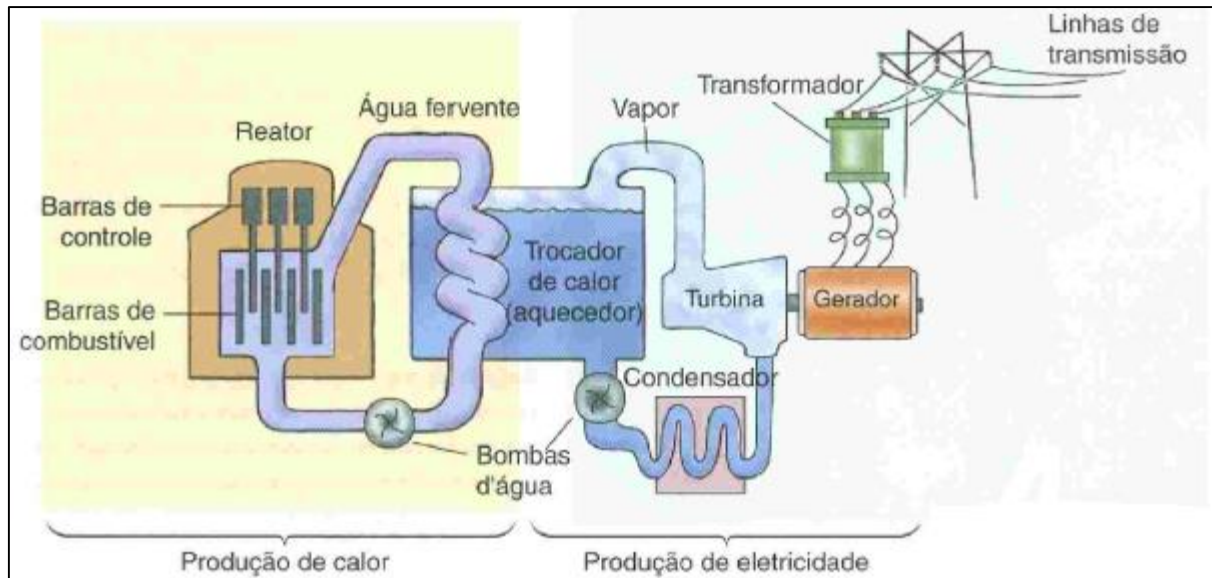


Figura 22-Diagrama de uma usina de energia nuclear a fissão.

(Fonte: HEWITT,2002, p.580)

Uma desvantagem do uso da energia nuclear é a produção do lixo nuclear radioativo. Os núcleos atômicos pesados necessitam ter mais nêutrons do que prótons para serem estáveis. No caso do  $^{235}\text{U}$ , existem 143 nêutrons e apenas 92 prótons. Quando o urânio se parte em dois elementos de peso médio, os nêutrons extras existentes em seus núcleos os tornam instáveis. Gerando fragmentos que são radioativos e continuam emitindo radiação, embora a sua emissão vá diminuindo gradativamente. No entanto, para que atinjam níveis aceitáveis de radiação e sejam descartados como resíduos comuns, podem ser necessários muitos e muitos de anos. Há ainda outros rejeitos que são materiais que foram contaminados durante a produção de combustíveis nucleares e necessitam de um armazenamento especial. É preciso dar um destino com máxima segurança a estes rejeitos, para não permitir vazamento de material radioativo para o ambiente.

A fusão nuclear é o processo oposto à fissão nuclear e consiste na combinação de núcleos leves para formar núcleos mais pesados, com liberação de energia. Em virtude da grande repulsão das cargas positivas desses núcleos, é necessária uma



grande quantidade de energia cinética para que colidam. Por isso, a fusão é mais fácil para núcleos pequenos. Também é possível suplantar a repulsão das cargas positivas, quando os núcleos colidem com as velocidades muito altas. Os altos valores de velocidades estão associados a valores extremamente altos de temperatura como as encontradas no interior do Sol.

Na figura 23 são mostradas duas reações de fusão típicas, onde se pode observar que em ambas são produzidas um par de partículas.

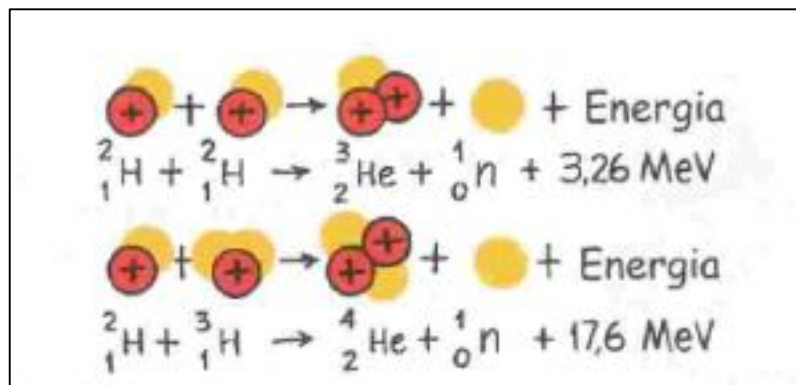


Figura 23- Duas das reações de fusão. (Fonte: HEWITT,2002, p.587)

### 3.6 PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Na época da descoberta da radioatividade não se conheciam os efeitos biológicos das radiações ionizantes. Desta forma, o uso intenso e descuidado deste tipo de radiação provocou danos severos à saúde daqueles que a utilizavam para diferentes fins.

Diante dos malefícios trazidos pelo uso da radiação, surgiu o questionamento se os benefícios trazidos justificariam a continuidade do uso. Foi constatado, então, a necessidade emergencial compreender a natureza e os mecanismos de interação destas radiações com o organismo humano.

A proteção radiológica está associada a um conjunto de medidas que visa proteger a saúde humana e o ambiente contra os efeitos nocivos que resultam de exposição à radiação ionizante. No Brasil, as Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (N.N-3.01), disponível na íntegra em <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301>, são regulamentadas pela CNEN e baseiam-se em três princípios fundamentais: Princípio da Justificação, Princípio da Otimização e Princípio da Limitação de Doses.

O Princípio da Justificação baseia-se no fato de que nenhuma prática ou fonte associada a essa prática será aceita pela CNEN, a não ser que a prática produza benefícios, para os indivíduos expostos ou para a sociedade, suficientes para compensar o detrimento correspondente, tendo-se em conta fatores sociais e econômicos, assim como outros fatores pertinentes.

Sabe-se que todo uso da radiação ionizante pressupõe que traga benefícios. Porém, há riscos associados a todo uso. Assim, para que um determinado uso seja justificável, os benefícios devem superar os riscos.

Segundo a CNEN, o Princípio da Otimização pode ser enunciado da seguinte maneira: Em relação às exposições causadas por uma determinada fonte associada a uma prática, salvo no caso das exposições médicas, a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições mantenham-se tão baixas quanto possa ser razoavelmente exequível, tendo em conta os fatores econômicos e sociais. Nesse processo de otimização, deve ser observado que as doses nos indivíduos decorrentes de exposição à fonte devem estar sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte.

O Princípio de Otimização atua no sentido de avaliar o que pode ser feito para minimizar o malefício e/ou maximizar o benefício, dentro dos limites do que seja razoável, uma vez que o seu uso já foi justificado.

O limite de dose é definido como sendo o valor máximo de exposição à radiação recomendado pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) para o público e para um profissional que trabalha com radiação ionizante. Trata-se de um órgão internacional, fundado em 1928, responsável por elaborar novas normas ou atualizar as já existentes. Cada país tem um órgão que faz adequações nas normas internacionais e as adota para regulamentar o uso das radiações. No Brasil, tal órgão é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Os limites de dose, tanto para indivíduos do público quanto para indivíduos ocupacionalmente expostos à radiação ionizante, devem ser respeitados, segundo O Princípio da Limitação de Doses.

O limite de dose é definido como sendo o valor máximo de exposição à radiação segundo a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP). A figura 24 mostra os limites de dose para o público e para um profissional que trabalha com radiação ionizante para alguns órgãos.

Grandeza	Órgão	IOE	Público
Dose Efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv *	1 mSv
Dose Equivalente	Cristalino	20 mSv **	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e Pés	500 mSv	--

\* Limite de Dose Efetiva de 100 mSv em 5 anos consecutivos e 50 mSv em único ano.

\*\* Limite de Dose Equivalente de 100 mSv em 5 anos consecutivos e 50 mSv em único ano.

Figura 24-Limites máximos de dose em mSv<sup>18</sup>.

(Fonte: <[http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php/protecao\\_radiologica](http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php/protecao_radiologica)> Acesso em nov/2016).

<sup>18</sup> Sievert (Sv) é a unidade de dose equivalente no Sistema Internacional, de forma que 1 Sv=1J/kg e 1mSv=0,001 Sv.

Os valores referentes as recomendações de limites de dose foram sendo diminuídos à medida que novos conhecimentos relacionados à interação da radiação com a matéria foram sendo adquiridos. Destacando que o objetivo principal das recomendações da ICRP é proteger à saúde humana e o ambiente contra os efeitos deletérios que resultam de exposição à radiação ionizante.

A dose equivalente é uma medida da dose de radiação absorvida levando em conta o tipo de radiação. Diferentes tipos de radiação produzem efeitos biológicos diferentes para uma mesma dose absorvida.

Diferentes tecidos do corpo possuem diferentes sensibilidades biológicas para o mesmo tipo de radiação e dose, sendo assim é necessário definir uma outra grandeza relacionado com a grandeza dose equivalente, para indicar a combinação de doses diferentes para diversos tecidos. Para isso definiu-se a dose efetiva, relacionada com a absorção de energia considerando o corpo todo. É definida como a somatória das doses equivalentes em cada tecido ou órgão do corpo, levando em consideração o fator de peso dos respectivos tecidos.

Para fins de monitoração de dose no caso indivíduos ocupacionalmente expostos, usa-se um **dosímetro individual** constituído de um detector de radiação. No Brasil, os laboratórios de monitoração individual são credenciados pela CNEN. Mensalmente também é enviado pelos laboratórios um dosímetro para avaliação do nível de radiação natural no local. Essa dose de radiação de fundo deve ser descontada na medida de doses dos dosímetro pessoais, já que a monitoração individual pretende unicamente estimar a dose ocupacional dos trabalhadores. Na figura 25, são mostrados alguns tipos de dosímetro individual que devem ser usados pelos indivíduos ocupacionalmente expostos.



Figura 25- Diferentes tipos de dosímetro individual.

(Fonte: <<http://www.sapralandauer.com.br/>> Acesso em out/2016).

É importante para fins de proteção radiológica que o indivíduo ocupacionalmente exposto receba treinamento para que assim possa ter conhecimento dos riscos envolvidos em suas atividades antes de operar qualquer tipo de fonte radioativa e para que tenha noção dos procedimentos de segurança.

É fundamental, para fins de proteção radiológica, que seja feita a diferenciação dos conceitos de irradiação e de contaminação para situações envolvendo o uso de fontes emissoras de radiação ionizante não seladas. Esta diferenciação determina ações de proteção radiológica distintas.

A irradiação ocorre quando o indivíduo recebe dose de radiação enquanto permanece em um campo de radiação. Neste processo não há necessidade de que haja contato físico com o isótopo radioativo. Isso implica que basta retirar o indivíduo ou objeto do raio de ação da radiação, para que cesse sua irradiação. Quando um indivíduo é irradiado, por exemplo, por uma bomba de cobalto para tratamento de um tumor, não fica radioativo. Na contaminação, o material radioativo fica em contato com o indivíduo. A contaminação pode ser externa, quando o material se deposita sobre a pele e passa a irradiar o indivíduo; ou interna, quando o material entra no corpo. Para situações desta natureza, enquanto houver material radioativo no indivíduo, ele está sendo irradiado.

Dentre os fatores relacionados à proteção radiológica, de exposições externas, pode-se destacar alguns fatores que permitem direcionar as ações para diminuir as doses de radiação recebidas, com destaque para: tempo de exposição, a distância da fonte de radiação e o uso de blindagens adequadas.

- A dose recebida pelo indivíduo é diretamente proporcional ao tempo de exposição. Quanto maior o tempo de exposição à fonte, maior a dose de radiação envolvida;
- A dose de radiação recebida por um indivíduo é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a fonte e o indivíduo. Quanto mais afastado da fonte, menor será a dose de radiação recebida;
- Diferentes materiais podem ter maior ou menor eficiência na blindagem da radiação. Tal fato ocorre porque diferentes tipos de radiação irão interagir de maneira diferente com a matéria. A determinação da espessura da barreira utilizada deverá considerar a atividade da fonte radioativa em uso. Para radiação alfa, uma folha de papel já permite a blindagem, enquanto para radiação beta é necessário utilizar madeira ou acrílico. No caso de radiação gama, o mais adequado é utilizar chumbo.

### **3.7 EFEITOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA**

No processo de interação da radiação com a matéria ocorre transferência de energia, que pode provocar ionização e excitação dos átomos e moléculas provocando algum tipo de modificação na sua estrutura. Os efeitos físico-químicos acontecem instantaneamente e não é possível controlá-los. Os efeitos biológicos acontecem em intervalos de tempo que vão de minutos a anos. Consistem na resposta natural do organismo a um agente agressor e não constituem necessariamente, em doença. Os

efeitos orgânicos são as doenças. Representam a incapacidade de recuperação do organismo diante dos efeitos biológicos.

Os **efeitos biológicos** das radiações ionizantes podem ser **estocásticos** ou **determinísticos**. Os estocásticos causam uma alteração aleatória no DNA de uma célula que, no entanto, continua a reproduzir-se. Levam à transformação celular. Os efeitos hereditários são estocásticos. Não apresentam limiar de dose<sup>19</sup>, ou seja, os danos podem ser induzidos tanto por dose baixa como alta. O aumento da dose somente eleva a probabilidade e não o grau de severidade do dano. Os efeitos determinísticos levam à morte celular. Apresentam um limiar de dose, desta forma, os danos só aparecem a partir de uma determinada dose.

A interação da radiação com o corpo humano não implica, necessariamente, que algum dano será provocado, visto que o nosso organismo apresenta o eficiente mecanismo da reversibilidade, responsável pelo reparo das células. O efeito biológico é influenciado pela idade, sexo e condição física, desta forma, pessoas que receberam a mesma dose podem não apresentar o mesmo dano.

---

<sup>19</sup> Segundo Okuno e Yoshimura (2010), a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) em sua publicação 118 de 2012 definiu dose limiar como sendo a dose estimada que causa incidência de reações teciduais em 1% dos tecidos irradiados.

### 3.8 GAMAGRAFIA: UMA APLICAÇÃO INDUSTRIAL

Ao longo deste capítulo, abordamos alguns aspectos importantes dentro do estudo da Física das Radiações, desde a descoberta da radioatividade, passando pelo decaimento nuclear e a proteção radiológica, até os efeitos da radiação da radiação com a matéria.

De acordo com Okuno e Yoshimura (2010), as aplicações médicas das radiações ionizantes são inúmeras tanto na área de detecção de doenças como no tratamento delas. Porém, o uso das radiações ionizantes não se restringe ao campo da Medicina, alcançando também o setor industrial. Um exemplo da utilização de radiações ionizantes dentro do contexto industrial refere-se ao uso de fontes radioativas no processo de irradiação de alimentos para fins de sua conservação, seja pela diminuição da contaminação por micro-organismos e da infestação por insetos ou pela inibição de brotamento. É importante lembrar que, por tratar-se de um processo de irradiação, não há contato do alimento com o material radiativo e desta forma não há possibilidade de contaminação radioativa do alimento. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) permite a irradiação de alimentos e determina que as embalagens destes produtos tenham os seguintes dizeres: “ALIMENTO TRATADO PRO PROCESSO DE IRRADIAÇÃO”.

Ainda segundo essas autoras, em várias aplicações industriais é necessário verificar a integridade de materiais, radiografando a peça, sem provocar danos a sua estrutura (ensaio não destrutivo<sup>20</sup>), o que poderia ser feito utilizando um equipamento de

---

<sup>20</sup> Trata-se de um tipo de ensaio que não danifica a peça analisada, como por exemplo, a chamada radiografia industrial, na qual se utiliza radiações ionizantes (raios-X e radiação gama) para controle de qualidade na indústria.



raios-x. Entretanto, em algumas situações não é possível utilizar este aparelho, como por exemplo em seguintes casos:

- Verificar corrosão interna de tubos de um oleoduto;
- Inspeccionar válvulas de tubulações em uso;
- Avaliar fissuras por fadiga dos metais de asas e turbinas de aviões.

Para estas situações e várias outras, em vez de equipamentos de raio-X para obter as imagens necessárias a esse controle de qualidade, pode-se empregar uma técnica que utiliza fontes radioativas seladas<sup>21</sup> e emissoras de raios gama, chamada de gamagrafia industrial.

Esta técnica tem seu funcionamento baseado em fatores associados ao fato da radiação emitida ter a propriedade de penetrar nos corpos sólidos, interagindo com a matéria e impressionando um filme fotográfico ou gerando imagens que podem ser detectadas através de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação.

A capacidade de penetração da radiação em sólidos depende de vários fatores, tais como: comprimento de onda da radiação, tipo de material e espessura do material avaliado.

---

<sup>21</sup> São aquelas em que o material radioativo está totalmente encapsulado de uma forma rígida, sem permitir o contato com o exterior.

De acordo com as características das peças avaliadas são utilizados diferentes tipos de fontes. A tabela 3 apresenta informações referentes aos diferentes tipos de fontes radioativas utilizados na indústria.

<b>Fonte</b>	<b>Meia-vida</b>	<b>Energia de Radiação</b>	<b>Faixa de utilização mais efetiva</b>
Cobalto – 60	5,24 anos	1,17 a 1,33 MeV	60 a 150 mm de aço
Írídio – 192	74,4 dias	0,137 a 0,65 MeV	10 a 40 mm de aço
Túlio -170	127 dias	0,084 e 0,54 MeV.	1 a 10 mm de aço
Césio-127	33 anos	0,66 MeV	20 a 80 mm de aço
Selênio – 75	120 dias	0,006 a 0,405 MeV	4 a 30 mm de aço

Tabela 3- Características das fontes radioativas mais utilizadas na indústria.  
(Fonte: Andreucci, 2014, p.27).

No campo industrial, o uso dos raios gama apresenta algumas vantagens em relação aos raios-x: podem ser utilizados em locais sem alimentação elétrica, uma vez que o equipamento irradiador não necessita deste tipo de energia elétrica para funcionar, além disso, os equipamentos são menores e mais flexíveis, facilitando sua locomoção e uso.

Durante a realização do teste, parte da radiação emitida pela fonte será absorvida pelo material que está sendo avaliado. A quantidade de radiação que será absorvida depende do tipo e da espessura do material. Onde existe um vazio ou descontinuidade há menos material para atenuar a radiação. Assim, a quantidade de radiação que atravessa o material não é a mesma em todas as direções.

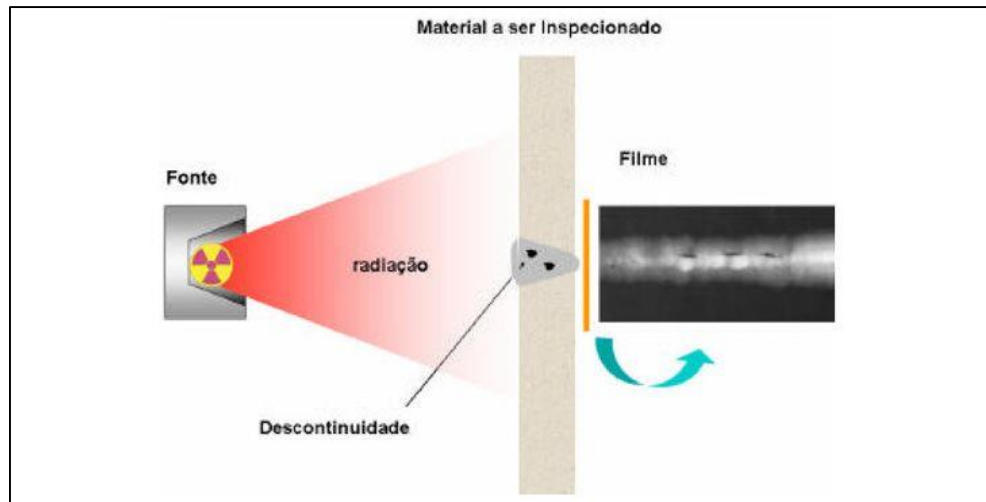


Figura 26 –Representação esquemática de um ensaio não-destrutivo utilizando uma fonte radioativa.

(Fonte:< <http://radiologia.blog.br/>> Acesso em nov/2016)

O equipamento irradiador de raios gama é constituído, conforme é mostrado nas figuras 27 e 28, por três partes básicas: blindagem, mangote e comandos. A blindagem exerce a função de absorver a radiação contínua dos raios, obedecendo às normas internacionais. Geralmente essa blindagem é feita de urânio exaurido ou chumbo, com estrutura externa de aço inoxidável. O mangote é o tubo que conduzirá a fonte radioativa até o ponto aplicação da irradiação para o ensaio. Os comandos permitem o acionamento e controle da fonte, levando-a pelo mangote até o local a ser ensaiado e após o tempo de exposição necessário recolhe-o. Esse comando pode ser hidráulico, pneumático ou, como em sua grande maioria, manual.

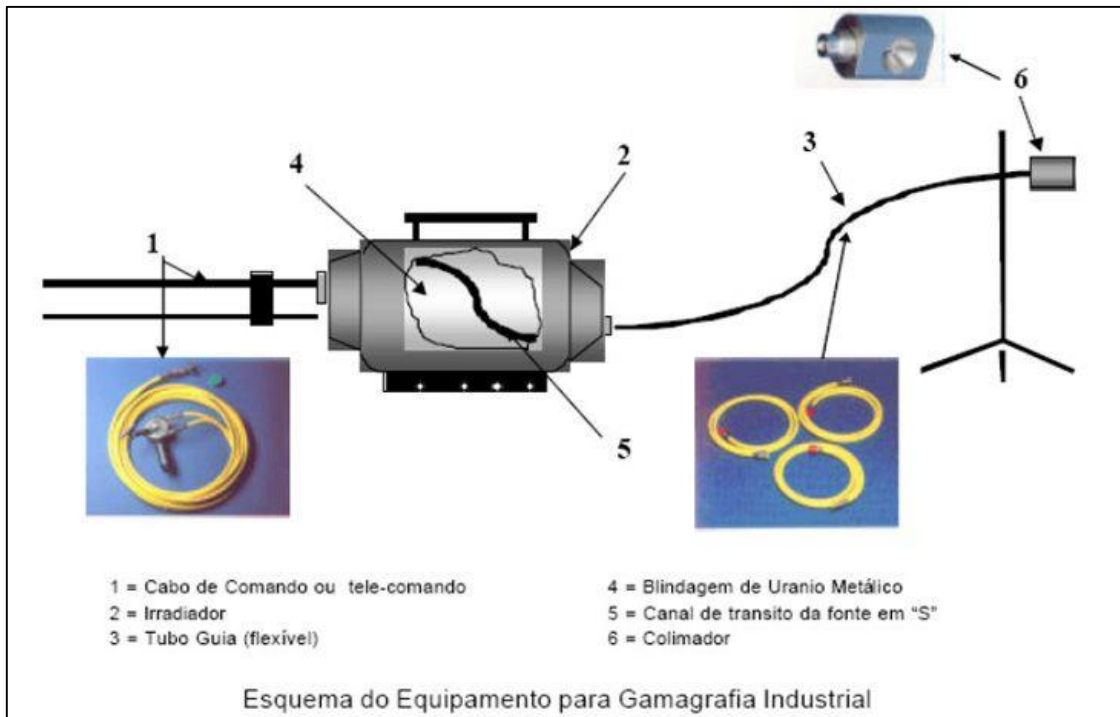


Figura 27-Esquema do equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial.

(Fonte: < <http://radiologia.blog.br/> > Acesso em nov/2016)



Figura 28-Equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial.

(Fonte: < <http://sievert.in/Radiography.htm> > Acesso em nov/2016)

Para o cálculo do tempo de exposição do filme radiográfico ( $t$ ) é necessário conhecer informações associadas à distância fonte-filme ( $d$ ), à atividade da fonte ( $A$ ), espessura da peça, tipo de filme utilizado e ao fator de exposição ( $FE$ ).

$$t = \frac{FExd^2}{A} \quad (3.10)$$

A importância de conhecer a atividade da fonte reside no fato de este valor ser utilizado para especificar o tempo de exposição na radiografia de um objeto, conforme mostrado na equação 3.10, de forma que quanto maior a atividade da fonte, menor o tempo de exposição. No gráfico 1, temos a curva de decaimento do Iridio-192, na qual é possível determinar o percentual de atividade remanescente para diferentes intervalos de tempo.

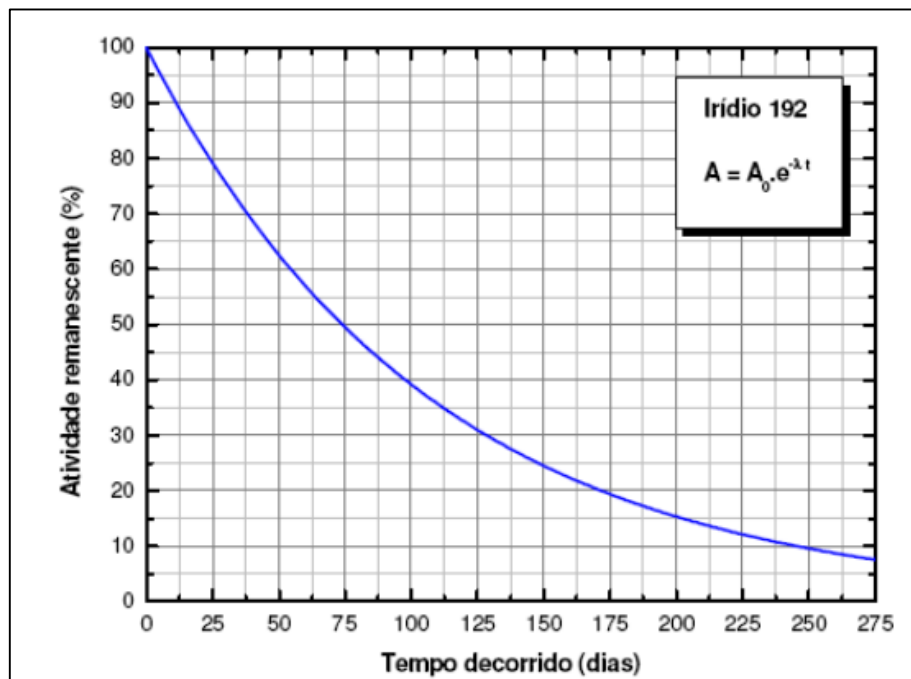


Gráfico 1-Curva de decaimento para o Iridio-192.

(Fonte: <[https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/24444/24444\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/24444/24444_3.PDF)> Acesso em dez/2016).

As informações especificamente relacionadas à fonte radioativa podem ser encontradas num documento chamado Certificado de Fonte Radioativa Selada, fornecido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), conforme a resolução CNEN nº 166, de 16/04/2014.

O gráfico 2 correlaciona o fator de exposição com a espessura da peça de aço carbono para fontes de Selênio-75 e de Iridio-192. Por exemplo, para uma peça de aço carbono de 20 mm de espessura, considerando a fonte (2) de Iridio-192, constatamos que o fator de exposição é 70.

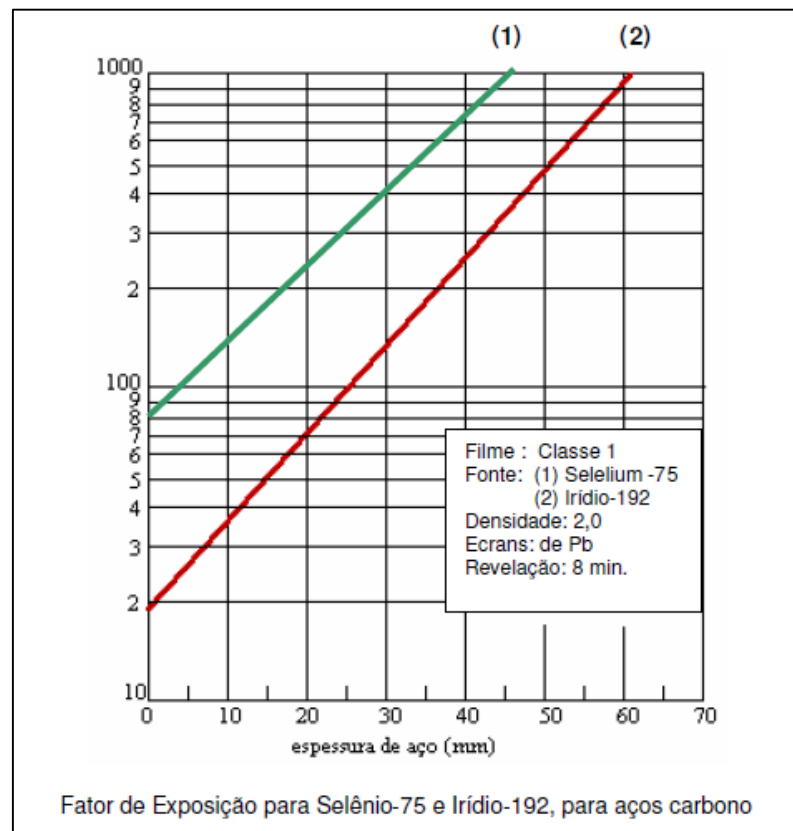


Gráfico 2– Fator de exposição para Selênio-75 e Iridio-192 para aços carbono.

(Fonte: Andreucci,2014, p.79)

As etapas e os preparos envolvidos na realização do teste por gamagrafia, podem ser melhor compreendidos através do vídeo Ensaio de Materiais -ensaio por raios gama

(aula 25), disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=8FUXxG6wOvc>>, acesso em dezembro de 2016.

Existem normas específicas, determinadas pela CNEN, que indicam qual a distância mínima de realização do teste para não gerar riscos para a população e para os trabalhadores. O local deve ser isolado e demarcado com faixas alertando sobre os perigos e sobre a radiação.

Após a realização do teste é necessário realizar a revelação do filme radiográfico que consiste de uma fina chapa de plástico transparente, revestida de um ou ambos os lados com uma emulsão de gelatina, contendo finos sais de prata. Quando expostos à radiação, os cristais de brometo de prata sofrem uma reação que os tornam mais sensíveis ao processo químico de revelação, que faz com que estes cristais adquiram coloração mais escura, proporcionalmente à medida que foram irradiados.

Diferentes tipos de imperfeições podem ser detectados em um teste de gamagrafia: porosidade, trincas, falhas de solda, descontinuidades em peças fundidas ou forjadas.

Quando o inspetor interpreta uma radiografia, ele está vendo os detalhes da imagem da peça em termos da quantidade de radiação que passa pelo filme radiográfico revelado. Áreas escuras indicam grande passagem de radiação pelo filme e áreas claras indicam o oposto. Para fazer esta interpretação, o inspetor deverá utilizar um negatoscópio, aparelho em formato de caixa com luminosidade variável e um suporte onde o filme é colocado.



Figura 29-Modelo de negatoscópio utilizado para análise do filme radiográfico produzido.

(Fonte: < <http://www.omettoequipamentos.com.br/> > Acesso em nov/2016)

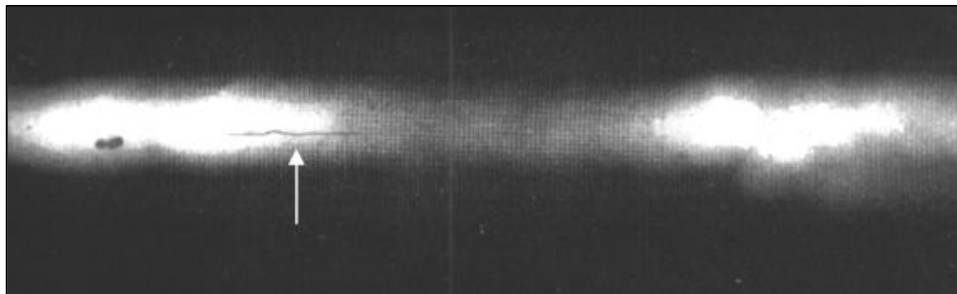


Figura 30 -Seção de uma solda contendo poro e uma trinca longitudinal.

(Fonte: Andreucci,2014, p.96)

No Brasil, para instalações que utilizam radiografia industrial, os requisitos de segurança e proteção radiológicas foram regulamentados pela CNEN e estão previstos na NN 6.04, abrangem a posse, a utilização, o armazenamento e o transporte de fontes de radiação para uso em instalações industriais. A norma, para fins de consulta, está disponível em <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm604.pdf> >.

Esta norma prevê também casos e ocorrências que devem ser notificados à CNEN. Observa-se que a intensificação do uso de fontes radioativas no campo industrial aumentou a preocupação com a ocorrência de acidentes, que independente das doses geradas, trazem consequências relevantes tanto para as empresas e quanto para os



trabalhadores ocupacionalmente expostos. Segundo à CNEN, acidente é qualquer evento não intencional, incluindo erros de operação e falhas de equipamento, cujas consequências reais ou potenciais são relevantes sob o ponto de vista de proteção radiológica.

Dentre as irregularidades apontadas pela CNEN como possíveis causas dos acidentes envolvendo operações de gamagrafia, podem ser destacadas:

- Falha nas instalações;
- Defeitos dos equipamentos que compõem a fonte radioativa;
- Fadiga do operador, provocada por rotina cansativa e monótona;
- Extravio ou furto de fontes;
- Relaxamento nas medidas de segurança decorrentes da monotonia da rotina.

Diante das irregularidades apontadas, observa-se a real necessidade de manutenção e até mesmo de renovação dos equipamentos, qualificação e treinamento dos operadores, além de maior controle na fiscalização para fins de verificação do cumprimento dos requisitos previstos na norma da CNEN.

## **4 DESENVOLVIMENTO E DADOS DE APLICAÇÃO**

Neste capítulo, será apresentada a forma como foi planejada e desenvolvida esta proposta didática.

### **4.1 VISTA PANORÂMICA**

Apresenta-se a proposta de uma sequência de ensino investigativo com enfoque CTS composta por atividades com o objetivo de abordar aspectos das aplicações industriais da Física das Radiações.

Buscando alcançar o objetivo aqui já apontado e também produzir um trabalho que atraísse o interesse dos alunos pelo tema Física da Radiações e suas aplicações industriais, inicialmente, foram definidas quais atividades seriam desenvolvidas.

O processo de escolha e planejamento das ações a serem propostas levou em consideração o referencial teórico com enfoque CTS e atividades investigativas, o número de alunos que compõe a turma, a quantidade semanal de tempos disponíveis para a aula de Física e o calendário escolar oficial da escola. Fatores externos associados à viabilidade das visitas técnicas também foram considerados.

A abordagem de um tema cuja aplicação na área industrial requer o domínio de conceitos de diferentes áreas como Física, Química, Biologia e Engenharia apontou para a necessidade de consulta de profissionais destas áreas, ressaltando a importância das aulas de ciências não apenas para o ensino de conceitos, fórmulas e teorias científicas, mas também para a compreensão das suas aplicações e implicações dentro da sociedade.

Diante desta necessidade constatada, profissionais das áreas citadas que atuam tanto no campo teórico quanto prático destas carreiras revelaram suas impressões sobre o uso industrial da Física das Radiações e levantaram problemas associados ao tema, à luz de sua formação acadêmica e experiência profissional.

O uso de atividades que levantem uma questão a ser respondida pelos alunos, sendo esta pergunta associada a situações cotidianas é indicado por Carvalho e Sasseron em:

Após a apresentação destas discussões, reforçamos aqui o pressuposto de que o ensino de Ciências pode e deve partir de atividades problematizadoras, cujas temáticas sejam capazes de relacionar e conciliar diferentes áreas e esferas da vida de todos nós, ambicionando olhar para as ciências e seus produtos como elementos presentes em nosso dia-a-dia e que, portanto, apresentam estreita relação com nossa vida. (2011,p.66).

## 4.2 ATIVIDADES PROPOSTAS

Levando-se em consideração a importância dos aspectos apontados, as atividades propostas foram separadas em 4 blocos para serem aplicadas com um grupo de alunos do segundo ano do Curso Técnico Integrado de Mecânica Industrial, conforme apresentado a seguir:

<b>BLOCO</b>	<b>ATIVIDADES PROPOSTAS</b>
I	Exibição de documentário e realização de uma mesa redonda sobre o Acidente Radiológico de Goiânia
II	Atividades investigativas acerca do tema Física das Radiações

III	Realização de visitas técnicas
IV	Aulas expositivas sobre aplicações da radiação gama na indústria

Tabela 4-Atividades propostas separadas por blocos.

(Fonte: Autoria própria)

Todas as atividades propostas foram pensadas considerando as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e buscando promover a formação de cidadãos críticos capazes de tomar decisões responsáveis em seu dia-a-dia. Este objetivo não poderia ser alcançado por meio de um ensino baseado na memorização e na resolução de problemas numéricos.

O enfoque CTS tem papel fundamental nas atividades desenvolvidas ao longo dos quatro blocos apresentados. No que diz respeito às classes definidas por Aikenhead (1996), a sequência de atividades se situa na classe 3: inserção proposital de conteúdo CTS, caracterizado pelo estudo sistemático e coerente de conteúdo CTS atrelado ao conteúdo científico. Configuram-se como atividades nas quais são apresentadas questões que se originam no campo da sociedade e que exigem, como resposta, uma tomada de posição.

Neste contexto, as ações foram também planejadas de modo a promover a chamada alfabetização científica.

Percebemos ainda uma preocupação crescente, ao longo dos anos, em colocar a Alfabetização Científica com objetivo central do ensino de Ciências em toda a formação básica. Preocupação esta que, em nossa visão, encontra base, respaldo e consistência na percepção da necessidade emergente de formar alunos para atuação na sociedade atual, largamente cercada por artefatos da sociedade científica e tecnológica. (SASSERON e CARVALHO, 2011, p.75)

O ensino de Ciências deve ser capaz de formar um aluno não apenas no campo profissional, mas também deverá promover uma formação pessoal. O indivíduo alfabetizado cientificamente deverá conhecer conceitos científicos básicos, aplicá-los em situações cotidianas, realizando tomada de decisões desencadeadas a partir do uso de elementos trabalhados nas aulas de ciências.

Carvalho e Sasseron apontam que:

[...] considerando esse panorama, Fourez defende a necessidade de um ensino que desenvolva o espírito crítico nos alunos com o objetivo de que sejam capazes de perceber os benefícios e malefícios provenientes das inovações científicas e tecnológicas e, na medida do possível, estabeleçam julgamentos quanto a esses. (2011,p.68).

A construção do cronograma de atividades foi fortemente influenciada por fatores como: calendário da escola, o número de alunos da turma, disponibilidade de horário dos demais docentes que participaram do projeto e a oferta de dias e horários disponibilizados pelas empresas para as visitas técnicas.

Nas seções de 4.3 a 4.6, são descritos os objetivos e propostas mais específicos das atividades desenvolvidas em cada um dos quatro blocos apresentados.

### **4.3 BLOCO I**

Por tratar-se de um tema que não permite a realização de atividades experimentais que envolvam a utilização de fontes radioativas, observa-se a necessidade do uso de outro recurso que permita despertar o interesse do aluno sobre o assunto.

O Bloco I é composto por três atividades relacionadas ao acidente radiológico de Goiânia de 1987. Tais atividades têm como objetivo geral promover a divulgação entre os

alunos de como ocorreu o referido acidente bem como de suas consequências imediatas. A realização destas ações foi motivada pela constatação de que poucos são os alunos envolvidos na pesquisa, nascidos, em média, após o ano de 1999, que já ouviram ou leram alguma notícia sobre este que é considerado um dos maiores acidentes radiológicos urbanos do mundo.

A estratégia didática escolhida para iniciar a abordagem deste acidente foi a utilização de um documentário como um recurso de inserção de um tema CTS.

"O filme documentário é aquele que, pelo registro do que é e acontece, constitui uma fonte de informação para o historiador e para todos os que pretendem saber como foi e como aconteceu". (PENAFRIA, 1999, p.20)

A atividade 1 foi mediada pela exibição do documentário *O pesadelo é azul*, uma produção brasileira de 2008, dirigida por Ângelo Lima, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=bBydk9-Sg5s>, que ao longo de 29 minutos retrata como ocorreu o acidente e seus desdobramentos a partir de vídeos de arquivos da época. São apresentados também depoimentos colhidos vinte anos depois, nos quais algumas vítimas expõem seus sentimentos e relatam o que aconteceu realmente e como estão vivendo com todos os problemas que a tragédia causou.



Figura 31- Alunos assistindo ao documentário “O Pesadelo é azul”.

(Fonte: Autoria própria)

No anexo A será apresentado um detalhamento do acidente e suas consequências, segundo a professora Emico Okuno, texto publicado em 2013, na Revista Estudos Avançados, Volume 27, n 77, ano 14, disponível para consulta em <http://www.scielo.br/pdf/ea/v27n77/v27n77a14.pdf>.

Após a exibição do documentário, foi organizada uma mesa redonda (atividade 2), com a participação de professores que já atuam com o grupo de alunos participante da atividade, das disciplinas Biologia, Química e Sociologia, na qual foram discutidos os aspectos sociais, ambientais, políticos e econômicos relativos ao acidente. Cada professor apresentou uma análise do acidente segundo aspectos de sua disciplina, ratificando a necessidade de considerar diferentes elementos para que seja possível compreender o todo.

[...] reforçamos aqui o pressuposto de que o ensino de Ciências pode e deve partir de atividades problematizadoras, cujas temáticas sejam capazes de relacionar e conciliar diferentes áreas e esferas da vida de todos nós, ambicionando olhar para as ciências e seus produtos como elementos presentes

em nosso dia-a-dia e que, portanto, apresentam estreita relação com nossa vida. (SASSERON e CARVALHO, 2011, p.66)

Ao final da atividade da mesa redonda, a turma foi dividida em cinco grupos e cada um foi orientado a promover entre os seus integrantes uma discussão sobre o acidente e suas consequências. Ao fim do debate, cada equipe deveria elaborar uma pergunta de seu interesse sobre o acidente (atividade 3). Os alunos foram informados que as questões por eles levantadas seriam respondidas por dois professores da UFRJ, formados em Física, cujas ações deram contribuições importantes para as medidas que foram tomadas após a ocorrência do acidente.



Figura 32- Professoras e alunos durante a realização da mesa redonda.

(Fonte: Autoria própria)

As atividades desenvolvidas no Bloco I configuraram-se como uma ferramenta fundamental para a aprendizagem e para a construção do conhecimento científico, conforme ratifica Schein e Coelho, em:

O questionamento desempenhou, [...], um papel essencial como ferramenta promotora de aprendizagem por desencadear processos importantes na construção do conhecimento científico, como instigar os alunos a expressar suas ideias e o seu conhecimento prévio, a observar, a estabelecer relações entre situações de sala de aula e o seu cotidiano. (2006, p.89).



Os questionamentos apresentados na tabela a seguir foram entregues pelos grupos dentro do prazo de uma semana após a exibição do documentário.

Tabela 5-Perguntas dos alunos sobre o acidente. (Fonte: Autoria própria)

<b>GRUPO</b>	<b>PERGUNTA</b>
<b>1</b>	Quais as principais medidas tomadas após a este acidente para evitar que ocorram outros acidentes como este?
<b>2</b>	Existe alguma pesquisa sobre as doenças desenvolvidas pelas pessoas que moravam próximo ao local do acidente? Estas doenças estão diretamente ligadas ao acidente?
<b>3</b>	Como foi feito (na época) o tratamento das pessoas que tiveram contato com o césio?
<b>4</b>	Como a CNEN faz o controle do material radioativo usado nas clínicas?
<b>5</b>	Como a meia-vida do césio é de 30 anos e o acidente foi em 1987, ainda

	há césio naquela região. É perigoso viver naquela região? As árvores de lá ainda são radioativas?
--	---

#### 4.4 BLOCO II

Neste bloco serão apresentadas as atividades investigativas desenvolvidas com os alunos como o objetivo de promover a discussão de conceitos centrais dentro do tema Física das Radiações, bem como a abordagem de noções importantes para a compreensão de como ocorre a aplicação de radiação nos processos industriais.

Independentemente do tema abordado, uma atividade investigativa tem como ponto de partida a proposição de um problema.

Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído. (BACHELARD, 1993, p. 18).

Para um projeto de atividade investigativa, é fundamental que o problema proposto seja aberto, portando, não precisando apresentar necessariamente uma única solução aceitável e nem mesmo estar associado a uma sequência pré-determinada de raciocínios que levariam o aluno a solucioná-lo. Um problema aberto deve ser relevante para o estudante, situando-se, portanto, no contexto do seu cotidiano para que possa assim despertar seu interesse.

O tema abordado, por fatores associados à proteção radiológica, não permite que sejam realizadas atividades experimentais que envolvam a utilização de uma fonte radioativa, nas quais o aluno dentro da perspectiva do laboratório tradicional realizaria experimentos reais, seguindo procedimentos pré-definidos em um roteiro fechado.

Segundo Tamir (1991 apud Borges, 2002, p.296), no que é denominado laboratório tradicional, o aluno realiza atividades práticas, envolvendo observações e medidas, acerca de fenômenos previamente determinados pelo professor.

Dentro das peculiaridades apresentadas pelo tema, cabe a utilização de recursos que sejam mediadores de atividades nas quais os estudantes desenvolvam sua própria metodologia, guiados pela busca de solução para um problema proposto pelo professor. É preciso que o aluno tenha autonomia para buscar um resultado dentro de uma perspectiva em que não há um passo a passo com uma rigorosa metodologia a ser seguida e muito menos uma única solução é aceitável.


Uma opção para a questão levantada é a utilização de atividades investigativas no contexto de um laboratório aberto.

Uma alternativa que temos defendido há mais de uma década, e mais recentemente temos investigado e utilizado com nossos alunos, consiste em estruturar as atividades de laboratório como investigações ou problemas práticos mais abertos, que os alunos devem resolver sem a direção imposta por um roteiro fortemente estruturado ou por instruções verbais do professor. (BORGES,2002, p.303).


A primeira atividade investigativa, correspondente à aplicação de um questionário, foi desenvolvida antes de realização da primeira aula teórica (com apresentação de conteúdos) sobre o tema, sendo assim estruturada em função do seu objetivo principal de fazer um levantamento das concepções dos alunos acerca do tema radiação e de como eles observam a sua presença na natureza e no seu cotidiano.

Inicialmente foi distribuído o questionário apresentado na figura 33, devendo o aluno respondê-lo individualmente e devolvê-lo ao professor, não havendo a necessidade de identificação. Durante a aplicação do questionário foram utilizados gravadores de áudio que estavam espalhados entre os alunos com o objetivo de gravar suas falas e possíveis reações durante a realização da atividade.


1. Considerando as imagens abaixo, assinale a alternativa que representa material radioativo:




1



2



3



4

a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

2. Você acha que é possível que as radiações possam ser emitidas por fontes naturais?  
a) SIM b) NAO

3. Você considera que os alimentos irradiados são prejudiciais à saúde?  
a) SIM b) NAO

4. (PERGUNTA A SER RESPONDIDA SOMENTE POR QUEM MARCOU A OPÇÃO SIM NA QUESTÃO ANTERIOR)  
Marque a opção que justifica o porquê de você acreditar que alimentos irradiados são prejudiciais à saúde.  
a) O alimento irradiado perde suas características originais, tornando-se alimentos radioativos.  
b) A ingestão de alimentos irradiados faz com que os indivíduos que dele se alimentam também se tornem radioativos.  
c) Outra justificativa. Qual? -  
\_\_\_\_\_

5. Ao ouvir falar sobre radiação, qual a primeira situação que lhe vem à mente?  
a) Bombas  
b) Diagnóstico e tratamento médico  
c) Algo que pode ser usado na geração de energia  
d) Controle de qualidade na indústria  
e) Algo exclusivamente prejudicial à saúde

6. Em (qual) quais locais/ambientes, você acha que está exposto a alguma forma de radiação?  
a) Um hospital  
b) Um avião localizado a 8km de altitude  
c) Uma usina nuclear  
d) Uma praia  
e) Uma escola

Figura 33–Questionário sobre conceitos básicos envolvendo radiação.

(Fonte: Autoria própria)

Após a entrega dos questionários respondidos, a turma foi dividida em cinco grupos e cada grupo recebeu um medidor de radiação (contador Geiger), semelhante ao mostrado na figura 34, juntamente com breves instruções de como manuseá-lo. A escolha por este modelo se deu apenas por ele está disponível em um dos laboratórios da escola. Com este instrumento, os grupos foram orientados a procurar, durante quinze minutos, dentro do espaço da escola, objetos que emitissem radiação. Ao final, cada grupo deveria retornar à sala de aula e expor para a turma quais os objetos encontrados que emitiam radiação. Cada grupo também recebeu um gravador de áudio que foi utilizado para gravar as falas do grupo durante o desenvolvimento desta atividade.



Figura 34- Imagem do modelo de contador Geiger utilizado durante a atividade aplicada.

(Fonte: <http://www.lktechnology.com.br/> Acesso em nov/2016).



Figura 35- Alunas realizando a medição da radiação proveniente de um bloco de concreto.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 36- Alunos realizando a medição da radiação proveniente de uma banana. (Fonte: Autoria própria)

A segunda atividade investigativa desenvolvida pode ser classificada como um laboratório aberto, categoria cujas características gerais estão descritas na tabela 2, na qual o estudante é exposto ao problema já formulado, mas não recebe instruções sobre procedimentos e não conhece as conclusões a que se espera que chegue a priori.

Esta atividade foi mediada pela leitura de bulas de medicamentos que foram trazidas pelos alunos e pela exibição do vídeo *Salvador, o hipocondríaco*, um recurso educacional produzido pelo Instituto de Matemática da Unicamp em 2012 e disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=EfbqbizUxiM>>. Trata-se de um vídeo de 12 minutos em que o personagem Salvador é um hipocondríaco que lê a bula do remédio que vai tomar para alguma dor e depara com algumas informações curiosas. Com a ajuda de seu anjo da guarda, ele entende o significado dos termos da bula e aprende algumas lições. Os conteúdos abordados são função exponencial, meia-vida, concentração de remédios e decaimento radioativo.

A atividade foi iniciada com exibição dos cinco primeiros minutos do vídeo e em seguida, foi proposta uma discussão sobre como seria a forma do gráfico que representaria a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia-vida.

Em seguida, os alunos, divididos em cinco grupos, receberam um kit contendo os materiais discriminados a seguir e foram orientados a utilizá-los para construir o gráfico em questão.

- 5 garrafas plásticas de 300 ml vazias;
- 2 litros de água com corante vermelho;
- 2 folhas de papel milimetrado;
- Uma régua

O objetivo principal é uma investigação, a partir da manipulação dos materiais descritos, que leve o aluno à construção do gráfico que representa a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia-vida.

Durante o seu desenvolvimento, foi utilizado um gravador para cada grupo com objetivo de gravar as falas e possíveis reações dos alunos.

Os grupos, após discussão entre os integrantes, organizaram as garrafas com o seu conteúdo de acordo com a disposição mostrada na imagem a seguir.



Figura 37-Materiais manipulados pelos alunos durante a atividade envolvendo o conceito de meia-vida.  
(Fonte: Autoria própria)

Após a construção do gráfico pelos grupos, foi exibida a parte final do vídeo “*Salvador, o hipocondríaco*”, onde é feita uma abordagem sobre o gráfico da função exponencial. Em seguida, foi solicitado que um integrante de cada grupo explicasse para a turma quais os procedimentos utilizados, permitindo um compartilhamento das estratégias encontradas.

Com a exibição do vídeo se objetivava promover discussões sobre conceito de meia vida de fármacos, a forma como ocorre o decaimento destas substâncias no



organismo e sobre aspectos envolvidos no ensino da função exponencial. Trata-se de uma atividade que revela fortemente a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), já que o problema se origina num membro da sociedade num contexto associado a questões do cotidiano do aluno.

É requerido do cidadão contemporâneo a capacidade de se posicionar ou, em alguns casos, participar em tomadas de decisão de cunho tecnocientífico e interesse social. A formação oferecida pela escola média nas áreas de ciências pode contribuir para empoderar o cidadão para esse posicionamento crítico. (RODRIGUES, 2014, p.20).

Ao final desta atividade, foi destacada a diferença entre os conceitos de meia-vida biológica e meia-vida física.

A terceira atividade investigativa teve sua proposta elaborada com o objetivo principal de situar o aluno dentro da questão da qualidade de produtos, ou seja, fazer com que o estudante tenha contato com uma concepção de qualidade como algo associado à conformidade ao projeto de elaboração do produto. Deseja-se que o estudante seja capaz de perceber, após a realização da atividade, que qualidade de produto não está relacionado a classificar o produto como bom ou ruim. Deve-se destacar que esta atividade não tem como objetivo a abordagem de conteúdos da Física e foi desenvolvida apenas com a intenção de apresentar o conceito de qualidade e sua relação com a Organização Internacional para a Padronização (ISO), aspectos importantes de dentro do campo industrial e, portanto, relevantes para o profissional técnico em mecânica que atua nesta área.

Esta atividade iniciou-se com um debate sobre como os alunos observam o conceito de qualidade de um produto. Deseja-se, a partir desta discussão, identificar quais os elementos que os estudantes consideram na hora de avaliar um produto em termos de sua qualidade.

Na tabela 6, são apresentadas algumas das afirmações apresentadas por alguns alunos sobre o conceito de qualidade:

<b>Aluno</b>	<b>Afirmação<sup>22</sup></b>
José	“Qualidade é o produto funcionar bem”
Bruno	“Produto de qualidade é aquele que é barato e dura”
Maria	“Produto bom é aquele que não quebra”
Marcos	“Produto caro é que tem qualidade, por isso você tá pagando mais por ele”

Tabela 6-Afirmações dos alunos sobre o conceito de qualidade de um produto.

(Fonte: Autoria própria)

Em seguida, foram entregues três canetas diferentes à turma e pede-se aos estudantes que discutam e tentem encontrar respostas a duas perguntas reproduzidas a seguir:

1. *Na sua opinião, qual caneta tem mais qualidade?*
2. *Qual critério que você utilizou para dimensionar a qualidade das canetas?*
3. *A sua decisão seria influenciada caso a embalagem de uma das canetas informasse sobre certificação ISO 9000? Justifique sua resposta.*

---

<sup>22</sup> As afirmações apresentadas são resultado das falas dos alunos e foram transcritas exatamente como foram ditas.



Figura 38- Canetas analisadas pelos alunos.

(Fonte: Autoria própria)

A análise das concepções dos alunos sobre o conceito de qualidade revela que estas não estão de acordo com as definições estabelecidos pelos teóricos da área de Gestão da Qualidade, pois de acordo com o Miranda (1994), o conceito básico de qualidade e melhoria da qualidade refere-se à adequação ao uso e ausência de defeitos. Já segundo a ABNT NBR ISO 9001<sup>23</sup>, qualidade é o grau no qual um conjunto de características inerentes que satisfaz a requisitos.

Segundo Villas Boas (2005), o controle de qualidade nas empresas se faz muito importante, pois é por meio dele que se conhece se os produtos estão dentro dos padrões exigidos pelo mercado ou não. Com a globalização e o aumento de competitividade entre

---

<sup>23</sup> Segundo o INMETRO, a ABNT NBR ISO 9001 é a versão brasileira da norma internacional ISO 9001 que estabelece requisitos para o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) de uma organização, não significando, necessariamente, conformidade de produto às suas respectivas especificações. O objetivo da ABNT NBR ISO 9001 é lhe prover confiança de que o seu fornecedor poderá fornecer, de forma consistente e repetitiva, bens e serviços de acordo com o que você especificou. (Fonte: < <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/CB25docorient.pdf>> Acesso jan/2017).

as empresas, é preciso que as empresas tenham um rígido controle de qualidade caso queiram ter um produto competitivo no mercado.

Dentro deste quadro, uma ferramenta importante é a série ISO 9000 que estabelece um conjunto de normas e padrões fundamentais para o controle de qualidade.

O trecho a seguir, adaptado de um artigo disponível no site do INMETRO, que trata sobre o real significado da certificação da série ISO 9000. Este texto foi entregue aos alunos para leitura e discussão.

*[...]Para que se possa, objetivamente, avaliar o significado da certificação do sistema de Gestão da Qualidade de empresas, segundo as normas da série ISO 9000, faz-se necessário compreender os antecedentes históricos que deram origem a essa sigla, hoje mundialmente conhecida. No final dos anos 50, às voltas com a guerra fria e com a corrida espacial, as forças armadas americanas verificaram que, para assegurar o desempenho do complexo industrial-militar, era fundamental qualificar seus fornecedores tendo em vista a confiabilidade de seus produtos e serviços. Assim, foi elaborada uma norma, a "Military Standard", para avaliar o sistema de controle da qualidade de seus fornecedores. Com esse mesmo objetivo, foram desenvolvidas especificações para a área nuclear, pela Agência Internacional de Energia Atômica. Esse movimento se disseminou por vários outros setores da economia, de modo que, na década de 70, a qualificação de fornecedores era, em nível mundial, uma atividade desenvolvida em um ponderável número de grandes empresas e em grandes projetos. No Brasil, a partir de meados da década de 70, as estatais brasileiras fizeram um grande esforço de capacitação e qualificação de seus fornecedores. O Programa Nuclear Brasileiro foi o pioneiro nesse esforço de avaliação de fornecedores pela ótica da qualidade, sendo seguido pela Petrobras e outras estatais. Cabe ressaltar que as exigências feitas nesse esforço nacional eram idênticas às internacionais. Assinale-se também as iniciativas bem-sucedidas de algumas empresas privadas exportadoras que se adaptaram aos padrões de qualidade exigidos pelos mercados dos países desenvolvidos. Em meados da década de 80, a Internacional Organization for Standardization (ISO) iniciou a elaboração do que se chamou normas sistêmicas para a qualidade. Essas normas são genéricas, não se prendem a um produto ou a um setor em particular, mas tratam da avaliação, sob a ótica da gestão da qualidade, do processo produtivo como um todo, qualquer que seja ele. Essas normas foram denominadas série ISO 9000.*

*O sucesso dessas normas resultou fundamentalmente de dois fatores. Em primeiro lugar, o movimento de globalização da economia, que levou à constituição de produtos mundiais, tanto no que se refere à utilização de componentes oriundos dos mais variados mercados, como quanto ao uso dos mesmos. Portanto, tornou-se extremamente importante a existência de uma marca que permitisse reconhecer que o fornecedor tem seu processo de produção minimamente controlado. Como segundo fator contributivo, a qualidade de avaliações feitas por compradores em seus fornecedores, utilizando-se de especificações diversas e em lugares cada vez mais distantes, tornou-se muito onerosa. Assim, mostrou-se altamente conveniente uma norma reconhecida mundialmente que permitisse a avaliação dos fornecedores por entidades independentes da relação contratual. Daí o sucesso do certificado ISO 9000. A certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade ISO 9000 não pode ser confundida com a certificação de produto. A certificação de produto é o reconhecimento, através de uma marca ou selo, de que um produto está em conformidade com os requisitos especificados em normas ou regulamentos técnicos[...]*

(Adaptado pela autora de <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/iso9000.asp>>, com acesso em set/2016).

Após a leitura do texto, foi solicitado que cada aluno respondesse as questões apresentadas a seguir:

*1. Baseado no texto anterior e nas discussões sobre qualidade já realizadas, é possível garantir a qualidade dos produtos que são produzidos por empresas que tem o certificado da série ISO 9000? Justifique sua resposta.*

*2. Você já teve acesso a alguma propaganda de empresas certificadas que induz o consumidor a concluir que o produto é que é o elemento certificado? Em caso afirmativo, comente sobre como era o anúncio.*

Com a leitura deste texto e discussões promovidas em sala de aula, espera-se que o aluno consiga perceber como o controle de qualidade exerce forte influência sobre o campo industrial na atualidade, principalmente quando consideramos a globalização da economia e o aumento do nível de competitividade entre as empresas.

Cabe lembrar que para os casos envolvendo o uso de radiação na indústria, os padrões não serão estabelecidos pelo INMETRO, já que, para estas situações, existe uma legislação específica que estabelece normas e procedimentos a serem cumpridos e que serão estabelecidos e fiscalizados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

A quarta atividade da sequência é uma questão aberta mediada pela leitura e discussão de um texto retirado de uma revista científica nacional. O texto, apresentado na figura 35 é um recorte da Revista Brasil Nuclear (ano 9, nº 25, Jun-Ago/2002) e sua leitura deve ser seguida de uma discussão em grupo que objetiva encontrar respostas para três perguntas incluídas ao final do material recebido pelo estudante.

O principal objetivo da atividade é que o aluno compreenda que uma possível aplicação de fontes radioativas é a sua utilização em processos industriais para fins de controle de qualidade.

#### Fontes radioativas garantem a qualidade dos processos industriais

A indústria é uma das maiores usuárias das técnicas nucleares, respondendo por 31% das licenças para utilização de fontes radioativas. Elas são empregadas, principalmente, para a melhoria da qualidade dos processos dos mais diversos setores industriais como o de bebidas, papel e celulose, siderúrgicas, indústrias automobilística, naval e aeroviária, e o setor petrolífero. As principais aplicações são na medição de espessuras e de fluxos, e no controle da qualidade de junções de peças metálicas.

Segundo Eduardo Mendonça, coordenador geral de Licenciamento e Controle da Comissão Nacional de Energia Nuclear – Cnen, as principais fontes utilizadas são o Cobalto 60, o Césio 137, o Amerício 241, o Irídio 192 e, mais raramente, o Estrôncio e o Trício.

Ricardo Brito, chefe da divisão de Instalações Radioativas da Cnen, ressalta que a utilização das fontes radioativas permite às indústrias alcançar os rígidos parâmetros exigidos pelo mercado externo e agregar mais qualidade aos produtos. Ele cita alguns exemplos. "Na indústria de papel, que opera com medidas padrão de gramatura, uma forma de garantir que todas as folhas tenham a mesma gramatura, para atender às exigências do mercado mundial, é a utilização de técnicas nucleares. Na indústria de bebidas, as fontes radioativas vêm sendo utilizadas para controle de enchimento de vasilhames", informa.

Outra importante aplicação das técnicas nucleares na indústria é a irradiação. Ela é usada, por exemplo, para aumentar a durabilidade de produtos como os fios e cabos elétricos ou para esterilizar produtos médico-hospitalares em empresas como a Johnson&Johnson (ver Brasil Nuclear 17). A irradiação de cabos foi introduzida no país há 20 anos. Somente no ano passado, o Ipen, que presta esse serviço para inúmeras empresas, irradiou 12 mil quilômetros de cabos. A técnica se disseminou a ponto de muitos fabricantes terem investido na aquisição de aceleradores, para irradiar seus produtos in-house.

Figura 39-Texto sobre fontes radioativas, retirado da Revista Brasil Nuclear (ano 9, nº 25, Jun-Ago/2002).

Ao final do texto são apresentadas as três perguntas que os alunos devem responder por escrito, findas a leitura e a discussão.

*1. Se você fosse convidado para trabalhar em uma empresa que utiliza radiação em seu processo produtivo, você aceitaria esta proposta de trabalho?*

*a. Caso afirmativo, por quê?*

*b. Caso negativo, por quê?*

*2. Quais as vantagens, na sua opinião, do uso de radiação em indústrias?*

*Quais as desvantagens, na sua opinião, do uso de radiação em indústrias?*

A quinta atividade da sequência trata-se de uma questão aberta que propõe uma abordagem interdisciplinar para o acidente de Chernobil, envolvendo as disciplinas Física e Literatura. O principal objetivo é promover uma discussão contexto científico e literário associado ao acidente ocorrido em 1986, realizando análises sobre o conteúdo e forma de um poema, retirado do livro *Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear*, da escritora bielorrussa Svetlana Alekisiévich, ganhadora do Prêmio Nobel de Literatura em 2015.

O livro reúne os relatos dos sobreviventes do acidente nuclear que ficou conhecido como acidente de Chernobil<sup>24</sup>, ocorrido em 1986, após a ocorrência de explosões em um reator de uma central elétrica nuclear de Chernobil, na cidade de Prip'yát, a 120 quilômetros da atual Ucrânia. Segundo a autora são relatos colhidos ao longo de uma década que trazem à tona os diferentes dramas sofridos por aquela população, destacando também um retrato daquele momento histórico de início da desintegração da União Soviética, sob a liderança de Gorbachev. O livro, foi lançado no Brasil em 2016, foi originalmente publicado em 1997 e chegou a ser proibido na Bielorrússia.

Segundo Moreira (2002), a discussão dos riscos e das aplicações da Ciência, assim como dos aspectos éticos envolvidos na atividade científica podem ser estimulados

---

<sup>24</sup> O Acidente de Chernobil ocorreu em 1986 na Usina Nuclear de Chernobil, atual Ucrânia e foi provocado após explosões no quarto reator da usina, o que provocou um grande incêndio e a liberação de radiação para a atmosfera.

a partir do uso de textos literários. Temas como bomba atômica e acidentes nucleares são importantes a serem discutidos nas escolas, já que a formação adequada para a cidadania passa também por uma correta apreciação da Ciência e da tecnologia, seus funcionamentos e seus usos.

Outro aspecto que poderá ser abordado a partir dos relatos apresentados no livro está associado ao levantamento do contexto histórico da época, permitindo um debate de questões envolvendo a crise na União Soviética, por exemplo. Além das questões científicas envolvidas, é necessário abordar o contexto filosófico, político e cultural da época do acidente.

O texto escolhido traz o relato de **Liudmila Ignátienko, mulher do bombeiro Vassíli Ignátienko:**

*“Não sei do que falar... Da morte ou do amor? Ou é a mesma coisa? Do quê?”*

*Estávamos casados havia pouco tempo. Ainda andávamos na rua de mãos dadas, mesmo quando entrávamos nas lojas. Sempre juntos. Eu dizia a ele: “Eu te amo.” Mas ainda não sabia o quanto o amava. Nem imaginava. Vivíamos numa residência da unidade dos bombeiros, onde ele servia. No 2º andar. Ali também moravam três jovens famílias, que compartilhavam a cozinha. Embaixo, no 1º andar, ficavam os carros, os carros vermelhos do corpo de bombeiros. Era esse o trabalho dele. Eu sempre sabia onde ele estava e o que se passava com ele. No meio da noite, ouvi um barulho. Gritos. Olhei à janela. Ele me viu: “Feche a persiana e vá se deitar. Há um incêndio na central. Volto logo.”*

*A explosão, propriamente, eu não vi. Apenas as chamas, que iluminavam tudo, o céu inteiro... Chamas altíssimas, muita fuligem. O calor era terrível. E ele não voltava. A fuligem se devia ao betume queimado, o telhado da central era coberto de asfalto. As pessoas andavam sobre o telhado como se fosse resina, como depois ele me contou. Os colegas apagavam as chamas, enquanto ele rastejava e subia até o reator. Eles chutavam o grafite ardente... Foram para lá sem o equipamento de lona, com as camisas que estavam usando. Não os preveniram, soltaram o aviso de um incêndio comum.*

*Quatro horas... Cinco... Seis... Nós tínhamos combinado de ir à casa dos pais dele às seis, para plantar batatas. Da cidade de Prípiat até a aldeia Sperijie, onde*



*eles viviam, eram 40 quilômetros. Nós íamos lá semear, arar. Era o que meu marido mais gostava de fazer... A mãe dele frequentemente se lembra de que ela e o pai não queriam deixá-lo ir para a cidade, chegaram a construir uma casa nova. Mas ele foi convocado pelo Exército. Serviu em Moscou nas tropas dos bombeiros e quando voltou só queria ser bombeiro. Nada mais. (Silêncio)*

*Às vezes parece que escuto sua voz. Que ele está vivo... Nem as fotografias me tocam tanto quanto a voz dele. Mas ele nunca me chama. Nem em sonhos... Sou eu que chamo meu marido.*

*Sete horas... Às sete me avisaram que ele estava no hospital. Corri até lá, mas havia um cordão de policiais em torno do prédio, ninguém passava. As ambulâncias chegavam e partiam. Os policiais gritavam: “Os carros estão com radiação, não se aproximem.” Eu não era a única, todas as mulheres cujos maridos estavam na central essa noite vieram correndo, todas. Quando vi saltar de um carro uma conhecida que trabalhava como médica naquele hospital, corri e a segurei pelo jaleco: “Me deixe entrar!” “Não posso! Ele está mal. Todos estão mal.”*

*Agarrei-a com força: “Só quero ver o meu marido.” “Está bem”, ela disse. “Vamos. Mas só por quinze, vinte minutos.”*

*Eu o avistei. Estava todo inchado, inflamado. Quase não se viam seus olhos.*

*“Ele precisa de leite. Muito leite!”, ela disse. “Eles devem beber ao menos 3 litros”. “Mas ele não toma leite.” “Agora vai ter que tomar.”*

*Muitos médicos, enfermeiras e, sobretudo, as auxiliares desse hospital, depois de algum tempo, começaram a adoecer. Mais tarde morreriam. Mas na época ninguém sabia disso.*

*Às dez da manhã morreu o técnico Chichenok. Foi o primeiro. No primeiro dia. Logo soubemos de outro que tinha ficado sob os escombros, Valera Khodemtchuk. Não conseguiram retirá-lo, foi emparedado com concreto. Mas ainda não sabíamos que esses seriam apenas os primeiros”.*

(Texto retirado do livro *Vozes de Tchernóbil*, 2016)



Figura 40-Livro Vozes de Tchernóbil:a história oral do desastre nuclear.

(Fonte: <http://blogs.acidadeon.com/blogs/livrosemfrescura/files/2016/12/vozes.jpg> Acesso em nov/2016).

A escolha específica por este relato justifica-se por nele ser apresentada a questão da ingestão de leite como forma de tratamento para casos comuns de intoxicação, prática, popularmente, também conhecida entre os brasileiros<sup>25</sup>.

A atividade foi mediada pela leitura do texto apresentado, seguida de discussões sobre questões científicas, sociais e éticas relacionadas ao acidente de Chernobil, um dos maiores acidentes nucleares vividos até hoje. O debate foi realizado no contra turno e contou com a participação voluntária de 20 alunos de uma turma do 2º ano do Curso Técnico Integrado de Mecânica Industrial.

---

<sup>25</sup> Não estamos afirmando que se trata de uma prática válida e cientificamente comprovada. Apenas estamos tratando do destaque desta prática no contexto da cultura popular.

Os alunos debateram também sobre aspectos positivos e negativos relacionados ao uso da energia nuclear, considerando fatores de diferentes naturezas como o econômico e o social.

Acredita-se que este tipo de atividade ao estimular o debate acerca de questões sociocientíficas, ao dar voz ao aluno, mostra-se como uma ferramenta eficaz para estimular a capacidade argumentativa dos alunos.

É importante deixar claro que o acidente radiológico de Goiânia e o Acidente de Chernobil apresentam naturezas completamente diferentes e não possuem relação entre si. A opção pela citação destes dois acidentes justifica-se apenas pelo fato de que em ambos ocorreu a liberação de radiação para a atmosfera, trazendo consequências ambientais, econômicas e sociais de forte impacto.

A sequência de atividades investigativas apresentadas anteriormente foi desenvolvida com o objetivo principal de permitir o acesso a um ensino de Ciências que incorpore perspectivas humanísticas ao currículo e que seja capaz de levar o estudante à compreensão das inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Desse modo, procuramos mostrar que, quer que seja para o desenvolvimento de habilidades pessoais relacionadas à formação do indivíduo, quer que seja para o benefício da sociedade como um todo, um ensino de Ciências que abra mão de uma abordagem sobre as questões sociais, econômicas, éticas e morais, não conseguirá contemplar plenamente importantes objetivos almejados para uma formação de cidadãos cientificamente alfabetizados. (Penha e Carvalho, 2012)

## 4.5 BLOCO III

O texto *Fontes radioativas garante a qualidade em processos industriais* (fig.36) sinaliza um campo de aplicação das radiações diferente da tradicional área médica, apontando para uma aproximação cada vez maior entre a sociedade e as mais diferentes radiações. Desta forma, é preciso que a sociedade compreenda os efeitos da

radioatividade, principalmente sobre o organismo humano; ressaltando assim a relevância do estudo das radiações no currículo escolar.

Espera-se que o ensino de física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (Brasil, 1999, p. 229).

O uso de radiação nos processos industriais tornou-se algo concreto e cotidiano na indústria brasileira nos seus mais diferentes ramos. Segundo dados da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), obtidos pela autora em entrevistas a servidores da referida instituição, no ano de 2015, o estado do Rio de Janeiro, já contava com 98 organizações industriais que utilizam radiação em seus processos produtivos com diferentes especialidades com destaque especial para radiografia industrial e medidores nucleares fixos. O uso de material radioativo não se restringe ao campo industrial, alcançando também o setor terciário da economia, com o aumento da oferta de serviços que se propõem, por exemplo, a inspecionar bagagens e contêineres em portos e aeroportos. Aplicações desta natureza estão sendo cada vez mais utilizadas para o controle da entrada e saída de armas e drogas no país, passando assumir um papel fundamental em questões relacionadas a atuação do Brasil no contexto do narcotráfico internacional.

O gráfico 3, mostrado a seguir, apresenta dados relacionados ao número de empresas, localizadas no estado do Rio de Janeiro, que utilizam radiação em suas instalações. São informações referentes ao ano de 2015 fornecidos pela CNEN em entrevista e congregados pela autora deste trabalho.



Gráfico 3–Empresas do estado do Rio de Janeiro que utilizam radiação.

(Fonte: Autoria própria)

Uma grande questão é como tópicos relacionados às radiações deverão ser levados até aos cidadãos, principalmente, aqueles que não possuem formação científica, mas que por questões trabalhistas irão ter contato com algum tipo de fenômeno radioativo. Uma possível saída para a problemática apresentada está no ensino de elementos básicos associados à radioproteção aos alunos de cursos técnicos da área industrial. A ideia é que este futuro técnico aprenda sobre os efeitos das radiações ionizantes e que posteriormente possa transmitir estes conceitos para os trabalhadores operacionais que atuam no chamado chão de fábrica. Trata-se de uma medida importante, pois irá auxiliar o técnico de segurança do trabalho que, apesar da legislação específica, atuam em baixo número em muitas indústrias. Para evitar acidentes radiológicos, é fundamental que este aluno tenha noção dos riscos envolvidos nas atividades que utilizam radiação e das principais normas da CNEN aplicáveis à Radiologia Industrial (NN -3.01 e NN- 6.04). Dentro deste contexto, o ensino de Física possibilitará um engajamento reflexivo dos alunos acerca de proteção radiológica, um assunto de seu interesse e preocupação.

A constante preocupação com a formação adequada dos estudantes aponta não apenas para um compromisso com a formação do cidadão, mas também para a necessidade de qualificação do profissional que será inserido no mercado de trabalho

que contempla um desafio de superação da dificuldade de interligação entre os saberes teóricos e práticos.

A inserção da visita técnica na proposta pedagógica de um curso técnico pode ser vista como uma das possíveis estratégias de integração teórico-prática.

O parágrafo primeiro do artigo 21 das Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio (BRASIL,2012) prevê que:

A prática na Educação Profissional compreende diferentes situações de vivência, aprendizagem e trabalho, como experimentos e atividades específicas em ambientes especiais, tais como laboratórios, oficinas, empresas pedagógicas, ateliês e outros, bem como investigação sobre atividades profissionais, projetos de pesquisa e/ou intervenção, visitas técnicas; simulações; observações e outras.

Foram organizadas duas visitas técnicas a indústrias cujas atividades produtivas envolvem o uso de radiação, buscando proporcionar aos alunos uma formação mais ampla, permitindo observar o ambiente real de uma empresa em pleno funcionamento, além de ser possível verificar sua dinâmica, organização e todos os fatores teóricos implícitos nela.

O processo de planejamento da visita técnica foi dirigido de modo a considerar aspectos como: o assunto a ser pesquisado e observado, a empresa a ser visitada, o grupo de alunos e professores participantes e resultados esperados a partir desta atividade.

É fundamental que tenhamos de forma clara e bem estruturada a definição do problema a ser investigado, de forma que o aluno compreenda o porquê de estar participando deste tipo de ação exploratória.

Com o intuito de promover um melhor planejamento, surgiu a necessidade de o docente realizar uma visita prévia, sem a companhia dos estudantes, para que pudesse

obter informações mais detalhadas sobre o processo produtivo da empresa, buscando realizar um levantamento de elementos que serão observados pelos alunos e que podem ser relacionados com conceitos já vistos por eles, além de procurar levantar questões relacionadas com a temática de estudo que está norteando a visita. Da mesma forma, é necessário que os alunos façam uma pesquisa sobre a empresa, considerando aspectos como sua missão, visão e valores, como forma de preparação da visita técnica.

#### **4.5.1 A visita técnica à NUCLEP**

A primeira empresa a ser visitada foi a NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A.). Foi escolhida por utilizar radiação para controle de qualidade em seu processo produtivo e por estar localizada no Distrito Industrial de Itaguaí, a aproximadamente vinte quilômetros da escola, onde foi aplicado este trabalho. Seu bom relacionamento com a escola também foi um fator decisivo, à medida que se apresenta sempre disposta a participar de atividades de extensão e apresenta-se como uma boa opção para estágio para alunos concluintes dos cursos técnicos.

Segundo informações disponíveis em seu site institucional, <<http://www.nuclep.gov.br/>>, a NUCLEP localiza-se no município de Itaguaí/RJ, é uma indústria de base produtora de bens de capital sob encomenda, que atua preferencialmente na área de caldeiraria pesada. É uma sociedade de economia mista regida pela Lei n.º 6.404/76 (Lei das Sociedades Anônimas), pelo Decreto n.º 76.805/75 (Decreto de Criação), por seu Estatuto e outros dispositivos legais aplicáveis. Seu objeto social, conforme o Estatuto, é projetar, desenvolver, fabricar e comercializar componentes pesados relativos a usinas nucleares, a construção naval e “offshore” e a outros projetos. Decreto n.º 76.805/75 (Decreto de Criação) Estatuto Social.

Possui como missão projetar, desenvolver, fabricar e comercializar componentes pesados relativos a usinas nucleares e a outros projetos, atendendo as demandas estratégicas do Brasil.

Sua visão é manter-se como empresa de referência na fabricação de equipamentos e componentes pesados, com capacidade de atender às demandas estratégicas da nação e habilitada a absorver e desenvolver, continuamente, novas tecnologias, principalmente nos seguintes segmentos de atuação: equipamentos para a área nuclear; equipamentos de alto valor agregado para indústria de Petróleo e Gás; estruturas navais, especialmente para a área off-shore e submarinos.

A empresa destaca como seus valores:

- Profissionalismo – Conhecimento; Capacitação; Atitude; Experiência; Eficácia; e Eficiência;
- Qualidade – Satisfação do cliente; Serviços confiáveis; Bom atendimento; e Cumprimento de prazos;
- Humano – Respeito à dignidade; Oportunidade de autorrealização; Reconhecimento e Mérito;
- Confiabilidade – Credibilidade; Responsabilidade; Integridade; Ética e Parceria;
- Simplicidade – Ausência de pompa; Informalidade; Ausência de privilégios.

No dia da agendado para a realização da visita, a turma foi dividida, por exigência da empresa em dois grupos, um com vinte e outro com dezenove alunos e a duração da visita foi de cerca de três horas para cada grupo.

A visita iniciou-se com o primeiro grupo, acompanhado pelas professoras de Química e Física da turma, sendo recepcionado por funcionários da empresa que nos encaminharam para um auditório, onde fomos recebidos por uma engenheira que, após



uma exibição de um breve vídeo institucional, informou que seria responsável por nos apresentar a empresa.

Em seguida, todos os envolvidos receberam um kit contendo equipamentos de proteção individual e instruções sobre medidas de segurança a serem tomadas durante a realização do evento. O kit continha um jaleco, óculos de segurança, capacete e protetores auriculares.

Na primeira parte da visita, o grupo caminhou por alguns setores da fábrica, conhecendo etapas do processo produtivo, além de informações sobre os principais produtos e sobre o perfil dos clientes.

A segunda parte da visita, iniciou-se com a apresentação do laboratório de ensaios não-destrutivos. Os alunos puderam conhecer as diferentes técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-lo. Os técnicos responsáveis pelo laboratório destacaram a importância destes ensaios para fins de controle de qualidade e redução de custos de produção. Apontaram, ainda, a importância destes testes para a inspeção de soldas.

A seguir, o grupo foi levado a uma área mais afastada da fábrica, onde puderam conhecer sobre o uso de radiação para o controle de qualidade de soldagens. O prédio que fica na parte de trás da fábrica possui um bunker que é utilizado para guardar a fonte radioativa de cobalto, utilizada nos ensaios de gamagrafia.

O acesso à esta área é restrito, inclusive, sendo vetada a entrada de outros funcionários da fábrica, sem a autorização prévia da equipe que trabalha no bunker. São usadas placas na área externa do prédio para indicar o uso de radiação.

Os profissionais responsáveis pelo setor realizaram uma simulação objetivando mostrar aos alunos as etapas de avaliação da solda em uma peça metálica utilizando a fonte de cobalto. Todas as etapas do ensaio não-destrutivo por gamagrafia foram

mostradas, porém sempre de forma simulada, por questões envolvendo a segurança e a proteção dos visitantes.

Os técnicos destacaram a importância de seguir as normas de proteção radiológica para fins de evitar acidentes. Apontaram que a rotina e a correria do dia-a-dia atrapalham o cumprimento destas regras que muitas vezes chegam a cair no esquecimento, sendo a supervisão dos demais colegas um elemento de fundamental importância para evitar práticas que possam colocar suas vidas em risco.

Por fim, destaca-se que a visita foi desenvolvida de forma bastante agradável para os alunos que se sentiram à vontade para colocar suas dúvidas e para expor suas preocupações quanto ao uso de radiação num ambiente industrial. Todas as questões levantadas foram esclarecidas pelo corpo técnico da NUCLEP que se colocou à disposição para maiores esclarecimentos por meio de contato eletrônico ou através do agendamento de uma nova visita.

A seguir é apresentada uma sequência de imagens da visita à NUCLEP, realizada no dia 30 de maio de 2016 com um grupo de alunos do 2º ano do Curso Técnico Integrado de Mecânica Industrial.



Figura 41- Alunos na atividade de recepção na NUCLEP.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 42-Entrada do prédio onde são realizados os ensaios utilizando radiação. (Fonte: Autoria própria)



Figura 43- Área do bunker.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 44- Funcionário da NUCLEP explicando sobre gamagrafia.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 45-Elementos de proteção radiológica: parede de concreto e porta de chumbo.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 46-Dosímetro utilizado pelo funcionário da NUCLEP.

(Fonte: Autoria própria)

#### **4.5.2 A visita ao Centro de Informação de Itaorna**

A outra visita técnica foi realizada no Centro de Informação de Itaorna, pertencente à Eletronuclear, localizado no quilômetro 522 da Rodovia Rio-Santos, no município de Angra dos Reis, local de onde se pode avistar todo o complexo que compõe a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. A escolha por este centro se justifica pela necessidade de abordar as questões relativas a produção de energia elétrica a partir da matriz nuclear e também pela necessidade de promover um debate sobre questões relativas à segurança e proteção radiológica e aos impactos ambientais nas comunidades vizinhas.

De acordo com o PCNEM (BRASIL, 1999, p.231):

É preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão de mundo e uma formação para a cidadania adequada [...] Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem [...] Uma Física que explique os “gastos da conta de luz” ou o consumo diário de combustível e também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluindo, a Energia Nuclear, com seus riscos e benefícios.

A Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto localizada às margens da rodovia Rio-Santos, no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro, é formada pelo conjunto das usinas nucleares Angra 1, Angra 2 e Angra 3 (em construção), de propriedade da Eletronuclear, subsidiária das Centrais Elétricas Brasileiras.

Segundo a matéria *Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - Usinas nucleares de Angra dos Reis mostram outro lado da matriz energética brasileira*, publicada na Revista Desafios do Desenvolvimento, no ano de 2010, edição 63:

*A pesar do grande potencial hidrelétrico do Brasil, que abriga a segunda maior usina hidrelétrica do mundo, a de Itaipu (localizada na divisa entre o Brasil e o Paraguai), o país também possui um programa nacional de energia nuclear que é bastante antigo. Ele remete à década de 1950, com a criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), liderado na época pelo Almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva, pesquisador pioneiro da tecnologia nuclear no Brasil.*

O almirante e pesquisador dá nome à Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAA), localizada às margens da rodovia Rio-Santos, no município de Angra dos Reis, Rio de Janeiro, e formada pelo conjunto das usinas nucleares Angra 1, Angra 2 e Angra 3, de propriedade da Eletronuclear, subsidiária das Centrais Elétricas Brasileiras - Eletrobrás. As razões determinantes dessa localização foram a proximidade dos três principais centros de carga do Sistema Elétrico Brasileiro (São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro), a necessária proximidade do mar, e a facilidade de acesso para os componentes pesados, como o urânio - fundamental para o ciclo nuclear.

A primeira usina nuclear brasileira opera com um reator do tipo PWR (Pressurizer Water Reactor, ou reator à base de água pressurizada, na sigla em inglês), que é o mais utilizado no mundo. Desde 1985, quando entrou em operação comercial, Angra 1 gera energia suficiente para suprir uma capital do tamanho de Vitória ou Florianópolis, com 1 milhão de habitantes. Esta primeira usina nuclear foi adquirida sob a forma de contrato conhecida por "turn key", ou seja, como um pacote fechado, que não previa transferência de tecnologia por parte dos fornecedores.

Já Angra 2 é fruto de um acordo nuclear Brasil-Alemanha. A construção e início da operação ocorreram conjuntamente à transferência de tecnologia para o Brasil, o que levou também a um desenvolvimento tecnológico próprio, do qual resultou o domínio sobre praticamente todas as etapas de fabricação do combustível nuclear.

A segunda usina nuclear, que opera desde 2000, possui um reator tipo PWR e sua potência nominal é de 1350 MW. Angra 2, sozinha, poderia atender ao consumo de uma área do tamanho da região metropolitana de Curitiba, com dois milhões de habitantes. Como tem o maior gerador elétrico do hemisfério Sul, o segundo empreendimento da CNAA contribui decisivamente com sua energia para que os reservatórios de água que abastecem as hidrelétricas sejam mantidos em níveis que não comprometam o fornecimento de eletricidade da região economicamente mais importante do país, o Sudeste.

Angra 3 será a terceira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. Prevista para entrar em operação em 2014, a nova usina terá uma potência bruta elétrica de 1.405 MW, podendo gerar cerca de 10,9 milhões de MWh por ano - energia equivalente a um terço do consumo do estado do Rio de Janeiro - e será similar a Angra 2.

O terceiro empreendimento da CNAA obteve, em maio de 2010, sua licença de construção, emitida pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear). Até então, só haviam sido realizadas obras de preparação do terreno e de instalações administrativas. Com a licença, a Eletronuclear, responsável pela gestão da usina, pode dar início às obras que envolvem o prédio do reator.

Segundo a CNEN, esta semelhança com o projeto de Angra 2 permitiu uma redução nos custos de licenciamento da obra. Em geral, o licenciamento de uma nova usina custa US\$ 100 milhões. O de Angra 3 saiu por cerca de US\$ 20 milhões. O próximo passo na construção é a obtenção da licença de carga de material nuclear, que só deve ocorrer a partir de 2014, quando a obra estiver praticamente concluída.

A solução da crise ambiental no mundo passa pela reformulação da matriz energética, tanto nos países grandes emissores tradicionais, como os Estados Unidos, quanto nos de rápido

*desenvolvimento, como a China e a Índia. Uma das mais importantes fontes de energia, não geradora de gases de efeito estufa, é a nuclear.*

Este texto foi entregue aos alunos durante a aula anterior a realização da visita técnica à central nuclear para que fosse feita a leitura e ampla discussão sobre a questão do uso da energia nuclear no Brasil. Foi realizada uma gravação em áudio do debate para facilitar a posterior análise dos dados.

De acordo com a legislação vigente e em virtude de o grupo de alunos envolvidos na visita apresentar uma média de idade inferior a dezoito anos, a visita a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto restringiu-se Centro de Informação de Itaorna e ao Centro de Treinamento com Simulador.

O agendamento da visita guiada foi realizado em janeiro de 2016, via contato por e-mail através do endereço eletrônico [centinf@eletronuclear.gov.br](mailto:centinf@eletronuclear.gov.br).

Na primeira parte da visita, a turma foi recebida por uma guia local no Centro de Informação de Itaorna, onde teve acesso a uma exposição permanente, com filmes e folhetos educativos que explicam como é gerada a energia elétrica a partir de reatores nucleares e os cuidados que a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto e a Eletronuclear têm com o meio ambiente e com as comunidades vizinhas.

O aluno também teve acesso a informações sobre o plano de emergência da Central Nuclear, trata-se uma medida adicional de segurança e tem caráter preventivo, isto é, as medidas previstas serão implementadas antes que ocorra qualquer comprometimento do meio ambiente. Por meio de um vídeo, foi mostrado que anualmente é realizado um exercício de emergência simulado, no qual um cenário fictício, houve a decretação de uma situação de emergência com risco de liberação de radiação para o meio ambiente. Voluntários são convidados dentre os residentes em um raio de cinco quilômetros no entorno das usinas e moradores das ilhas. A ideia do exercício é familiarizar as comunidades locais com o plano de emergência.



A seguir é apresentada uma sequência de imagens da visita ao Centro de Informação Itaorna, realizada no dia 02 de junho de 2016 com um grupo de trinta e três alunos do 2º ano do Curso Técnico Integrado de Mecânica Industrial, com duração de uma hora e trinta minutos



Figura 47-Vista aérea do Centro de Informação de Itaorna.

(Fonte: <http://www.eletronuclear.gov.br/> Acesso em nov/2016)



Figura 48-Peça utilizada para explicar o processo de controle da Fissão num reator.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 49-Vista interna do Centro de Informação de Itaboraí.

(Fonte: Autoria própria)

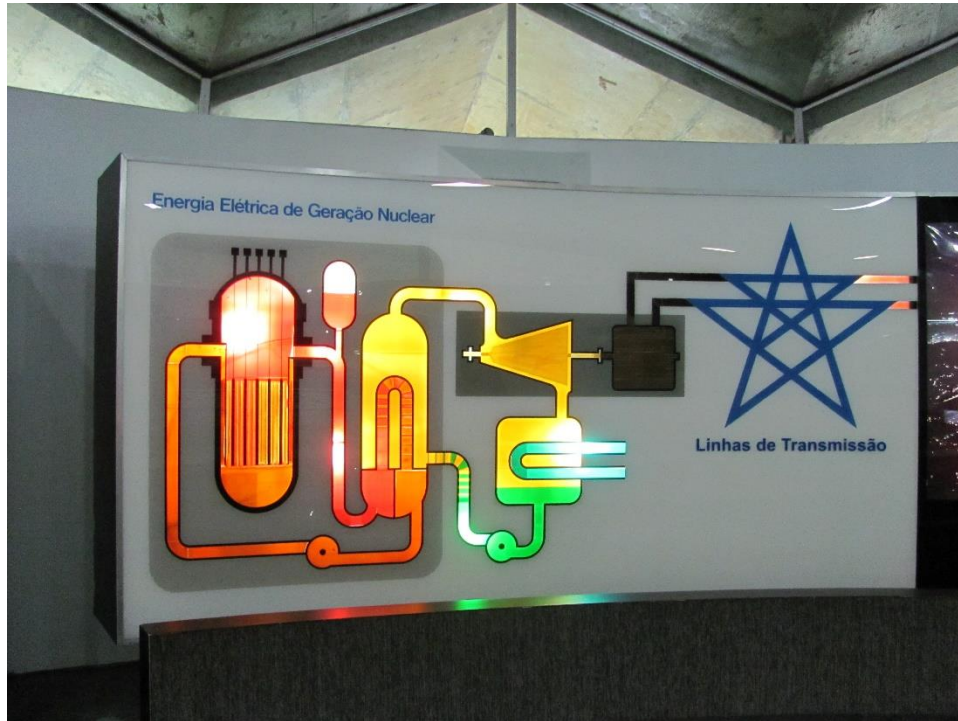


Figura 50-Painel sobre geração de energia do Centro de Informação de Itaorna.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 51-Vista das usinas a partir do Centro de Informação de Itaorna.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 52-Alunos na parte externa do Centro de Informação de Itaorna. (Fonte: Autoria própria)

Na segunda parte da visita, a turma foi recebida por um guia local no Centro de Treinamento com Simulador. Trata-se de um moderno centro de treinamento instalado em Mambucaba, pertencente ao município de Angra dos Reis, que conta com locais apropriados para o ensino prático de tarefas de manutenção e com um simulador que reproduz a sala de controle, onde são treinados os operadores da Eletrobrás Eletronuclear. Com esta sala de treinamento, o Brasil não precisa recorrer ao exterior para realizar a formação, requalificação e o licenciamento de operadores, evitando gastos e deslocamento dos profissionais.

Por questões de segurança e visando não interromper as atividades no simulador, os alunos não puderam entrar na sala do centro de treinamento, sendo permitido apenas que eles a visualizassem por meio de um vidro.



Figura 53-Entrada do Centro de Treinamento com Simulador.

(Fonte: Autoria própria).



Figura 54-Sala do Centro de Treinamento com Simulador.

(Fonte: <http://www.eletronuclear.gov.br/> Acesso em nov/2016)

## 4.6 BLOCO IV

No bloco IV, situa-se a última parte das atividades desenvolvidas, nele situam-se as aulas expositivas sobre aplicações industriais de Física das Radiações, especificamente para o caso da radiação gama, por meio da técnica de gamagrafia. Em virtude da concretização do uso de radiação em indústrias de diferentes setores no estado do Rio de Janeiro, conforme mostrado no item 4.5, destaca-se a necessidade de promover ações que sejam capazes de despertar interesse dos alunos do Curso Técnico em Mecânica Industrial sobre o tema, destacando o avanço tecnológico que pode ser atribuído aos ensaios não destrutivos. Espera-se que, ao final deste trabalho, o aluno seja capaz de compreender que o uso da técnica de gamagrafia para fins de controle de qualidade traz benefícios para a sociedade, à medida que pode promover a redução dos custos envolvidos na produção de bens e materiais.

A estratégia utilizada para despertar a curiosidade dos alunos foi a leitura do texto a seguir que trata sobre um acidente aéreo ocorrido em dezembro de 2014, buscando assim o envolvimento dos alunos na atividade, proporcionando motivação e melhores resultados.

*O Airbus A320 caiu no mar de Java em 28 de dezembro, a menos de metade do caminho em um voo de duas horas iniciado na segunda maior cidade indonésia, Surabaya, com destino a Cingapura.*

*Problemas reiterados provocados pelo sistema de controle do leme fizeram com que os pilotos desativassem o piloto automático quando o avião atravessava uma área com tempo ruim, antes de perder o controle do avião, anunciou o Comitê Nacional de Segurança de Transportes.*

*De acordo com o relatório final, o piloto automático foi desconectado para que os sistemas de alerta fossem aplicados em consequência de uma fissura em uma soldadura do sistema que controla o leme. O avião começou a perder estabilidade, após uma série de manobras dos pilotos para tentar reativar o sistema.*

*O voo QZ8501 da AirAsia decolou de Surabaia, na ilha de Java, na madrugada do dia 28 de dezembro de 2014 com 162 pessoas a bordo e deveria ter aterrissado em Cingapura algumas horas mais tarde.*

(Adaptado pela autora de <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2015/12/falha-mecanica-causou-acidente-com-aviao-da-airasia-na-indonesia.html>> Acesso em out/2016).

A turma foi dividida em cinco grupos e após a entrega do texto para cada grupo, solicitou-se a leitura e discussão para que fossem respondidas as seguintes questões:

*1. Qual a principal causa do acidente, segundo o texto?*

*2. De acordo com as discussões realizadas nas últimas aulas, o que poderia ter sido feito para detectar esta falha<sup>26</sup>?*

---

<sup>26</sup> Não estamos afirmando que, no caso relatado pela reportagem, não foi realizado algum tipo de ensaio para verificação da integridade estrutural da peça e nem podemos garantir que a realização de um teste por gamagrafia seria o suficiente para evitar a ocorrência do acidente aéreo.

Desta forma, tentamos mostrar ao aluno, a importância do tema abordado, visto que o estudante assim pode perceber que o problema que está analisando é do cotidiano de muitas pessoas.

As aulas expositivas sobre o uso da radiação gama na indústria tiveram uma duração total de duas horas e meia e foram baseadas nos conteúdos apresentados nos itens 3.6, 3.7 e 3.8. A abordagem dada não apenas destacou aspectos técnicos da gamagrafia, mas também elementos da proteção radiológica e os efeitos da interação da radiação com a matéria, objetivando permitir que o aluno tenha noção dos diversos fatores envolvidos no uso de radiação no campo industrial. É preciso que a opção por trabalhar com radiação seja uma escolha consciente e responsável.

---



## **5 APLICAÇÃO DAS ATIVIDADES: UMA ANÁLISE PRELIMINAR**

A seguir é apresentada uma sequência de atividades que compõem o trabalho desenvolvido no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ), na unidade descentralizada de Itaguaí, com alunos do segundo ano do Ensino Médio Integrado, com formação técnica em Mecânica Industrial, do ano de 2016. A escolha desta turma se justifica pelo aumento do número de empresas que utilizam radiação em seu processo produtivo, conforme levantamento realizado junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) em 2015 e ao fato deste centro educacional estar localizado na região do Distrito Industrial de Itaguaí.

Neste momento, para fins de análise, foi feito um recorte no trabalho, uma vez que o meu objetivo ao analisar os dados levantados é ver como se deu a inserção dos conteúdos abordados entre os alunos e verificar como se deu a aprendizagem. Desta forma, será realizada uma análise preliminar das atividades aplicadas. Porém, os dados levantados poderão ser melhor explorados em momentos posteriores, compondo um material a ser explorado em trabalhos futuros.

As atividades foram realizadas no horário regular das aulas de Física, ao longo de 8 encontros, com duração média de duas horas e trinta minutos, sendo que dois destes encontros foram utilizados para a realização de duas visitas técnicas. Devido à organização curricular da turma e por questões de horário da sala disponível, houve dificuldade para agendar no contra turno as atividades.

A turma é composta por 40 alunos e foi dividida em 5 grupos de oito alunos, nomeados como grupo 1,2,3,4 e 5, respectivamente. Para cada atividade, um grupo somente foi analisado, escolhido segundo o critério de maior engajamento. Por outro lado, ao serem feitas perguntas abertas à turma algum aluno de outro grupo realizava

contribuição que, uma vez julgada interessante, foi também incorporada à discussão. Os nomes dos alunos foram alterados com a finalidade de preservar sua identidade.

Foi solicitada, por meio do documento apresentado no APÊNDICE A, a autorização dos pais ou dos alunos maiores de idade, para a gravação de fala e imagem dos alunos participantes das atividades desenvolvidas.

## 5.1 RELATO DA APLICAÇÃO DAS ATIVIDADES DO BLOCO I

A primeira atividade do Bloco I (item 4.3) foi iniciada com a exibição do documentário “O pesadelo azul”. Os depoimentos das vítimas carregavam forte apelo emocional e provocaram diferentes sentimentos entre os alunos: revolta, tristeza e compaixão foram manifestadas. As questões conteudistas foram ultrapassadas e o clima de emoção tomou conta dos alunos, desencadeando uma reflexão coletiva. Ao fim da sessão, durante aproximadamente 5 minutos, circulei pela sala, escutando como estava o debate que surgiu espontaneamente entre os alunos. Dessas reações surgiram algumas falas<sup>27</sup> interessantes:

*Caio: Eu já havia ouvido falar neste acidente, mas não imaginava que tinha provocado uma destruição tão grande assim. Estas famílias perderam tudo. Até a dignidade.*

---

<sup>27</sup> As falas dos alunos foram transcritas exatamente como foram ditas.

Fernanda: *Eu acredito que a questão social foi duplamente culpada porque a falta de um emprego levou o homem a ter que vender a peça para conseguir dinheiro e a falta de conhecimento levou ele a achar que não havia perigo no que estava fazendo.*

Marcos: *Eu sempre ouvi da minha mãe que radiação faz muito mal! Ela sempre diz que não devemos ficar expostos. Mas depois deste vídeo e do que nós discutimos aqui, eu mudei de ideia porque vi que nem todo mundo que teve contato ficou doente. Vou conversar com a minha mãe sobre esta história de dose porque se fosse como ela diz, eu acho todo mundo do acidente já teria morrido.*

Bruno: *Achei que este documentário foi muito importante porque eu nunca ouvi falar sobre um acidente assim e aconteceu bem no meu país. Antes eu achava que as aulas com experimentos eram bem realistas e ajudavam a aprender os assuntos. Mas agora eu acho que uma aula com documentário, como esta de hoje, é muito mais importante que as aulas de laboratório porque acho que quando temos uma situação real temos que analisar muitas coisas que acontecem ao mesmo tempo, como neste caso que tínhamos vidas envolvidas.*

A observação da opinião deste aluno, permite apontar a relevância do uso de documentários para o levantamento de temas CTS e para uma melhor compreensão de um cenário cotidiano.

Entendemos que o uso destes vídeos na educação básica requer um planejamento do professor de acordo com o tema abordado. Porém o intuito maior é observar as opiniões e atitudes dos participantes; verificar suas percepções sobre a realidade e o papel da ciência e da tecnologia na sociedade. Sendo assim, a avaliação deve incluir itens capazes de diagnosticar tais elementos a fim de alcançar a compreensão de um modelo de ciência e tecnologia não-neutro. (BARBOSA e BAZZO, 2014, p.368)

Os relatos dos alunos, cuja média de idade é de quinze anos, revelam um desconhecimento por parte dos brasileiros mais jovens acerca do acidente de Goiânia e permitem associar a atividade proposta a um legado que ultrapassa a barreira dos

conteúdos envolvidos e do conhecimento formal. Não se deve permitir que um acidente como este seja esquecido; devemos aprender com a nossa história.

A construção de uma sociedade democrática mais humana também está associada ao estabelecimento de um sistema educacional que forme indivíduos que sejam capazes de tomar decisões conscientes com relação a questões tecnológicas presentes no meio social no qual estão inseridos.

É necessária uma mudança de atitude, de comportamento para construir o mundo que desejamos e, para isso, é indispensável proporcionar a todos uma educação contextualizada com a dimensão social da ciência e da tecnologia. (SILVEIRA e BAZZO, 2006, p.12)

A segunda atividade do Bloco I (item 4.3) foi uma mesa redonda, com a participação de professores das disciplinas Biologia, Química e Sociologia, na qual foram discutidos os aspectos sociais, ambientais, políticos e econômicos relativos ao acidente.

Foi realizada a gravação em vídeo do evento da mesa redonda e destacamos a importância de analisarmos um problema a partir de suas diferentes áreas, ratificando a necessidade de conciliar diferentes aspectos na busca de uma solução viável.

Na sequência os alunos foram orientados a promover entre os integrantes de cada grupo uma discussão sobre o acidente e suas consequências. Ao fim do debate, cada equipe deveria elaborar uma pergunta de seu interesse sobre o acidente, sendo que a ideia era levantar questões que não foram esclarecidas pelo documentário e pela mesa redonda.

Os alunos foram informados que estas questões seriam respondidas por professores da UFRJ, formados em Física, cujas ações deram contribuições importantes para as medidas que foram tomadas após a ocorrência do acidente.

Os questionamentos apontados pelos alunos foram levados ao professor Odair Dias Gonçalves, lotado no Instituto de Física da UFRJ e ao professor Luiz Pinguelli Rosa,

lotado na COPPE-UFRJ. Ambos concordaram em participar de uma atividade de entrevista baseada nas questões elaboradas pelos alunos.

No ANEXO B, são apresentadas as referidas entrevistas, realizadas no mês de julho de 2016.

Em agosto de 2016, os alunos tiveram acesso às respostas dadas pelos professores às suas perguntas.

É importante relatar ainda que, a partir do documentário e das entrevistas, os alunos demonstraram curiosidade em saber mais sobre o tema radiações, principalmente, sobre os benefícios e prejuízos relacionados às tecnologias que usam radiação.

## 5.2 ANÁLISE DAS ATIVIDADES DO BLOCO II

Foram analisadas três atividades desenvolvidas no Bloco II. A escolha do recurso utilizado para fins de análise foi norteada pela natureza da atividade e maneira como foi desenvolvida nas aulas.

<b>ATIVIDADE</b>	<b>TIPO DE ANÁLISE DESENVOLVIDA</b>
Questionário sobre conceitos básicos envolvendo radiação.	Análise dos dados a partir das respostas dadas pelos estudantes
Atividade com o contador Geiger	Análise do discurso usando indicadores de Alfabetização Científica

Aplicação de questões de vestibular envolvendo o tema radiação	Análise dos dados levantados
--	------------------------------

Tabela 7-Análise de algumas atividades do Bloco II.

(Fonte: Autoria própria)

A seguir serão apresentados os resultados observados durante a análise realizada.

A sequência de atividades investigativas, inserida no Bloco II (item 4.4), foi iniciada com a aplicação do questionário (Figura 33) com o objetivo de realizar um levantamento das concepções dos alunos acerca do tema radiação e suas relações com o cotidiano, por isso as questões foram aplicadas antes da instrução formal.

Os gráficos a seguir foram elaborados a partir das respostas dadas pelos alunos. Para uma melhor leitura e compressão dos dados apresentados nos gráficos, seguem também as perguntas de cada questão.



Figura 55-Questão 1 do questionário.

(Fonte: Autoria própria)



Gráfico 4 - Frequência das respostas dadas pelos estudantes para a questão 1. (Fonte: Autoria própria)

O gráfico referente à questão 1 mostra que 35% dos alunos não reconhece o símbolo gráfico, conhecido como trifólio, utilizado para indicar as pessoas sobre a possível presença da radiação acima dos níveis considerados naturais. Trata-se de um dado alarmante se considerarmos as possíveis consequências advindas deste desconhecimento, principalmente, em situações que envolvam cotidiano do aluno.

2.Você acha que é possível que as radiações possam ser emitidas por fontes naturais?  
a) SIM b) NÃO

Figura 56-Questão 2 do questionário. (Fonte: Autoria própria)

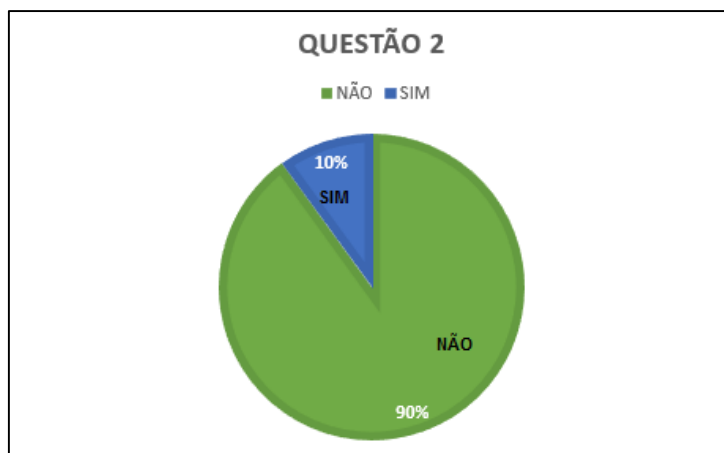


Gráfico 5- Frequência das respostas dadas pelos estudantes para a questão 2. (Fonte: Autoria própria)

O gráfico referente à questão 2 sugere um desconhecimento dos alunos acerca das origens das radiações, já que 90% deles acreditam que não existem fontes naturais de radiação.

3. Você considera que os alimentos irradiados são prejudiciais à saúde?  
a) SIM b) NÃO

Figura 57-Questão 3 do questionário. (Fonte: Autoria própria).

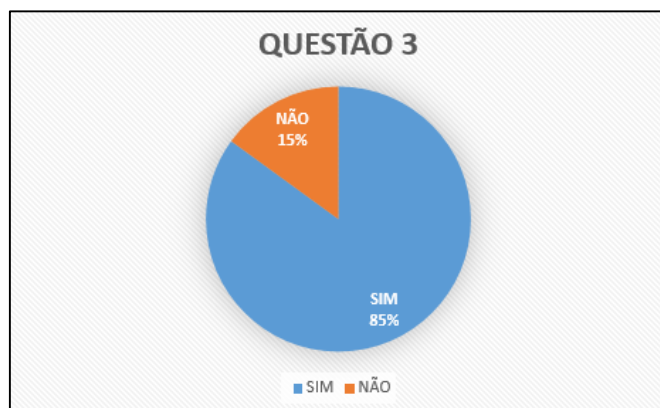


Gráfico 6-Percentuais de respostas para a questão 3. (Fonte: Autoria própria)



O gráfico referente à questão 3 mostra que 85% dos alunos acreditam que alimentos irradiados são prejudiciais à saúde.

4. (PERGUNTA A SER RESPONDIDA SOMENTE POR QUEM MARCOU A OPÇÃO SIM NA QUESTÃO ANTERIOR)  
 Marque a opção que justifica o porquê de você acreditar que alimentos irradiados são prejudiciais à saúde.  
 a) O alimento irradiado perde suas características originais, tornando-se alimentos radioativos.  
 b) A ingestão de alimentos irradiados faz com que os indivíduos que dele se alimentam também se tornem radioativos.  
 c) Outra justificativa. Qual? \_\_\_\_\_

Figura 58-Questão 4 do questionário. (Fonte: Autoria própria)



Gráfico 7-Frequência de respostas dos alunos para a questão 4 (Fonte: Autoria própria)

O gráfico referente à questão 4, revela que 80 % deste grupo acredita que o fato do alimento ter sido irradiado faz com que o alimento perca suas características originais, tornando-se alimentos radioativos. Os outros 20 % apontam que a ingestão de alimentos irradiados faz com que os indivíduos que dele se alimentam também se tornem radioativos. Esta constatação traz um alerta sobre o desconhecimento dos alunos acerca do processo de irradiação dos alimentos, utilizado para fins de conservação. O temor e

preconceito com relação ao consumo de alimentos irradiados podem ser justificados pela falta de conhecimento da população sobre como é feito o processo de irradiação.

5. Ao ouvir falar sobre radiação, qual a primeira situação que lhe vem à mente?

- a) Bombas
- b) Diagnóstico e tratamento médico
- c) Algo que pode ser usado na geração de energia
- d) Controle de qualidade na indústria
- e) Algo exclusivamente prejudicial à saúde

Figura 59-Questão 5 do questionário. (Fonte: Autoria própria)



Gráfico 8-Gráfico referente à questão 5. (Fonte: Autoria própria)

O gráfico referente à questão 5 revela que 70% dos alunos associam diretamente o uso de radiação a elementos estritamente prejudiciais à vida. Poucos alunos conseguem reconhecer os benefícios trazidos pelo uso de radiação.

6. Em (qual) quais locais/ambientes, você acha que está exposto a alguma forma de radiação?
- a) Um hospital
  - b) Um avião localizado a 8km de altitude
  - c) Uma usina nuclear
  - d) Uma praia
  - e) Uma escola

Figura 60-Questão 6 do questionário. (Fonte: Autoria própria)



Gráfico 9-Gráfico referente à questão 6. (Fonte: Autoria própria)

O gráfico referente à questão 6 indica que a maior parte dos alunos relaciona a presença de radiação a ambientes hospitalares ou a locais de produção de energia nuclear. Este dado indica um desconhecimento quanto a existência de fontes naturais de radiação. De forma que o simples distanciamento destes ambientes, na concepção deste grupo, garantiria que não haveria o contato com qualquer tipo de radiação.

A análise conjunta dos gráficos apresentados sugere a existência de um cenário de desinformação com relação aos reais efeitos associados à radiação e suas diferentes aplicações. Neste contexto, destaca-se a importância da alfabetização científica para fins de promover uma transformação neste quadro.

Durante a atividade com o contador Geiger, cada um dos cinco grupos recebeu, além do medidor de radiação, um gravador, com o objetivo de permitir uma posterior análise do diálogo estabelecido pelos alunos durante a dinâmica desenvolvida.

Após a transcrição dos áudios dos cinco grupos, optou-se por realizar a análise do discurso para o grupo três, formado por cinco alunos: Maria, Letícia, Juliana, Marcos e José<sup>28</sup>. A opção por este grupo deu-se em função da presença de uma maior riqueza de elementos associados à cultura científica e também por seu maior engajamento para o desenvolvimento da dinâmica proposta. A transcrição das falas foi feita a partir discussão apresentada por este grupo.

Nesta atividade, procuramos fazer análise mais detalhada dos dados coletados, por meio da gravação e transcrição das falas, para isso optamos pela utilização dos Indicadores de Alfabetização Científica (AC), conforme já apresentado no item 2.5, que fornecem evidências de que a alfabetização científica está se desenvolvendo quando os alunos participam de uma atividade investigativa.

Na tabela a seguir, apresentaremos na primeira coluna, os diálogos, transcritos exatamente como foram ditos pelos alunos e ao lado, os indicadores identificados para cada trecho analisado. Cabe lembrar que a escolha de um indicador específico é influenciada não apenas pela fala transcrita, mas também pelo contexto geral de desenvolvimento da atividade pelos alunos que compõe o grupo analisado.

---

<sup>28</sup> Todos os nomes citados nesta pesquisa são fictícios de modo a preservar a identidade dos sujeitos participantes.

FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES
<p>(00:00:10)</p> <p><b>Maria:</b> <i>Eu entendi que temos que usar este aparelho para descobrir se as coisas emitem radiação. É isso?</i></p> <p><i>Mas será que tem alguma coisa aqui na escola que faz isso?</i></p>	<p>Organização de informações.</p> <p>Levantamento de hipótese.</p>
<p><b>Letícia:</b> <i>É sim...também entendi assim. Será que tem? Vamos ver! Tomara que não tenha, né!!!</i></p>	<p>Organização de informações.</p> <p>Levantamento de hipótese.</p>
<p><b>Juliana:</b> <i>Vamos começar a procurar por aonde?</i></p> <p><i>Acho melhor irmos lá pra baixo.</i></p>	<p>Organização de informações.</p> <p>Previsão.</p>
<p><b>Marcos:</b> <i>Vocês já viram que lá embaixo tem uma sala que tem um adesivo de caveira na porta? Será que lá tem alguma coisa?</i></p>	<p>Organização de informações.</p> <p>Levantamento de hipótese.</p>
<p><b>José:</b> <i>Cara, eu acho que não tem nada a ver não!</i></p> <p><i>Aquilo lá é símbolo de choque elétrico, não?</i></p>	<p>Raciocínio lógico.</p>
<p><b>Letícia:</b> <i>Claro que não! Você nunca viu aquele episódio do Chaves em que o seu Madruga dá aula?</i></p> <p><i>(Risadas de todos).</i></p> <p><i>Aquilo é símbolo de veneno...deve ser alguma coisa de Química.</i></p>	<p>Organização de informações.</p> <p>Explicação.</p> <p>Previsão.</p>
<p><b>Juliana:</b> <i>Decidam-se! Vamos lá pra perto da caixa d'água!</i></p>	<p>Organização de informações.</p>

<b>Marcos:</b> <i>Vamos! Boa ideia! Acho que lá não vai ter ninguém.</i>	Previsão.
<b>Maria:</b> <i>Eu começo! Vamos ali pra aquela parte das plantas...deve ter alguma coisa.</i>	Previsão
<b>Letícia:</b> <i>E aí, Maria? Tá acontecendo alguma coisa? Testa neste capim aí do lado!!!</i>	Teste de hipótese.
<b>Maria:</b> <i>Acho que planta não emite radiação não. Já testei em plantas diferentes aqui e nada!!!</i>	Teste de hipótese.
<b>José:</b> <i>Ih, então acho melhor irmos p outro lugar porque aqui só tem planta.</i>	Organização de informação. Justificativa.
<b>Juliana:</b> <i>Tem aqueles paralelepípedos ali também! Será que eles emitem radiação?</i>	Levantamento de hipótese.
<b>Marcos:</b> <i>Sei lá! Mas paralelepípedo é feito de que mesmo? Temos que testar nele. Me passa a máquina aqui, Maria.</i>	Levantamento de hipótese.
<b>Juliana:</b> <i>Teste em outro pra ver se vai acontecer a mesma coisa.</i>	Teste de hipótese.
<b>Marcos:</b> <i>Igualzinho. Acho que vai acontecer com todos.</i>	Previsão.
<b>Maria:</b> <i>Paralelepípedo não é feito de concreto?</i>	Raciocínio lógico.
<b>Letícia:</b> <i>É sim, Maria.</i>	Organização da informação.
<b>José:</b> <i>Será que é por causa do concreto? Porque se for assim tudo que é feito de concreto deve emitir radiação.</i>	Levantamento de hipótese.
<b>Marcos:</b> <i>Vamos testar na parede.</i>	Teste de hipótese.

<b>Letícia:</b> <i>Acho melhor testar naquele muro perto da escada porque estas paredes daqui é tudo de drywall.</i>	Teste de hipótese. Justificativa.
<b>Juliana:</b> <i>É mesmo! Por isso, tá tudo torto aqui embaixo. Deixa eu testar agora, Marcos! Ih olha, tá aumentando o número de novo! Acho que é por causa do concreto mesmo!</i>	Teste de hipótese. Previsão. Explicação.
<b>Maria:</b> <i>Será? Concreto já faz sentir mais calor. Será que viver em um lugar com muito concreto faz mal pra nossa saúde também?</i>	Levantamento de hipótese.
<b>José:</b> <i>Mas concreto é feito de que? Será que é cimento e areia?</i>	Levantamento de hipótese.
<b>Maria:</b> <i>Tem um site aqui dizendo que é feito de água, cimento e agregados.</i>	Explicação.
<b>Marcos:</b> <i>Agregados? Que isso?</i>	Organização de informação.
<b>Maria:</b> <i>Diz também que a matéria-prima é retirada da crosta terrestre e contém urânio.</i>	Explicação.
<b>José:</b> <i>Urânio: deve ser por isso então!!! 00:09:55</i>	Explicação.

Tabela 8- Transcrição da discussão ocorrida durante a atividade e sua análise.

(Fonte: Autoria própria)

A análise dos diálogos desses alunos, apresentada acima, identificou a presença de elementos pertencentes aos três grupos de indicadores de Alfabetização Científica, destacando a importância das interações discursivas entre os estudantes. Constatamos que, durante a atividade, o grupo realizou investigações sobre um problema proposto,

por meio da criação de hipóteses, testagem de ideias e construção de explicações, justificativas e, por fim, chegando a conclusões sobre o que foi observado.

Após a realização exibição do vídeo “*Salvador, o hipocondríaco*” (<https://www.youtube.com/watch?v=EfbqbizUxiM>) e realização da atividade utilizando garrafas pet, descrita no item 4.4, foram aplicadas três questões de vestibular<sup>29</sup> envolvendo assuntos abordados dentro da parte de Física das Radiações.

A aplicação destas questões foi norteadada pela necessidade de observar como os alunos que tiveram contato com alguns temas da Física das Radiações a partir de uma sequência de atividades investigativas responderiam a questões do ensino tradicional, como são as questões de vestibular.

Deve-se destacar que uma das maiores demandas apontadas pelos alunos durante as aulas de Física das Radiações estava associada a questionamentos se este tema apresentava uma recorrência nas provas de vestibular e do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), revelando também uma preocupação com relação às provas de vestibular para fins de conseguir o acesso ao ensino superior. Não eram incomuns perguntas como “Cai questão disso na prova da Uerj?” ou “Isso é cobrado no ENEM?”.

A primeira questão aplicada, mostrada a seguir, foi retirada da prova do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) de 2012.

---

<sup>29</sup> Foram aplicadas ao todo dez questões de vestibular que abordavam o tema Física das Radiações, porém só foi realizada a estatística das repostas para as três questões que serão apresentadas a seguir. Elas foram escolhidas por tratarem de um assunto bastante recorrente dentro das questões consideradas: meia-vida.



ENEM 2012 • QUESTÃO 84

A falta de conhecimento em relação ao que vem a ser um material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar o medo e a tomada de decisões equivocadas, como a apresentada no exemplo a seguir. “Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico por este portar um certificado de esterilização por irradiação.”

Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007 (adaptado).

**A decisão tomada pela companhia é equivocada, pois**

- A o material é incapaz de acumular radiação, não se tornando radioativo por ter sido irradiado.
- B a utilização de uma embalagem é suficiente para bloquear a radiação emitida pelo material.
- C a contaminação radioativa do material não se prolifera da mesma forma que as infecções por microrganismos.
- D o material irradiado emite radiação de intensidade abaixo daquela que ofereceria risco à saúde.
- E o intervalo de tempo após a esterilização é suficiente para que o material não emita mais radiação.

Figura 61-Questão 84 do ENEM 2012 da prova BRANCA.

(Fonte: <<http://educacao.globo.com/provas/enem-2012/questoes/84.html> >Acesso em dez/2016).

A tabela a seguir apresenta os dados levantados a partir das opções marcadas pelos alunos participantes da atividade:

Opção A	Opção B	Opção C	Opção D	Opção E	Em branco
75%	10%	0%	5%	10%	0%

Tabela 9-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada.

(Fonte: Autoria própria)

Considerando que a opção correta é a letra A, observa-se que a maior parte dos alunos acertou a questão, porém também vemos que alguns alunos, embora em número reduzido, não compreendem o conceito de irradiação.

A segunda questão aplicada, mostrada a seguir, foi retirada da prova do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) de 2009.

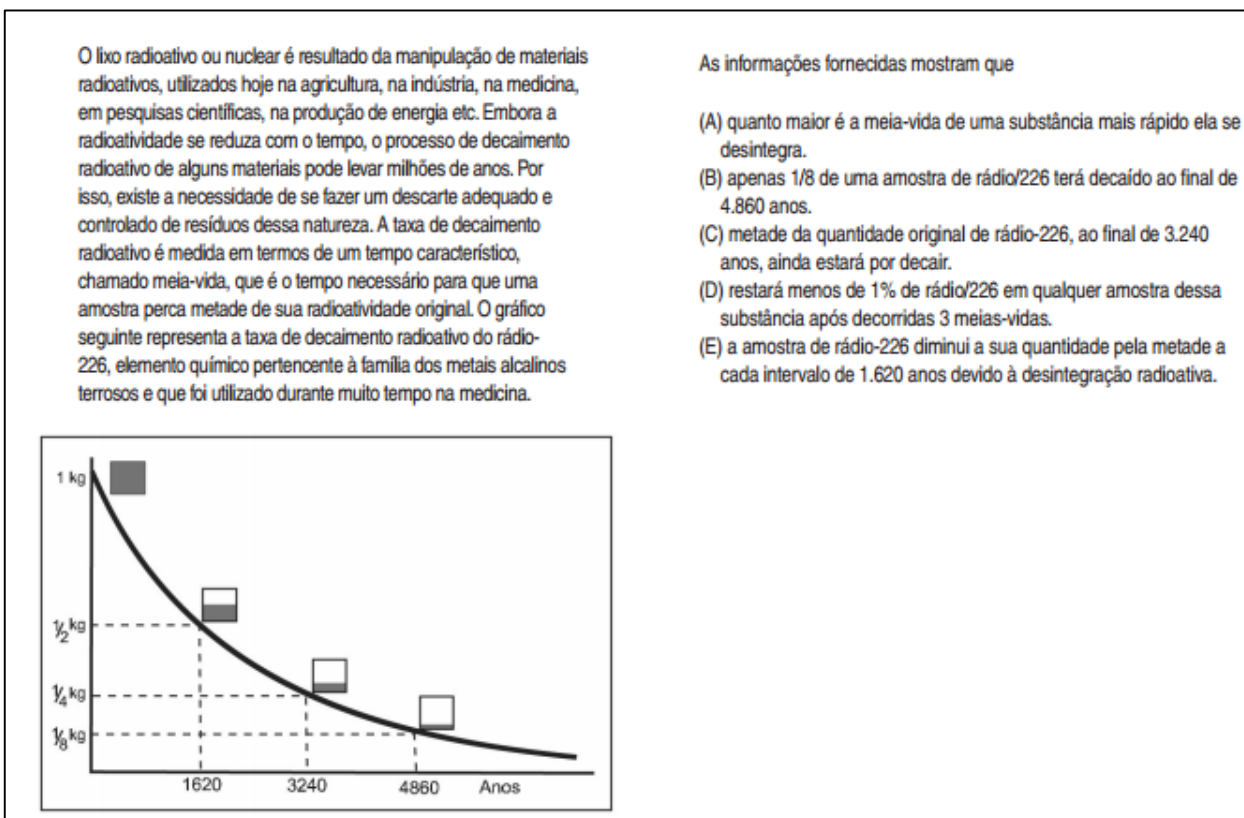


Figura 62- Questão 10 do ENEM 2009 da prova cancelada.

(Fonte: <<http://www.conteudoseducar.com.br/conteudos/arquivos/3643.pdf>> Acesso em dez/2016).

A tabela a seguir apresenta os dados levantados a partir das opções marcadas pelos alunos participantes:

Opção A	Opção B	Opção C	Opção D	Opção E	Em branco
5%	10%	5%	10%	65%	5%

Tabela 10-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada.

(Fonte: Autoria própria).

A terceira questão aplicada, mostrada a seguir, foi retirada da prova do 1º Exame de Qualificação do Vestibular da Uerj do ano de 2012.

questão  
**24**

Uma das consequências do acidente nuclear ocorrido no Japão em março de 2011 foi o vazamento de isótopos radioativos que podem aumentar a incidência de certos tumores glandulares. Para minimizar essa probabilidade, foram prescritas pastilhas de iodeto de potássio à população mais atingida pela radiação.

A meia-vida é o parâmetro que indica o tempo necessário para que a massa de uma certa quantidade de radioisótopos se reduza à metade de seu valor.

Considere uma amostra de  ${}_{53}\text{I}^{133}$ , produzido no acidente nuclear, com massa igual a 2 g e meia-vida de 20 h.

Após 100 horas, a massa dessa amostra, em miligramas, será cerca de:

(A) 62,5  
(B) 125  
(C) 250  
(D) 500

Figura 63-Questão 24 do 1º Exame de Qualificação do vestibular da Uerj do ano de 2012.

(Fonte: <[http://www.vestibular.uerj.br/portal\\_vestibular\\_uerj/arquivos/arquivos2012/](http://www.vestibular.uerj.br/portal_vestibular_uerj/arquivos/arquivos2012/)>. Acesso em dez/2016).

A tabela a seguir apresenta os dados levantados a partir das opções marcadas pelos alunos participantes:

<b>Opção A</b>	<b>Opção B</b>	<b>Opção C</b>	<b>Opção D</b>	<b>Em branco</b>
80%	10%	5%	0%	5%

Tabela 11-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada.

(Fonte: Autoria própria).

Considerando que o gabarito é a letra A, verifica-se que a maioria dos alunos participantes assinalou a opção correta, todavia podemos observar que 20 % dos alunos analisados não sabem resolver problemas que envolvam função exponencial e suas propriedades.

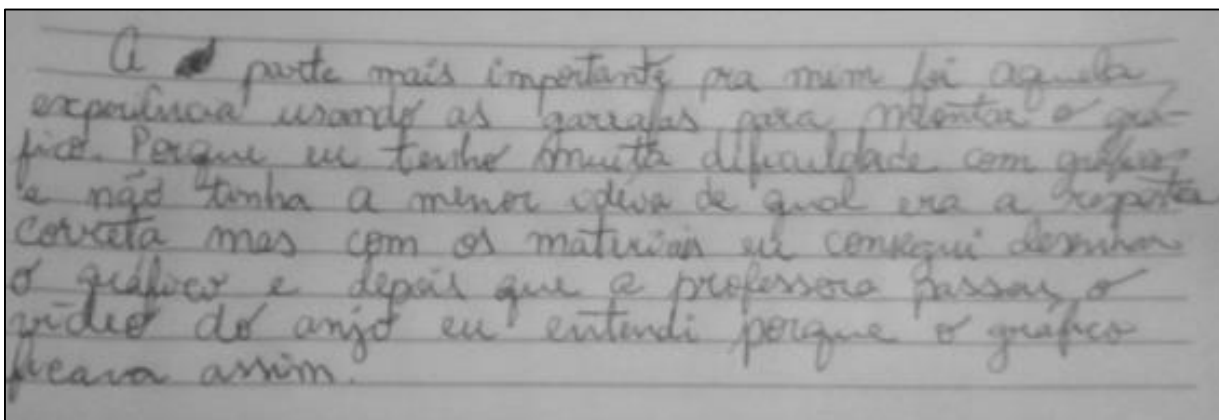
A análise do desempenho dos alunos com relação a resolução das questões apresentadas permite considerar que o ensino de conteúdos de Física das Radiações a partir de atividades investigativas também fornece uma base para que os alunos respondam corretamente a questões do ensino tradicional, como são as questões de vestibular, atendendo inclusive às cobranças dos familiares e alunos no que tange às provas de vestibular.

### **5.3 DANDO VOZ AO ALUNO**

Na última aula da sequência apresentada, os alunos participantes receberam a orientação de responder à pergunta: *O que você considera como sendo o mais importante dentro do que aprendeu nas aulas de Física das Radiações?*

Por se tratar de uma atividade de participação voluntária, tivemos a cooperação de trintas alunos que dissertaram de forma livre sobre o que julgavam mais importante dentro do que haviam aprendido nas aulas de Física das Radiações.

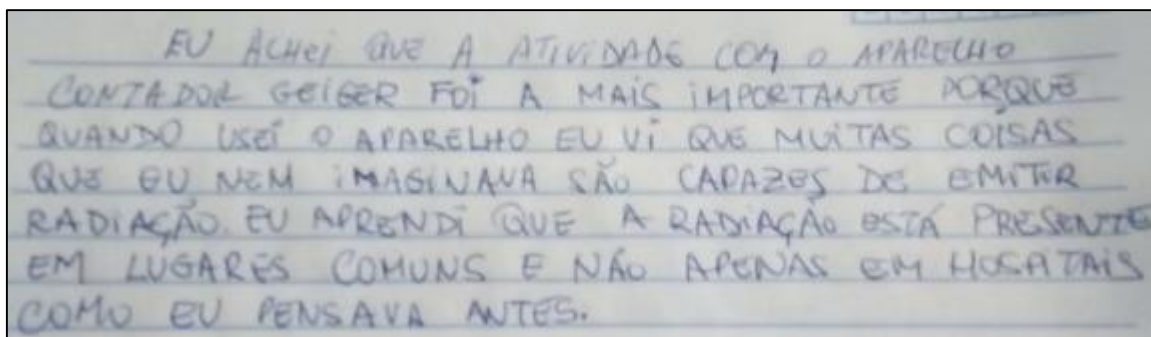
Trata-se de uma atividade que visa promover a reflexão do estudante sobre a sequência de atividades realizada. A seguir apresentaremos alguns dos relatos apresentados, escolhidos pelo nível de reflexão apresentado pelos alunos:



A parte mais importante pra mim foi aquela expulsão usando as garrafas para montar o gráfico. Porque eu tenho muita dificuldade com gráficos e não tinha a menor ideia de qual era a resposta correta mas com os materiais eu consegui desmontar o gráfico e depois que a professora passou o vídeo do anjo eu entendi porque o gráfico ficava assim.

Figura 64-Consideração da aluna Maria sobre as atividades desenvolvidas.

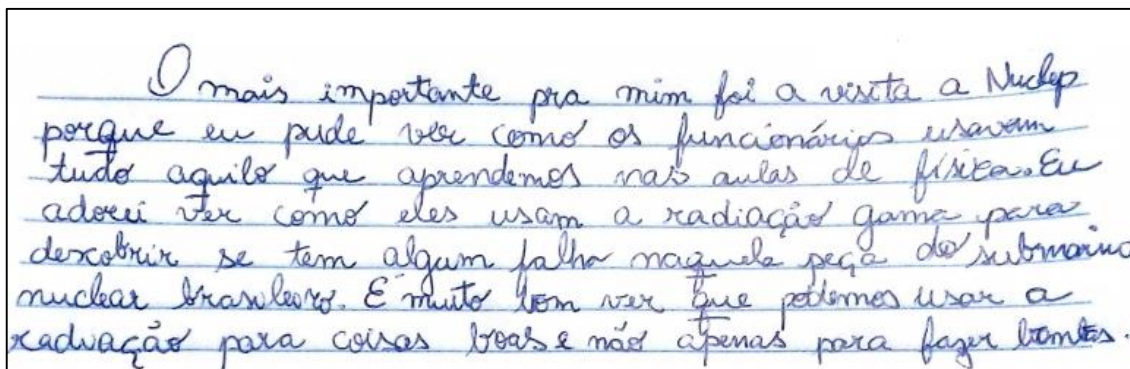
(Fonte: Autoria própria)



EU ACHEI QUE A ATIVIDADE COM O APARELHO CONTADOR GEIGER FOI A MAIS IMPORTANTE PORQUE QUANDO USEI O APARELHO EU VI QUE MUITAS COISAS QUE EU NEM IMAGINAVA SÃO CAPAZES DE EMITIR RADIAÇÃO. EU APRENDI QUE A RADIAÇÃO ESTÁ PRESENTE EM LUGARES COMUNS E NÃO APENAS EM HOSPITAIS COMO EU PENSAVA ANTES.

Figura 65-Considerações do aluno Bruno sobre as atividades desenvolvidas.

(Fonte: Autoria própria)



O mais importante pra mim foi a visita a Nuclep porque eu pude ver como os funcionários usavam tudo aquilo que aprendemos nas aulas de física. Eu adorei ver como eles usam a radiação gama para descobrir se tem algum falha naquela peça do submarino nuclear brasileiro. É muito bom ver que podemos usar a radiação para coisas boas e não apenas para fazer bombas.

Figura 66- Considerações da aluna Letícia sobre as atividades desenvolvidas.

(Fonte: Autoria própria)

Destaca-se a importância de termos acesso às considerações dos alunos sobre as atividades aplicadas como um elemento que permite verificar o impacto delas sobre sua aprendizagem.

Se queremos que o aluno abandone a postura passiva em sala de aula, precisamos também os ouvir e promover ações que facilitem o diálogo entre estudantes e professores.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta dissertação, elaboramos uma proposta didática para o ensino de Física das Radiações. Sua pertinência justifica-se por meio da apresentação de argumentos favoráveis ao seu desenvolvimento no atual contexto das aulas de Física em turmas do Curso Técnico em Mecânica Integrado ao Médio, considerando também as influências exercidas pelas atuais aplicações da radiação no campo industrial brasileiro. Os referenciais teóricos utilizados, que deram suporte à proposta elaborada, permitiram uma melhor articulação da sequência didática e as exigências que o mercado de trabalho impõe ao perfil profissional do técnico em Mecânica Industrial.

Sabemos que uma visão de radiação na condição de vilã está bastante arraigada não só entre os nossos alunos, mas entre a maioria daqueles que convivem em nossa sociedade. O medo é um elemento sempre presente quando o assunto em evidência é radiação e suas aplicações.

Nossa proposta didática baseia-se no enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e no desenvolvimento de atividades investigativas. Verificou-se, a partir das gravações das falas dos alunos, que as dinâmicas desenvolvidas promoveram uma maior interação entre os discentes e o professor; relações que foram enriquecidas pelos relatos de suas experiências individuais. Bem como foi possível notar uma construção do conhecimento fortemente baseada na observação, na análise do problema com suas causas e efeitos, formando uma base para argumentação e posicionamento crítico com relação a temas polêmicos envolvendo o uso de radiação na sociedade atual.

O uso de atividades investigativas mostrou-se como uma opção válida ao ensino tradicional, cuja estratégia metodológica baseia-se na memorização de fórmulas e na resolução de exercícios numéricos descontextualizados que, em geral, não despertam o

interesse dos alunos e nem promovem a construção de um conhecimento que seja útil aos estudantes e passível de aplicação em situações do seu cotidiano.

A seguir, apresentaremos um quadro resumo das atividades desenvolvidas com uma breve descrição, para facilitar a apresentação das considerações acerca de cada uma delas.

<b>ATIVIDADE</b>	<b>BREVE DESCRIÇÃO</b>
1	Exibição do documentário “O Pesadelo é Azul”
2	Mesa redonda
3	Discussão e elaboração de perguntas sobre o acidente
4	Aplicação do questionário
5	Atividade com usando um contador Geiger
6	Exibição de vídeo e construção de gráfico
7	Aplicação de questões de vestibular para resolução
8	Conceito de meia-vida-biológica e física
9	Conceito de qualidade e certificação da série ISO 9000
10	Aplicações da radiação na indústria
11	Discussão a partir do texto do livro Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear.
12	Discussão a partir de um texto jornalístico sobre um acidente de avião.
13	Visitas técnicas
14	Reflexão do estudante sobre as atividades desenvolvidas

Tabela 12-Quadro resumo das atividades aplicadas.

(Fonte: Autoria própria)



A atividade 1 apresentou grande interesse por parte dos alunos que manifestaram diferentes sentimentos sobre o acidente de Goiânia, variando da revolta à compaixão.

Destaca-se a importância e o alcance que este tipo de atividade pode ter, a partir da fala do aluno Marcos: *“Eu sempre ouvi da minha mãe que radiação faz muito mal! Ela sempre diz que não devemos ficar expostos. Mas depois deste vídeo e do que nós discutimos aqui, eu mudei de ideia porque vi que nem todo mundo que teve contato ficou doente. Vou conversar com a minha mãe sobre esta história de dose porque se fosse como ela diz, eu acho todo mundo do acidente já teria morrido”*. De onde, podemos considerar que, em princípio, este tipo de discussão não apenas provoca mudanças nas concepções dos alunos, mas também apresenta a possibilidade de chegar até outros indivíduos que não estão participando diretamente do processo de ensino-aprendizagem.

A atividade 2 mostrou-se relevante por destacar a importância da interdisciplinaridade dentro da análise de um problema real. Pôde-se perceber que não existe entre os alunos participantes a noção que os profissionais da área de Ciências Humanas podem contribuir de alguma forma para a resolução de problemas de ordem tecnológica.

A atividade 3 apontou as curiosidades dos alunos sobre as consequências do acidente que ainda permanecem presentes na atualidade e também permitiu observar que alguns alunos possuem concepções científicas, embora ainda não tenham tido uma instrução formal sobre dado assunto, como podemos ver na pergunta elaborada pelo grupo 5: *“Como a meia-vida do césio é de 30 anos e o acidente foi em 1987, ainda há césio naquela região. É perigoso viver naquela região? As árvores de lá ainda são radioativas?”*.

A atividade 4 possibilitou o levantamento, por meio das respostas dadas pelos estudantes ao questionário, das ideias inicialmente apresentadas pelos alunos acerca do tema radiação e de como eles observam a sua presença na natureza e no seu cotidiano.

A análise dos dados coletados revelou que, a maioria dos alunos, associa radiação a algo prejudicial à saúde, produzido artificialmente e que não está naturalmente presente no seu dia-a-dia.

A atividade 5 destacou a estrutura e os elementos de argumentos utilizados por um grupo de alunos durante a construção de um modelo explicativo capaz de fornecer subsídios, ainda que parciais, para justificar o porquê de eles terem concluído que o concreto emite radiação.

A atividade 6 apontou como os alunos estabelecem associações entre as relações de proporcionalidade entre duas grandezas e a forma do gráfico que representa o comportamento destes parâmetros. Embora eles tivessem a noção de que a quantidade do fármaco analisado diminuía com o passar do tempo dentro do organismo, não sabiam descrever a maneira como este decaimento se dava e, por isso, quando, inicialmente perguntados sobre a forma do gráfico que representaria a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia-vida, argumentaram que seria uma reta decrescente.

Na atividade 7, a análise do desempenho dos alunos com relação à resolução das questões de vestibular aplicadas permite considerar que o ensino de conteúdos de Física das Radiações a partir de atividades investigativas também fornece uma base para que os alunos respondam corretamente a questões do ensino tradicional.

A atividade 8 permitiu a introdução do conceito de meia vida biológica e proporcionou um cenário viável de apresentação da diferença entre meia vida física e meia vida biológica.

A atividade 9 apresentou o significado que os alunos atribuem ao conceito da qualidade de produtos, mostrando que, a maioria dos estudantes, associa qualidade a algo presente em produtos mais caros e com maior durabilidade.

A atividade 10 evidenciou que os alunos associam as possíveis aplicações das radiações a fins exclusivamente ligados a áreas da Medicina, não estabelecendo, a princípio, relações com outros campos atuação e por este motivo, alguns alunos ficaram surpresos com o tema abordado no artigo discutido ao longo dessa dinâmica.

A atividade 11 atende a umas das competências gerais do PCN+ para o ensino de Física no Ensino Médio que destaca a importância do aluno “compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social”(BRASIL,2002,p.67), já que nela foi espaço para discussões sobre questões científicas, sociais e éticas relacionadas ao acidente de Chernobil de 1986 e por ter promovido o debate dos aspectos positivos e negativos relacionados ao uso da energia nuclear, considerando fatores de diferentes naturezas como o econômico e o social.

A atividade 12 foi bastante elogiada pelos alunos que alegaram terem, por intermédio da notícia apresentada, visto um problema real que está relacionado ao tema abordado em sala. Apontaram também que o texto trouxe uma aplicação que tornara o tema bem mais interessante por mostrar algo que tem uma consequência social.

A atividade 13 engloba as visitas técnicas e podemos considerar que a realização destes dois eventos externos, permitiram que o aluno tivesse contato uma com a aplicação prática dos conteúdos aprendidos em sala de aula, saindo do chamado campo teórico que é considerado tão distante pelos alunos. Quando perguntado sobre suas considerações sobre as visitas realizadas, o grupo 3 fez a seguinte análise: “Nós gostamos muito das visitas porque foi possível ver, mesmo que maneira mais simples, como as coisas funcionam na prática e também conseguimos ver como é importante aprender a parte teórica. Temos alguns professores da parte técnica que dizem que não há teoria sem prática, mas depois destas duas visitas nós também achamos que não há prática sem teoria...isso se quisermos ser bons profissionais no futuro. ”

A atividade 14 foi planejada para dar voz ao aluno e permitir que ele expusesse suas considerações sobre as atividades aplicadas. Os apontamentos apresentados pelos estudantes mostraram como as atividades desenvolvidas influenciam de maneira diferente cada um deles, porém, observou-se que dentre os trinta relatos coletados, 80% deles informavam terem aprendido que a radiação é algo que existe naturalmente e que está presente no seu cotidiano. Trata-se de um dado que revela uma mudança na concepção que havia sido inicialmente levantada por meio do questionário aplicado na atividade 4.

A análise conjunta das atividades desenvolvidas nos permite afirmar que não apenas o aluno deve assumir um papel diferente dentro de um processo de ensino-aprendizagem que tem por base o desenvolvimento de atividades investigativas, mas também o professor deverá abandonar sua condição de fornecedor e certificador de respostas prontas. Sabemos que não há uma receita ou fórmula mágica que indique qual a melhor postura a ser assumida pelo professor na busca por uma aprendizagem mais eficaz, porém deverá ter muito claro em sua mente que cabe a ele a responsabilidade de atuar como um mediador de discussões, sem, no entanto, fazer interferências que sejam capazes de induzir o trabalho e o raciocínio do estudante.

Espera-se que o guia de orientação para o professor, também apresentado neste trabalho, seja capaz de auxiliá-lo na construção de uma abordagem de Física das Radiações que não se limite a aulas baseadas na transmissão passiva do conhecimento e na resolução de uma bateria de problemas numéricos. Objetiva-se, também, promover uma maior familiarização do professor com as atividades investigativas dentro de uma sequência didática.

Acreditamos que na importância da inserção das atividades investigativas para fins de promoção da Alfabetização Científica. Segundo Sasseron e Machado (2017), a metodologia de ensino por investigação preocupa-se com a formação da autonomia do aluno e com a análise das situações vivenciadas por eles. Desta forma, o foco do trabalho

com os alunos não se volta apenas para os conteúdos científicos, mas também para a ampliação da sua concepção de Ciência e os fatores que condicionam o estabelecimento das ideias científicas. Enfim, o ensino de Ciências não deve seguir a linha propedêutica de transmissão de conteúdos de professor para alunos.

Entendemos que o guia não constitui uma verdadeira panaceia para as dificuldades encontradas no ensino de Física das Radiações. Cabe, então, ao professor conhecer o perfil de seus alunos e as condições de sua escola para que sejam feitas as adaptações necessárias ao material. O alcance das contribuições trazidas pelo seu uso em sala de aula está diretamente relacionado à capacidade do professor de adequar a sua forma de trabalho aos diferentes contextos com que se depara no cotidiano escolar.

A necessidade de conhecer a realidade da escola não se limita ao professor, mas também se estende aos alunos que, à medida que conhecem os problemas coletivos de sua comunidade, poderão encontrar no conhecimento científico, construído ao longo das aulas de Física, possíveis soluções e caminhos para a superação de suas dificuldades, atendendo, desta forma, um dos pressupostos do enfoque CTS.

Por fim, destacamos que esta proposta de abordagem de Física das Radiações para alunos do ensino médio da área industrial não apresenta como objetivo apenas evitar acidentes, visto que para isso já existe uma legislação específica com normas e procedimentos a serem cumpridos, cuja responsabilidade de fiscalização é da CNEN. Desejamos que o aluno possa construir, uma postura crítica com relação aos aspectos que envolvem o uso de radiação na indústria de forma a permitir que a opção por trabalhar com radiação seja uma escolha consciente e responsável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKENHEAD, G. Science education: Border crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education*, v.27, p.1-52. 1996.

AIKENHEAD, G.S., Aikenhead. What is STS science teaching? In: Solomon, J., Aikenhead, G.S. *STS education: international perspectives on reform*. New York: Teachers College Press, p.47-59, 1994. Disponível em <http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/sts05.htm> >. Acesso em 20/10/2016.

ALEKISIÉVICHTH, S. *Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear*. São Paulo: Companhia das Letras. 2016.

ANDREUCCI, R.A *Radiologia Industrial*. São Paulo.2014.130f.Disponível em: <https://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em 30/09/2016.

ASEM, E. A visão dos alunos sobre aquecimento global a partir do documentário verdade inconveniente. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 1504-1509, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 9000:2005. Sistemas de gestão da qualidade: Fundamentos e vocabulário*. Rio de Janeiro, 2005.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a Implementação do Movimento CTS no Contexto Educacional Brasileiro. *Revista Ciência e Educação*, vol.7, n.1, 2001, p.1-13.

AZEVEDO, M.C.P.S. Ensino por investigação: Problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A.M.P. (org), *Ensino de Ciências*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning ,2004. p. 19-43.

BACHELARD, G. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARBOSA, L. C. A.; BAZZO, W. A. A escola que queremos: É possível articular pesquisas ciência -tecnologia-sociedade (CTS) e práticas educacionais? Rev. Eletrônica de Educação, 8(2), 363- 372.2014.

BORGES, A. T. (2002). Novos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Vol. 19, no. 3.

BRASIL, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei nº 9394 de 20 de dezembro de 1996. <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm) >Acesso em 01/set/2016.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Brasília, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília. Ministério da Educação,1999.

BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais. 3º e 4º ciclos. Apresentação em Temas transversais. Brasília: MEC/SEF,1997.

BRASIL, Secretária de Educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, SEMETEC, 2002.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais. Brasília: MEC/SEF, 1997.

CAMPOS, B.S. et al. Física para crianças: abordando conceitos físicos a partir de situações-problema. Rev. Bras. Ensino Fís. 2012, vol.34, n.1, 2012.

CAPECCHI, M. C. C. M. Problematização no ensino de Ciências. In: CARVALHO, A. M. P. (org.). Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CAPECCHI, M. C. V. M.; CARVALHO, A. M. P. & SILVA, D. Relações entre o discurso do professor e a argumentação dos alunos em uma aula de física, Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, I (2), 1-15.2002.

CAPPECHI, M. C. M. Argumentação numa sala de aula. CARVALHO, A. M. P. (org.) Ensino de Ciências – Unindo a pesquisa e a prática, São Paulo, Thomson Learning, 2004. p.59-76.

CARDOSO, S.C.; BARROSO, M.F. *Rápida Introdução à Física das Radiações*.2005.Disponível em <<http://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/radiacoes/>>. Acesso em 10/11/2016.

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

CARVALHO, A. M. P.; BARROS, M. A.; GONÇALVES, M. E. R.; REY, R. C. & VANUCCHI, A. I. Ciências no Ensino Fundamental: o conhecimento físico. São Paulo. Scipione.1998.

CARVALHO, A.M.P. (Org). Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

CARVALHO, A.M.P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: CARVALHO, A.M.P. (coord). Ensino de Física. São Paulo: CENGAGE Learning. 2010, p. 53-77.



CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. Revista Brasileira de Educação, Rio de Janeiro, n. 22, p. 89-100, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n22/n22a09.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2016.

CNEN-Comissão Nacional de Energia Nuclear. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br>> Acesso em: 10/05/2016.

DIETRICH S.; ORLANDI A. S. Ensino de Ciências por Investigação. São Carlos: Centro de Divulgação Científica e Cultural – CDCC: Compacta Gráfica e Editora, 2009.

DIETRICH S.; ORLANDI A. S. Ensino de ciências por investigação. São Carlos: Centro de Divulgação Científica e Cultural – CDCC: Compacta Gráfica e Editora, 2009.

FOUREZ, G. A construção das ciências: introdução à filosofia e ética das ciências. São Paulo. Editora UNESP. 1995. 319p.

GIBBONS, M.; LIMOGES, C.; NOWOTNY, H.; SCHWARTZMAN, S.; SCOTT, P.; TROW, M. The New Production of Knowledge: Dynamics of Science and Research In Contemporary Societies. Sage Publications. 1994.

HEWITT, P. Física Conceitual. 9.ed.Porto Alegre.RS.Bookman,2002.

JAPIASSU, H. O mito da neutralidade científica. Rio de Janeiro, RJ, Imago,1975.

LACERDA, Gilberto Lacerda. Alfabetização científica e formação profissional. Educ. Soc. [online], v. 18, n. 60, p. 91-108, 1997. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/es/v18n60/v18n60a5.pdf>>. Acesso em 10/dez/2016.

LAVAYSSIÈRE, B., BONIN, A., GAUTIER, S. e FRANCE, C., “New Development in Industrial Radiography at EDF”, Proceedings of DGfP, Berlim, 115-121, 1999.

MARTINS, Roberto de Andrade. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, volume 20, n.4: 373-91, 1998.

MIRANDA, Roberto Lira. Qualidade total: rompendo as barreiras entre a teoria e a prática. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

MORAIS, A. ANDRADE, M. Ciências Ensinar e Aprender. Belo Horizonte: Dimensão, 2009.

MOREIRA, I. C. Poesia na sala de aula de ciência? A literatura poética e possíveis usos didáticos. *Física na Escola*, v. 3, n. 1, 2002.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. Física das radiações. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PENAFRIA, Manuela. O filme documentário. História, identidade, tecnologia. Lisboa: Edições Cosmos, 1999.

PENHA S.P., CARVALHO A.M.P., VIANNA D.M. 2009. A utilização de atividades investigativas em uma proposta de enculturação científica: novos indicadores para análise do processo. In VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, 2009.

PENHA, S. P.; CARVALHO, A. M. P. A inserção de aspectos sociais da ciência e da tecnologia no ensino de ciências: identificação de convergências internacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA, 8, 2011, Campinas. Anais. Campinas: UNICAMP, 2011. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/index.htm>>. Acesso em 15 de novembro de 2016.

PÉREZ, L. F.M., CARVALHO, W. L. P., LOPES, N. C., CARNIO, M. P., VARGAS, N. J. B.A abordagem de questões sociocientíficas no Ensino de Ciências: contribuições à

pesquisa da área. In VIII ENPEC (pp. 01-12). Campinas - SP: UNICAMP, 2011. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R1606-1.pdf>>. Acesso em 24/11/2016.

PIETROCOLA, M. A transposição da física moderna e contemporânea para o ensino médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos. In: BORGES, R. (Org.). Propostas Interativas na Educação Científica e Tecnológica. Porto Alegre: EDUC, 2008.

RODRIGUES, C.F.M. *Irreversibilidade e degradação da energia numa abordagem para o ensino médio*. 2014. 141f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Instituto de Física. UFRJ. Rio de Janeiro. 2014.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. *Ciência e Ensino*, 2007. 1-12.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Revista Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciência*, vol. 2, n. 2, dezembro, 2002.

SANTOS, W.L.P., SCHNETZLER, R.P. Educação em química – compromisso com a cidadania. Ijuí: Editora Unijuí, 1997.

SANTOS, Wildson e MÓL, Gerson. Química cidadã. Vol. 2, 2ª ed. Ed Nova Geração, São Paulo, 2013.

SASSERON, L. H, CARVALHO, A.M.P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. In: *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, v.16, n.1, pp. 59-77, 2011.

SASSERON, L. H., CARVALHO, A. M. P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Toulmin. *Ciência e Educação (UNESP)*, v.17, p.97 - 114, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre*, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SASSERON, L.H., MACHADO, V.F. *Alfabetização Científica na prática: inovando a forma de ensinar Física*. Livraria da Física. São Paulo, 2017.

SCHEIN, Z. P.; COELHO, S. M. O papel do questionamento: intervenções do professor e do aluno na construção do conhecimento. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis*, v. 23, n. 1. p. 72-98, abr. 2006.

SILVEIRA, R. M. C. F. e BAZZO, W. A. Inovação tecnológica: para quem e por quê? 5th ANUAL COLOQUIUM ON ENGINEERING EDUCATION "Engineering Education in the Americas and Beyond". Rio de Janeiro: Anais do evento, Rio de Janeiro-RJ, 2006.

TOULMIN, S.E. (2006). *Os usos do argumento*. Martins Fontes, São Paulo. Cap. 6. p. 137-207.

VIGOTSKY, L.S. *A Formação Social da Mente*. São Paulo, Martins Fontes, 1984.

VILAS BOAS, E.B.B. *Estudo da qualidade da matéria-prima*. 2005. 170f. Dissertação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná. 2005.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: Aspectos históricos e diferentes abordagens. *Revista Ensaio, Belo Horizonte*, p. 67-80, 2011.

## APÊNDICE A

### AUTORIZAÇÃO PARA FOTOGRAFIA, FILMAGEM E GRAVAÇÃO EM ÁUDIO:

Por meio deste documento autorizo o professor/pesquisador Suelen Pestana ou o(s) seu(s) representantes(s) por ele designado(s), a fazer, reproduzir ou multiplicar fotografias ,vídeos, filmes ou transparências em que eu aluno/a do matriculado no segundo ano do ensino médio, apareça no todo e ou focalizado/a uma parte de seu corpo, para fins de pesquisa, informação e ou divulgação, para ensino de Física e ou para docência, publicados em periódicos ou em outros meios de divulgação científica, podendo ser feitos em cor ou em preto e branco. Autorizo ainda, que a reprodução e multiplicação dessas imagens possam ser acompanhadas ou não de texto explicativo, abrindo mão de qualquer direito de pré-inspeção e pré-aprovação do material, assim como de qualquer compensação financeira pelo seu uso, e que será publicado preservando seus nomes.

Deixo expresso nesta autorização que ( ) permito ou ( ) não permito que meu rosto seja utilizado, sem as tarjas usualmente empregadas para dificultar a identificação. Declaro que sou responsável, tendo todo o direito de autorizar os termos acima expressos, estando plenamente ciente do inteiro teor desta autorização.

*Instituição: CEFET/RJ UNED ITAGUAÍ*

*Nome completo:* \_\_\_\_\_

*Assinatura:* \_\_\_\_\_ *Identidade:* \_\_\_\_\_

*Idade: \_\_Residência (rua, bairro, cidade):* \_\_\_\_\_

*(Se menor de 18 anos, pai ou responsável deve assinar)*

## ANEXO A

Detalhamento do acidente radiológico de Goiânia de 1987 e suas consequências, segundo a professora Emico Okuno, texto publicado em 2013 na Revista Estudos Avançados, Volume 27, n 77, ano 14.

### *Acidente de Goiânia*

*Às 15 horas do dia 29 de setembro de 1987, José de Júlio Rozental, então diretor do Departamento de Instalações Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear, recebeu um telefonema de Goiânia comunicando haver sido encontrada forte contaminação radioativa em várias localidades da cidade. Após consultar arquivos, Rozental concluiu que provavelmente a causa da contaminação era uma fonte de Cs-137 de um equipamento de radioterapia do Instituto Goiano de Radioterapia. Rozental e mais dois médicos da CNEN chegam a Goiânia no dia 30/9, acionando a partir de então um plano de emergência. No dia 1º de outubro, seis pacientes foram enviados ao Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD) no Rio de Janeiro, e, no dia 3/10, mais quatro (Okuno, 1988; IAEA, 1988).*

### *Histórico*

*Em 1985, o Instituto Goiano de Radioterapia transferiu-se para outro prédio deixando o equipamento de radioterapia contendo uma fonte de Cs-137, no local onde funcionou desde 1971. O prédio antigo foi sendo abandonado e depredado até que no dia 13 de setembro de 1987 dois catadores de papel (Roberto Alves (22) e Wagner Pereira (19)) levaram boa parte do equipamento para o quintal da casa de um deles, com o intuito de vendê-lo como sucata. Lá o desmantelaram a marretadas e acabaram por violar a fonte. Nesse dia eles já passaram muito mal com diarreia e vômitos. Ao irem a um hospital no dia 15/9 já com enormes bolhas nas mãos e nos braços, os médicos acharam que eles estavam com alguma reação alérgica ou com alguma doença tropical.*

*No dia 19/9, parte da blindagem de chumbo que ainda continha a fonte de Cs137 violada foi vendida a Devair Alves Ferreira (36), dono de um ferro-velho. Devair, ao perceber no escuro uma luz azul emitida pelo pó de céσιο, ficou encantado e chamou familiares e*

*amigos para ver a estranha luz e distribuiu entre eles os grãos do tamanho de arroz de cloreto de céσιο. Isso aconteceu de 19/9 a 28/9, período durante o qual parte da sucata foi vendida a outros dois ferros-velhos. Um deles foi o ferro-velho do Ivo Alves Ferreira (40), pai de Leide das Neves (6) que acabou ingerindo um pouco do pó de céσιο, contaminando-se externa e internamente ao manusear o pó enquanto comia pão. Enquanto isso, a parte principal da peça tinha sido levada para a sala da casa de Devair. Maria Gabriela Ferreira (38), esposa do Devair, que vinha tendo diarreia, vômito, cansaço, chegou a suspeitar de que a causa do mal-estar devia ser aquela peça na sala, uma vez que todos que tinham vindo ver a misteriosa luz azul também estavam com problemas de saúde. No dia 28/9, Gabriela, com a ajuda do Geraldo Guilherme da Silva (21), empregado do ferro-velho, levou de ônibus a peça dentro de um saco à Vigilância Sanitária, dizendo: "isto está matando meu povo". O saco foi deixado sobre uma mesa na sala da Divisão de Alimentos até o dia seguinte, quando foi levado para o pátio e deixado sobre uma cadeira. Nessa ocasião, trabalhavam 81 pessoas na Vigilância Sanitária, muitos dos quais vieram ver a peça por curiosidade e foram irradiados e ou contaminados.*

*Da Vigilância Sanitária, Maria Gabriela e o empregado foram encaminhados para o Centro de Informações Toxicológicas, que na ocasião funcionava no Hospital de Doenças Tropicais (HDT). Um dos médicos que os examinaram desconfiou que as queimaduras com bolhas na pele podiam ser causadas por radiação.*

*O passo seguinte foi encontrar um físico. Este foi fazer medidas e confirmou altíssimo nível de contaminação, não só na Vigilância Sanitária, mas em várias localidades da cidade de Goiânia, posteriormente mapeadas.*

#### *Consequências do acidente*

*A fonte radioativa propriamente dita era uma pastilha de sal de cloreto de céσιο (Cs-137) contida dentro de uma cápsula metálica cilíndrica de 3,6 cm de diâmetro por 3,0 cm de altura. É até difícil de imaginar que uma pastilha tão pequena possa ter causado tamanho acidente.*

#### *Rejeitos gerados*

*A taxa de dose próximo à sacola levada à Vigilância Sanitária era de 10 Gy/h e 0,4 Gy/h a um metro. Quando as autoridades da CNEN chegaram lá no dia 1º/10/1987, a primeira providência foi concretar a cadeira e a sacola com a fonte, que se transformou em rejeito de altíssima atividade.*

*Um volume total de 3.500 m<sup>3</sup> de rejeitos radioativos resultou da demolição de sete casas, várias construções e barracões e as camadas dos solos removidos de três terrenos altamente contaminados. A Figura 5 mostra o entulho da demolição da casa de um dos terrenos. Cerca de 200 pessoas das 41 casas contaminadas de um total de 85 tiveram que ser evacuadas.*

*Todo o rejeito foi temporariamente armazenado em Abadia de Goiás, situada a 23 km do centro de Goiânia. Foram construídas seis plataformas cada uma com 60 x 18 m<sup>2</sup>, sobre as quais foram colocados os rejeitos armazenados em 4.223 tambores de 200 L cada, 1.347 caixas metálicas de 1,7 m<sup>3</sup> cada, 10 contêineres marítimos de 32 m<sup>3</sup> cada e seis embalagens especiais construídas com concreto armado com espessura de 20 cm de espessura.*

*Em maio de 1997 foi concluída a construção do depósito permanente dos rejeitos de Goiânia previsto para durar 300 anos, em Abadia de Goiânia, praticamente ao lado do depósito temporário. Sobre o depósito foram colocadas terras e nelas foi plantada grama.*

#### *Vítimas do acidente de Goiânia*

*Inúmeras são as vítimas do pior acidente do mundo com uma única e minúscula fonte radioativa. Cerca de um mês após a abertura da fonte, haviam morrido quatro pessoas:*

- Leide das Neves (6) e Maria Gabriela (38) no dia 23/10/1987 no HNMD. As necropsias mostraram ter havido hemorragia interna difusa em vários órgãos, sendo os mais afetados os pulmões e o coração. Foram sepultadas em caixões de chumbo em Goiânia no dia 26/10/1987.*
- Israel Batista (22) no dia 27/10/1987 no HNMD, de hemorragia generalizada de órgãos internos, empregado de Devair, que desmontou o cilindro contendo a fonte radioativa em 23.9.*
- Admilson Alves de Souza (18) no dia 28/10/1987 no HNMD, de hemorragia interna generalizada com pulmões e coração aumentados, empregado do Devair.*

#### *Outras vítimas:*

*No dia 14/10/1984, Roberto teve seu antebraço direito amputado.*

*Devair Alves Ferreira morreu aos 43 anos no dia 12/5/1994, com cirrose hepática.*



*Segundo a Associação de Vítima do Césio 137, até setembro de 2012, 25 anos após o acidente, mais de seis mil pessoas foram atingidas pela radiação, e pelo menos 60 já morreram em decorrência do acidente. Esse valor é refutado pelo poder público.*

*De 30/9 a 20/12/1987, a CNEN monitorou 112.800 pessoas. Desse trabalho constatou-se que mil pessoas não contaminadas haviam sido irradiadas externamente, das quais 97% receberam dose entre 0,2 e 10 mSv. Outras 249 pessoas haviam sido contaminadas externa e internamente, das quais 49 tiveram que ser internadas, e 21 delas exigiram atendimento intensivo e 10 vítimas apresentaram estado extremamente grave.*

*Zacharias Calil, superintendente da Suleide, declarou à jornalista Luana Borges do Jornal opção, na edição 1849 de 12 a 18 dezembro de 2010, que:*

*O monitoramento dos pacientes não constatou relações causais entre a incidência de cânceres em Goiânia e o acidente radiológico ocorrido em 1987. Cientificamente não foi comprovado o aumento de câncer. Filhos e netos dos radioacidentados não têm nenhuma sequela desse tipo. Segundo ele, apesar de as taxas de câncer entre os acometidos não serem maiores do que as taxas expressas no restante da população, há outras doenças decorrentes do acidente radiológico. Como médico, passei a ver a luta desses pacientes no dia a dia, sobretudo no que se refere à aquisição de medicamentos. Pude comprovar, clinicamente, que determinadas doenças apareceram mais cedo. Um exemplo é a hipertensão arterial, a osteoporose e a hipertrofia de próstata. Uma doença que poderia aparecer por volta de 50 ou 60 anos, foi antecipada aos 30 ou 35. De acordo com ele, doenças ligadas ao psicológico dos pacientes também são exacerbadas. Depressão, tabagismo e alcoolismo. As vítimas apresentam um processo depressivo acentuado e necessitam de um acompanhamento psiquiátrico.*

(Adaptado pela autora de <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v27n77/v27n77a14.pdf> >Acesso em out/2016).



## ANEXO B

A seguir apresentaremos o texto, na íntegra, da entrevista realizada com professor Odair Dias Gonçalves, do Instituto de Física da UFRJ.

*O acidente de Goiânia foi o segundo no mundo com fonte de radioterapia, usada para tratamento do câncer.*

*Anteriormente, em 1983, em Juarez, México, houve o caso de uma fonte no México que foi enviada para um ferro velho e posteriormente exportada como sucata para os EUA. Quando, já nos EUA, o caminhão passou pelo laboratório de Los Álamos, onde se construiu a primeira bomba atômica, monitores de radiação do laboratório dispararam. O caminhão foi interceptado, rastreou-se o material que faltava, mas acredita-se que 4 mil pessoas tenham sido expostas à radiação. A fonte propriamente dita não foi violada e o material manteve-se contido em pequenos cilindros que foram recuperados, evitando-se maiores consequências, apesar de não ser conhecido o número exato de vítimas.*

*Devido a não terem ocorrido mais acidentes, quando ocorreu o acidente de Goiânia ainda não havia nenhum protocolo de medidas preventivas e sobre como agir após o acidente. No Brasil, não havia clareza nem sobre qual a Instituição responsável sobre fiscalizar a segurança e quem deveria prestar socorro no caso em questão.*

*Dito isto, podemos tentar responder às questões.*

**GRUPO 1: Quais as principais medidas tomadas após a este acidente para evitar que ocorram outros acidentes como este?**

*O acidente gerou um grande debate, nacional e internacionalmente, sobre quais medidas devem ser tomadas para evitar o acidente. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) estabeleceu normas a serem seguidas pelas Clínicas que utilizam fontes radioativas e criou protocolos de inspeção periódica para garantir que as normas estejam sendo seguidas. As medidas foram discutidas na Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), em Viena e muitas das medidas foram adotadas como referência nas normas da AIEA. Outra medida foi a exigência que as fontes utilizadas em radioterapia a partir de então não poderiam ser mais na forma de pó, mas deveriam ser sólidas, de maneira a não ser possível a difusão do material caso outra fonte venha a ser violada. Podemos afirmar que não ocorrerá mais outro acidente com fonte médica? Acredito que não, pois sempre podem ocorrer falhas humanas ou acidentes cujas causas não foram*

previstas, mas podemos afirmar que a probabilidade de ocorrer outra Goiânia é dezenas de vezes menor do que antes do acidente.

**GRUPO 2: Existe alguma pesquisa sobre as doenças desenvolvidas pelas pessoas que moravam próximo ao local do acidente? Estas doenças estão diretamente ligadas ao acidente?**

**GRUPO 3: Como foi feito (na época) o tratamento das pessoas que tiveram contato com o césio?**

Estas duas questões estão relacionadas. A radiação atua danificando os tecidos humanos, inclusive o DNA e tem efeito cumulativo, ou seja, se a pessoa continua exposta, os danos vão aumentando. Por isso, se a pessoa ingere ou inala material radioativo os danos tentem a ser maiores do que quando a pessoa só é exposta por um tempo curto (naturalmente considerando a mesma quantidade de material radioativo). A unidade de medida de dose de radiação é o Sivert.

Existem dois tipos de efeitos resultantes de exposição à radiação.

Se a dose de radiação é muito alta (acima de 3 Siverts) ocorrem efeitos de curto prazo, entre horas e semanas após a pessoa ser expostas. Os sintomas são queimaduras na pele, enjoo, problemas de fígado e estômago e a pessoa pode vir a falecer em questão de dias por falência dos órgãos.

Se a dose é alta, mas mais baixa, entre 0,3 e 3 Siverts, ocorrem os efeitos de longo prazo que são modificações no código de DNA e cujo efeito mais conhecido é o câncer. Estes efeitos podem levar até 20 anos para aparecer.

Após o acidente de Goiânia, as pessoas que foram expostas foram registradas e divididas em três grupos, dependendo da dose a que haviam sido submetidas. Todas foram examinadas e eventualmente, passaram por processo de descontaminação, inclusive com lavagem estomacal quando era o caso. Dependendo do Grupo as pessoas passavam a serem acompanhadas segundo um dos protocolos estabelecidos.

#### **Vítimas - Classificação por grupos**

<b>Classificação</b>	<b>No. de Pacientes</b>	<b>Características</b>	<b>Dinâmica de atendimento</b>
----------------------	-------------------------	------------------------	--------------------------------

Grupo 1	54	Pacientes com mais de 0,2 Siverts. Com ou sem radiodermites	Consulta clínica médica mensal no primeiro ano e bimensal até o terceiro ano. Realização de exames laboratoriais de rotina.
Grupo 2	50	Sem radiodermites	Consulta clínica médica e exames de rotina quadrimestral.
Grupo 3	300	Sem radiodermites	Consulta anual com realização de exames de rotina.

*(Pergunta do grupo 2) - Como o aparecimento de problemas de longo prazo pode levar dezenas de anos, até hoje se faz o acompanhamento das pessoas registradas. Naturalmente as pessoas estão sujeitas às mesmas patologias de qualquer indivíduo da região, portanto existe uma grande discussão para se determinar o que é resultado específico da exposição à radiação. Até agora não existem dados incontestes que permitam uma resposta clara e definitiva.*

*Deve-se dizer que esta polêmica existe em todo o mundo não sendo conhecido com clareza qual o efeito da exposição às doses baixas de radiação. Existe mesmo um grupo de cientistas (Hormesis) que, baseado em dados de pessoas expostas à radiação das bombas de Hiroshima e Nagasaki, defende que baixas doses são benéficas à saúde.*

**GRUPO 4: Como a CNEN faz o controle do material radioativo usado nas clínicas?**

*Uma clínica, para usar material radioativo, deve ter licença específica (dependendo a intensidade e uso das fontes) da CNEN. Para ter a licença a clínica tem que contar com supervisor de proteção radiológica credenciado pela CNEN. Ele é o responsável pela garantia de segurança das instalações. Além disso a clínica é inspecionada periodicamente pelos fiscais da CNEN que vão verificar se todas as medidas de segurança estão sendo cumpridas*

**GRUPO 5: Como a meia-vida do céσιο é de 30 anos e o acidente foi em 1987, ainda há céσιο naquela região. É perigoso viver naquela região? As árvores de lá ainda são radioativas?**

*Como o Césio se espalhou por diversas quadras em torno do ferro velho onde a fonte foi desmontada, foi necessário demolir todas as construções e escavar os terrenos nestas quadras para que a maior parte do material fosse retirada, de maneira a garantir que não houvesse quantidade de radiação diferente de outras partes da cidade (todos estamos expostos a uma quantidade pequena de radiação que existe nos tijolos, no ar e mesmo nos alimentos). Esse “lixo radioativo” está guardado em depósitos de concreto*

*subterrâneos numa instalação da CNEN em Abadia de Goiás e é considerada uma instalação modelo.*

*Como não se pode garantir que não tenha havido infiltração de material no solo e que este material possa aflorar à superfície, a região ainda não está liberada para novas construções, mas o acesso a elas é livre.*

*Existe alguns trabalhos de cientistas que mediram doses baixas de radiação em algumas das árvores da região, mas a quantidade está abaixo dos limites de segurança estabelecidos pela CNEN.*

*Existe um consenso entre as diversas instituições que não há qualquer risco para os residentes da região.*

*Odair Dias Gonçalves*

*01/07/2016.*

A seguir apresentaremos o texto, transcrito, da entrevista, gravada em áudio, realizada com professor Luiz Pinguelli Rosa (COPPE-UFRJ), realizada em 27 de julho de 2016.

**PERGUNTA DO GRUPO 1: Quais as principais medidas tomadas após a este acidente para evitar que ocorram outros acidentes como este?**

*Professor Luiz Pinguelli: Houve muitas medidas tomadas para recolhimento do material contaminado lá em Goiânia e armazenamento deste material num local previsto para isso, num depósito de material radioativo, numa periferia, num subúrbio, local chamado Abadia. Foi um trabalho muito detalhado muito intenso, certas áreas da cidade foram percorridas pelos técnicos da CNEN, posso dizer que foi um trabalho bem feito e também foi criado uma instituição para cuidar das pessoas que foram atendidas. Foi criada uma espécie de fundação Leide das Neves que teria recursos para tratamento e acompanhamento das vítimas que era um grupo mais afetado que tomou contato com o césio-137 que era da ordem de 500 pessoas, porém não sei o número exato. Eles foram*

*descontaminados, as casas foram interditadas para inspeções. Aqui no RJ houve até uma peça teatral que encenava o impacto do césio 137 na população. Foi uma coisa muito intensa, o impacto psicológico até do impacto físico daqueles que foram mais atingidos foi algo muito ruim. A própria cidade de Goiânia ficou segregada com suas produções recusadas pelos compradores. Houve um impacto econômico também.*

*Porém, a apuração de responsabilidade foi péssima! Em primeiro lugar tentaram responsabilizar a pessoa que era encarregada pelo controle de materiais radioativos da CNEN, chamado Rossental, que eu conheci porque ele trabalhou aqui no Instituto de Engenharia Nuclear, na Ilha do Fundão. O que foi uma coisa injusta porque de fato o esquema de proteção radiológica era muito precário. Havia muito rigor na área de Angra dos Reis, onde se estava fazendo o reator nuclear que era o pior local mesmo do material radioativo, mas esta utilização difusa da radioatividade em laboratórios, em locais que fazem gamagrafia, ou outros usos que eram maiores que hoje de bombardeio de tumores cancerígenos por material radioativo ou por emissão radioativa que era o caso do césio -137, era esta a utilização dele, uma bomba de césio. Era lacrada com um pequeno orifício obturado que foi partido, teve seu invólucro quebrado, foi coletado o césio-137 que era um pó que estava lá dentro e como ele era brilhoso, esverdeado, bonito, as pessoas acharam que aquilo será uma preciosidade e deram para as crianças, os parentes e os amigos...uma coisa terrível. Porque o símbolo de material radioativo era desconhecido da população e eu achava alias que eles deveriam mudar e colocar uma caveira, igual se faz no caso de alta tensão. Um símbolo mais comunicativo!!!*

*Enfim, as medidas foram mais de descontaminação da cidade, o que eu acho que isso foi bem feito.*

**PERGUNTA DO GRUPO 2: Existe alguma pesquisa sobre as doenças desenvolvidas pelas pessoas que moravam próximo ao local do acidente? Estas doenças estão diretamente ligadas ao acidente?**

Professor Luiz Pinguelli: *Isso foi mal porque eles acabaram com a Fundação Leide das Neves e colocaram as pessoas de lá no Sistema único de saúde (SUS).*

*Na época houve algumas mortes de pessoas muito irradiadas que foram afetadas pela chamada doença da radiação, que causa uma espécie de um colapso no organismo das pessoas. Ficam com imunidade muito baixa e as pessoas, em geral, neste caso morrem muito rápido. Foram poucos deste caso.*

*Houve mais casos de contaminação em que os efeitos só se revelam a longo prazo, em geral o câncer, mas podem ocorrer também efeitos genéticos em descendentes, eu não sei precisar se neste caso aconteceu isso, mas certamente ocorreram muitos casos de câncer devem ter ocorrido, mas como o câncer tem múltiplas causas, fica difícil associar uma coisa à outra. Eu não sei o nível do estudo, mas foi algo muito chocante que despertou o interesse de universidades, médicos e radiologistas.*

*Naquela época, os primeiros socorros, primeiros mesmo, logo após o que aconteceu, os pacientes foram muito mal atendidos porque os médicos não sabiam do que se tratava e logo em seguida ocorreu o medo da contaminação. Isso foi superado quando se deslocaram equipes, principalmente do RJ e SP, de pessoas treinadas para lidar com o problema. A Sociedade Brasileira de Física é uma sociedade que eu não sei o nome exatamente... de físicos da radiação ou de medicina nuclear, que deram apoio aí sim, as providências foram bem-feitas, mas num primeiro momento não, as pessoas não sabiam por isso mesmo ocorreu esta disseminação já que as pessoas contaminadas contaminam outras. O primeiro momento foi caótico.*

**PERGUNTA DO GRUPO 3: Como foi feito (na época) o tratamento das pessoas que tiveram contato com o césio?**

Professor Luiz Pinguelli: *Isso eu já respondi. Foi muito bem feito pela Fundação Leide das Neves, mas não foi mantido, eu não sei quantos anos durou a fundação, mas*



*não foram muitos anos e depois foi extinta, mas o problema da radiação a longo prazo...essas pessoas devem ter tido câncer, em alguns casos, muito tempo depois e a responsabilidade deveria ser do governo.*

**PERGUNTA DO GRUPO 4: Como a CNEN faz o controle do material radioativo usado nas clínicas?**

*Professor Luiz Pinguelli: Aí há uma responsabilidade dupla: da CNEN e dos órgãos locais, estaduais em geral. Isso existe bem desenvolvido em São Paulo, onde há, em nível local, uma especialização de pessoas tratando deste controle, porém na maioria dos estados não havia e eu acho que continua não tendo. A CNEN tem, porém não consegue cobrir o país todo devidamente e esta era a razão pela qual eu defendi o Rozental, porque ele não podia ser o responsável por uma coisa que ele não tinha controle, que não tinha estrutura, o número de técnicos, pessoal de com trole de material radioativo era muito pequeno não havia uma rotina capaz de cobrir todo o território nacional, então o controle era ruim. Você sabe que o uso difuso tem muitas..., não é só o material radioativo, também tem a radiação eletromagnética para raio-X, muito usada em consultórios de dentistas, que também tem o perigo... não tem contaminação mas tem o efeito da radiação.*

*Eu não sei dizer como estão as estruturas estaduais, locais, na época até houve uma preocupação maior, mas eu acredito que esta estrutura não tenha mudado quase nada. Não pode ser só a CNEN a responsável porque há tantos lugares que usam este material radioativo.*

**PERGUNTA DO GRUPO 5: Como a meia-vida do césio é de 30 anos e o acidente foi em 1987, ainda há césio naquela região. É perigoso viver naquela região? As árvores de lá ainda são radioativas?**

Professor Luiz Pinguelli: *Não é mais perigoso viver naquela região. A atividade não se esgota na meia-vida, é um decaimento exponencial, a meia-vida é uma referência, onde ele já caiu bastante, então ainda deve haver atividade do césio, mas há atividade radioativa, às vezes, em outros lugares por razões naturais, como por exemplo, na areia monazítica em algumas praias do Espírito Santo, aquela areia escura, tem uma certa radioatividade ambiente, mas que não se considera letal. De qualquer modo, eu não diria que é perigoso viver naquela região. As árvores que estavam radioativas foram cortadas. Foi feita a descontaminação, eu, inclusive, estive lá algumas vezes, acompanhando o prefeito, o governador, em muitas reuniões, porque foi um impacto horroroso. Eu acho que não mais problemas com árvores radioativas porque elas detectadas, já que uma equipe imensa da CNEN esteve lá e percorria todos os lugares e detectava a radioatividade e recolhia, raspava o chão, o solo...quer dizer foi uma coisa bem-feita.*

*Agora os doentes...isso é que é o problema, eu não sei dizer o nível de acompanhamento que eles conseguiram manter.*

## ANEXO C

### MATERIAL DO ALUNO

Nesta seção, iremos apresentar o conjunto de materiais<sup>30</sup> utilizados pelos alunos participantes ao longo do desenvolvimento das atividades que integram proposta didática apresentada neste trabalho. As figuras apresentadas não serão referenciadas porque assim já foram em páginas anteriores deste trabalho.

Os elementos textuais apresentados a seguir fazem parte do discurso do professor direcionado aos alunos participantes das atividades desenvolvidas.

#### ATIVIDADE 1

Vocês irão assistir ao documentário “O Pesadelo é Azul” e é importante que anotem o endereço do site onde o vídeo está disponível (<https://www.youtube.com/watch?v=bBydk9-Sg5s>), para que possam acessar em situação posterior, caso seja de seu interesse na continuidade do trabalho.

#### ATIVIDADE 2

Vocês irão participar de uma mesa redonda com professores de Biologia, Química e Sociologia, organizada com o objetivo de discutir aspectos do acidente radiológico de Goiânia de 1987. Anotem as suas perguntas em uma folha de papel para que estes

---

<sup>30</sup> As figuras apresentadas nesta parte do texto já foram mostradas no capítulo 4 ou no capítulo 5, por isso receberão a mesma numeração que foi dada nesses capítulos.





questionamentos sejam feitos aos professores somente ao final do debate. Assim, o debate será desenvolvido de uma forma mais organizada.

### ATIVIDADE 3

Dividam-se em cinco grupos e façam uma discussão sobre o acidente radiológico de Goiânia e suas consequências. Ao fim do debate, cada equipe deve elaborar uma pergunta de seu interesse sobre o acidente e me entregar em uma folha com identificação do grupo. Cada grupo também receberá um gravador de áudio para gravar as falas e suas possíveis reações durante o desenvolvimento da atividade.

### ATIVIDADE 4

Respondam, individualmente, a este questionário e depois me entreguem a folha com as respostas.

<p>1. Considerando as imagens abaixo, assinale a alternativa que representa material radioativo:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>4</p> </div> </div> <p>a) 1 b) 2 c) 3 d) 4</p> <p>2. Você acha que é possível que as radiações possam ser emitidas por fontes naturais? a) SIM b) NAO</p> <p>3. Você considera que os alimentos irradiados são prejudiciais à saúde? a) SIM b) NAO</p> <p>4. (PERGUNTA A SER RESPONDIDA SOMENTE POR QUEM MARCOU A OPÇÃO SIM NA QUESTÃO ANTERIOR) Marque a opção que justifica o porquê de você acreditar que alimentos irradiados são prejudiciais à saúde. a) O alimento irradiado perde suas características originais, tornando-se alimentos radioativos. b) A ingestão de alimentos irradiados faz com que os indivíduos que dele se alimentam também se tornem radioativos. c) Outra justificativa. Qual? - _____</p>	<p>5. Ao ouvir falar sobre radiação, qual a primeira situação que lhe vem à mente? a) Bombas b) Diagnóstico e tratamento médico c) Algo que pode ser usado na geração de energia d) Controle de qualidade na indústria e) Algo exclusivamente prejudicial à saúde</p> <p>6. Em (qual) quais locais/ambientes, você acha que está exposto a alguma forma de radiação? a) Um hospital b) Um avião localizado a 8km de altitude c) Uma usina nuclear d) Uma praia e) Uma escola</p>
---	--

## ATIVIDADE 5

Dividam-se em cinco grupos. Cada grupo vai receber este aparelho medidor de radiação, chamado contador Geiger, juntamente com breves instruções de como manuseá-lo e também um gravador de áudio para gravar as falas e suas possíveis reações durante o desenvolvimento da atividade. Cada equipe deverá procurar, durante quinze minutos, dentro do espaço da escola, materiais que emitam radiação. Ao final, cada grupo deverá retornar à sala de aula e expor para a mim e para turma quais os objetos encontrados que emitem radiação.

## ATIVIDADE 6

Primeiro vamos assistir à primeira parte do vídeo *“Salvador, o hipocondríaco”* e em seguida, dividam-se em cinco grupos. Discutam, então, com os seus colegas sobre como acham que como deve ser a forma do gráfico que representaria a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia vida.

Agora que vocês já levantaram algumas suposições sobre a forma do gráfico, cada grupo receberá um kit contendo estes materiais e vocês deverão utilizá-los para construir o gráfico representa a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia-vida.

- 5 garrafas plásticas de 300 ml vazias;
- 2 litros de água com corante vermelho;
- 2 folhas de papel milimetrado;
- Uma régua

Cada grupo também receberá um gravador de áudio para gravar suas falas durante o desenvolvimento da atividade.

Agora, para finalizar esta atividade, vocês irão assistir a parte final do vídeo *“Salvador, o hipocondríaco”*.

#### ATIVIDADE 7

Aqui temos três questões de vestibular envolvendo assuntos abordados dentro do tema de Física das Radiações. Seria importante tentar resolvê-las, sendo assim cada aluno deverá responder a cada questão individualmente e me entregar a resolução escrita.

## ENEM 2012 • QUESTÃO 84

A falta de conhecimento em relação ao que vem a ser um material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar o medo e a tomada de decisões equivocadas, como a apresentada no exemplo a seguir. “Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico por este portar um certificado de esterilização por irradiação.”

Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007 (adaptado).

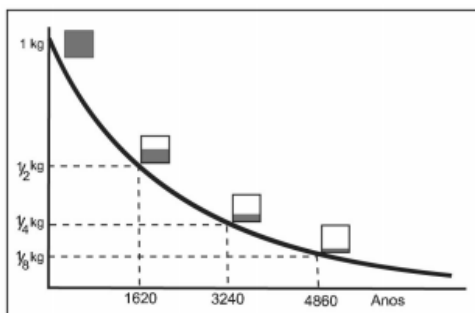
**A decisão tomada pela companhia é equivocada, pois**

- (A) o material é incapaz de acumular radiação, não se tornando radioativo por ter sido irradiado.
- (B) a utilização de uma embalagem é suficiente para bloquear a radiação emitida pelo material.
- (C) a contaminação radioativa do material não se prolifera da mesma forma que as infecções por microrganismos.
- (D) o material irradiado emite radiação de intensidade abaixo daquela que ofereceria risco à saúde.
- (E) o intervalo de tempo após a esterilização é suficiente para que o material não emita mais radiação.

O lixo radioativo ou nuclear é resultado da manipulação de materiais radioativos, utilizados hoje na agricultura, na indústria, na medicina, em pesquisas científicas, na produção de energia etc. Embora a radioatividade se reduza com o tempo, o processo de decaimento radioativo de alguns materiais pode levar milhões de anos. Por isso, existe a necessidade de se fazer um descarte adequado e controlado de resíduos dessa natureza. A taxa de decaimento radioativo é medida em termos de um tempo característico, chamado meia-vida, que é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original. O gráfico seguinte representa a taxa de decaimento radioativo do rádio-226, elemento químico pertencente à família dos metais alcalinos terrosos e que foi utilizado durante muito tempo na medicina.

As informações fornecidas mostram que

- (A) quanto maior é a meia-vida de uma substância mais rápido ela se desintegra.
- (B) apenas 1/8 de uma amostra de rádio-226 terá decaído ao final de 4.860 anos.
- (C) metade da quantidade original de rádio-226, ao final de 3.240 anos, ainda estará por decair.
- (D) restará menos de 1% de rádio-226 em qualquer amostra dessa substância após decorridas 3 meias-vidas.
- (E) a amostra de rádio-226 diminui a sua quantidade pela metade a cada intervalo de 1.620 anos devido à desintegração radioativa.



questão

24

Uma das consequências do acidente nuclear ocorrido no Japão em março de 2011 foi o vazamento de isótopos radioativos que podem aumentar a incidência de certos tumores glandulares. Para minimizar essa probabilidade, foram prescritas pastilhas de iodeto de potássio à população mais atingida pela radiação.

A meia-vida é o parâmetro que indica o tempo necessário para que a massa de uma certa quantidade de radioisótopos se reduza à metade de seu valor.

Considere uma amostra de  ${}_{53}\text{I}^{133}$ , produzido no acidente nuclear, com massa igual a 2 g e meia-vida de 20 h.

Após 100 horas, a massa dessa amostra, em miligramas, será cerca de:

- (A) 62,5
- (B) 125
- (C) 250
- (D) 500

#### ATIVIDADE 8

Leiam a bula da amoxicilina e me informem o valor da meia vida deste medicamento.

O que acham este valor representa?

Como vimos no documentário “O pesadelo é azul”, algumas pessoas foram contaminadas internamente com o cézio-137, cuja meia vida é de 30 anos, então podemos dizer que são necessários 30 anos para que metade da quantidade inicial de cézio-137 seja eliminado do organismo destas pessoas? Ou seja, o valor associado a meia vida é o mesmo para situações dentro e fora de um organismo?

Vamos discutir a diferença entre meia vida física e meia vida biológica.

#### ATIVIDADE 9

Vamos agora falar um pouco sobre o conceito de qualidade...



Antes de iniciarmos esta atividade, gostaria de destacar que esta atividade não tem como objetivo a abordagem de conteúdos da Física e foi desenvolvida apenas com a intenção de apresentar o conceito de qualidade e sua relação com a Organização Internacional para a Padronização (ISO), aspectos importantes de dentro do campo industrial e, portanto, relevantes para o profissional técnico em mecânica que atua nesta área.

Dividam-se em cinco grupos. Cada grupo receberá este kit com estas três canetas e um gravador e deverá responder as seguintes questões:



- 1. Na sua opinião, qual caneta tem mais qualidade?*
- 2. Qual critério que você utilizou para dimensionar a qualidade das canetas?*
- 3. A sua decisão seria influenciada caso a embalagem de uma das canetas informasse sobre certificação da série ISO 9000? Justifique sua resposta.*

Agora que já discutimos sobre a importância do controle de qualidade para as empresas, cada aluno receberá este texto para leitura e discussão entre os colegas do grupo. O trecho foi adaptado de um artigo disponível no site do INMETRO, que trata sobre o real significado da certificação da série ISO 9000.

*[...]Para que se possa, objetivamente, avaliar o significado da certificação do sistema de Gestão da Qualidade de empresas, segundo as normas da série ISO 9000, faz-se necessário compreender os antecedentes históricos que deram origem a essa sigla, hoje mundialmente conhecida. No final dos anos 50, às voltas com a guerra fria e com a corrida espacial, as forças armadas americanas verificaram que, para assegurar o desempenho do complexo industrial-militar, era fundamental qualificar seus fornecedores tendo em vista a confiabilidade de seus produtos e serviços. Assim, foi elaborada uma norma, a "Military Standard", para avaliar o sistema de controle da qualidade de seus fornecedores. Com esse mesmo objetivo, foram desenvolvidas especificações para a área nuclear, pela Agência Internacional de Energia Atômica. Esse movimento se disseminou por vários outros setores da economia, de modo que, na década de 70, a qualificação de fornecedores era, em nível mundial, uma atividade desenvolvida em um ponderável número de grandes empresas e em grandes projetos. No Brasil, a partir de meados da década de 70, as estatais brasileiras fizeram um grande esforço de capacitação e qualificação de seus fornecedores. O Programa Nuclear Brasileiro foi o pioneiro nesse esforço de avaliação de fornecedores pela ótica da qualidade, sendo seguido pela Petrobras e outras estatais. Cabe ressaltar que as exigências feitas nesse esforço nacional eram idênticas às internacionais. Assinale-se também as iniciativas bem-sucedidas de algumas empresas privadas exportadoras que se adaptaram aos padrões de qualidade exigidos pelos mercados dos países desenvolvidos. Em meados da década de 80, a Internacional Organization for Standardization (ISO) iniciou a elaboração do que se chamou normas sistêmicas para a qualidade. Essas normas são genéricas, não se prendem a um produto ou a um setor em particular, mas tratam da avaliação, sob a ótica da gestão da qualidade, do processo produtivo como um todo, qualquer que seja ele. Essas normas foram denominadas série ISO 9000.*

*O sucesso dessas normas resultou fundamentalmente de dois fatores. Em primeiro lugar, o movimento de globalização da economia, que levou à constituição de produtos mundiais, tanto no que se refere à utilização de componentes oriundos dos mais variados mercados, como quanto ao uso dos mesmos. Portanto, tornou-se extremamente importante a existência de uma marca que permitisse reconhecer que o fornecedor tem seu processo de produção minimamente controlado. Como segundo fator contributivo, a qualidade de avaliações feitas por compradores em seus fornecedores, utilizando-se de especificações diversas e em lugares cada vez mais distantes, tornou-se muito onerosa. Assim, mostrou-se altamente conveniente uma norma reconhecida mundialmente que permitisse a avaliação dos fornecedores por entidades independentes da relação contratual. Daí o sucesso do certificado ISO 9000. A certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade ISO 9000 não pode ser confundida com a certificação de produto. A certificação de produto é o reconhecimento, através de uma marca ou selo, de que um produto está em conformidade com os requisitos especificados em normas ou regulamentos técnicos[...]*

(Adaptado pela autora de <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/iso9000.asp>>, com acesso em set/2016).

Após a leitura do texto, cada um de vocês deverá responder às seguintes questões:

*1. Baseado no texto anterior e nas discussões sobre qualidade já realizadas, é possível garantir a qualidade dos produtos que são produzidos por empresas que tem o certificado ISO 9000? Justifique sua resposta.*

*2. Você já teve acesso a alguma propaganda de empresas certificadas que induz o consumidor a concluir que o produto é que é o elemento certificado? Em caso afirmativo, comente sobre como era o anúncio.*

#### ATIVIDADE 10

Agora que vocês já estão divididos em cinco grupos, irão receber este material e deverão discuti-lo entre os colegas do grupo para responder, individualmente, as perguntas apresentadas ao final do texto.

### Fontes radioativas garantem a qualidade dos processos industriais

A indústria é uma das maiores usuárias das técnicas nucleares, respondendo por 31% das licenças para utilização de fontes radioativas. Elas são empregadas, principalmente, para a melhoria da qualidade dos processos dos mais diversos setores industriais como o de bebidas, papel e celulose, siderúrgicas, indústrias automobilística, naval e aeroviária, e o setor petrolífero. As principais aplicações são na medição de espessuras e de fluxos, e no controle da qualidade de junções de peças metálicas.

Segundo Eduardo Mendonça, coordenador geral de Licenciamento e Controle da Comissão Nacional de Energia Nuclear – Cnen, as principais fontes utilizadas são o Cobalto 60, o Césio 137, o Amerício 241, o Iridio 192 e, mais raramente, o Estrôncio e o Trício.

Ricardo Brito, chefe da divisão de Instalações Radioativas da Cnen, ressalta que a utilização das fontes radioativas permite às indústrias alcançar os rígidos parâmetros exigidos pelo mercado externo e agregar mais qualidade aos produtos. Ele cita alguns exemplos. "Na indústria de papel, que opera com medidas padrão de gramatura, uma forma de garantir que todas as folhas tenham a mesma gramatura, para atender às exigências do mercado mundial, é a utilização de técnicas nucleares. Na indústria de bebidas, as fontes radioativas vêm sendo utilizadas para controle de enchimento de vasilhames", informa.

Outra importante aplicação das técnicas nucleares na indústria é a irradiação. Ela é usada, por exemplo, para aumentar a durabilidade de produtos como os fios e cabos elétricos ou para esterilizar produtos médico-hospitalares em empresas como a Johnson&Johnson (ver Brasil Nuclear 17). A irradiação de cabos foi introduzida no país há 20 anos. Somente no ano passado, o Ipen, que presta esse serviço para inúmeras empresas, irradiou 12 mil quilômetros de cabos. A técnica se disseminou a ponto de muitos fabricantes terem investido na aquisição de aceleradores, para irradiar seus produtos in-house.

*Se você fosse convidado para trabalhar em uma empresa que utiliza radiação em seu processo produtivo, você aceitaria esta proposta de trabalho?*

*a. Caso afirmativo, por quê?*

*b. Caso negativo, por quê?*

*Quais as vantagens, na sua opinião, do uso de radiação em indústrias?*

*Quais as desvantagens, na sua opinião, do uso de radiação em indústrias?*

## ATIVIDADE 11

Agora que nós já discutimos sobre o Acidente de Chernobil, vocês irão receber o texto a seguir, que foi retirado do livro *Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear*, da escritora bielorrussa Svetlana Aleksisíevich. Este texto foi escolhido do livro para análise porque traz o relato de **Liudmila Ignátienko, mulher do bombeiro Vassíli Ignátienko**:

*“Não sei do que falar... Da morte ou do amor? Ou é a mesma coisa? Do quê?”*

*Estávamos casados havia pouco tempo. Ainda andávamos na rua de mãos dadas, mesmo quando entrávamos nas lojas. Sempre juntos. Eu dizia a ele: “Eu te amo”. Mas ainda não sabia o quanto o amava. Nem imaginava. Vivíamos numa residência da unidade dos bombeiros, onde ele servia. No 2º andar. Ali também moravam três jovens famílias, que compartilhavam a cozinha. Embaixo, no 1º andar, ficavam os carros, os carros vermelhos do corpo de bombeiros. Era esse o trabalho dele. Eu sempre sabia onde ele estava e o que se passava com ele. No meio da noite, ouvi um barulho. Gritos. Olhei à janela. Ele me viu: “Feche a persiana e vá se deitar. Há um incêndio na central. Volto logo.”*

*A explosão, propriamente, eu não vi. Apenas as chamas, que iluminavam tudo, o céu inteiro... Chamas altíssimas, muita fuligem. O calor era terrível. E ele não voltava. A fuligem se devia ao betume queimado, o telhado da central era coberto de asfalto. As pessoas andavam sobre o telhado como se fosse resina, como depois ele me contou. Os colegas apagavam as chamas, enquanto ele rastejava e subia até o reator. Eles chutavam o grafite ardente... Foram para lá sem o equipamento de lona, com as camisas que estavam usando. Não os preveniram, soltaram o aviso de um incêndio comum.*

*Quatro horas... Cinco... Seis... Nós tínhamos combinado de ir à casa dos pais dele às seis, para plantar batatas. Da cidade de Prípiat até a aldeia Sperijie, onde eles viviam, eram 40 quilômetros. Nós íamos lá semear, arar. Era o que meu marido mais gostava de fazer... A mãe dele frequentemente se lembra de que ela e o pai não queriam deixá-lo ir para a cidade, chegaram a construir uma casa nova. Mas ele foi convocado pelo Exército. Serviu em Moscou nas tropas dos bombeiros e quando voltou só queria ser bombeiro. Nada mais. (Silêncio)*

*Às vezes parece que escuto sua voz. Que ele está vivo... Nem as fotografias me tocam tanto quanto a voz dele. Mas ele nunca me chama. Nem em sonhos... Sou eu que chamo meu marido.*

*Sete horas... Às sete me avisaram que ele estava no hospital. Corri até lá, mas havia um cordão de policiais em torno do prédio, ninguém passava. As ambulâncias chegavam e partiam. Os policiais gritavam: “Os carros estão com radiação, não se aproximem.” Eu não era a única, todas as mulheres cujos maridos estavam na central essa noite vieram correndo, todas. Quando vi saltar de um carro uma conhecida que trabalhava como médica naquele hospital, corri e a segurei pelo jaleco: “Me deixe entrar!” “Não posso! Ele está mal. Todos estão mal.”*

*Agarrei-a com força: “Só quero ver o meu marido.” “Está bem”, ela disse. “Vamos. Mas só por quinze, vinte minutos.”*

*Eu o avistei. Estava todo inchado, inflamado. Quase não se viam seus olhos.*

*“Ele precisa de leite. Muito leite!”, ela disse. “Eles devem beber ao menos 3 litros.” “Mas ele não toma leite.” “Agora vai ter que tomar.”*

*Muitos médicos, enfermeiras e, sobretudo, as auxiliares desse hospital, depois de algum tempo, começaram a adoecer. Mais tarde morreriam. Mas na época ninguém sabia disso.*

*Às dez da manhã morreu o técnico Chichenok. Foi o primeiro. No primeiro dia. Logo soubemos de outro que tinha ficado sob os escombros, Valera Khodemtchuk. Não conseguiram retirá-lo, foi emparedado com concreto. Mas ainda não sabíamos que esses seriam apenas os primeiros”.*

Agora que vocês já leram o texto, por favor discutam sobre o contexto histórico da época em que ocorreu o acidente de Chernobil. Vocês podem relacionar o texto que leram com a crise na União Soviética? Além das questões científicas envolvidas, que outras questões estão envolvidas neste acidente?

## ATIVIDADE 12

Agora que vocês já estão divididos em cinco grupos, irão receber este material e deverão discuti-lo entre os colegas do grupo para responder, individualmente, às perguntas apresentadas ao final do texto.

*O Airbus A320 caiu no mar de Java em 28 de dezembro, a menos de metade do caminho em um voo de duas horas iniciado na segunda maior cidade indonésia, Surabaya, com destino a Cingapura.*

*Problemas reiterados provocados pelo sistema de controle do leme fizeram com que os pilotos desativassem o piloto automático quando o avião atravessava uma área com tempo ruim, antes de perder o controle do avião, anunciou o Comitê Nacional de Segurança de Transportes.*

*De acordo com o relatório final, o piloto automático foi desconectado para que os sistemas de alerta fossem aplicados em consequência de uma fissura em uma soldadura do sistema que controla o leme. O avião começou a perder estabilidade, após uma série de manobras dos pilotos para tentar reativar o sistema.*

*O voo QZ8501 da AirAsia decolou de Surabaya, na ilha de Java, na madrugada do dia 28 de dezembro de 2014 com 162 pessoas a bordo e deveria ter aterrissado em Cingapura algumas horas mais tarde.*

(Adaptado pela autora de <http://g1.globo.com/mundo/noticia/2015/12/falha-mecanica-causou-acidente-com-aviao-da-airasia-na-indonesia.html> Acesso em out/2016).

1. Qual a principal causa do acidente, segundo o texto?

*2. De acordo com as discussões realizadas nas últimas aulas, o que poderia ter sido feito para detectar esta falha<sup>31</sup>?*

#### VISITAS TÉCNICAS

Nós iremos participar de duas visitas técnicas que foram organizadas com o objetivo de proporcionar a vocês uma formação mais ampla, permitindo observar o ambiente real de uma empresa em pleno funcionamento, além de ser possível verificar sua dinâmica, organização e todos os fatores teóricos implícitos nela.

Para um melhor aproveitamento das visitas técnica, é fundamental que vocês façam uma pesquisa prévia sobre as empresas que serão visitadas (NUCLEP e Centro de Informação de Itaorna), considerando aspectos como sua missão, visão e valores, como uma forma de preparação da visita técnica.

#### CONSIDERAÇÕES DOS ALUNOS

Chegamos a última atividade e agora eu gostaria que vocês, voluntariamente, respondessem à seguinte pergunta:

*O que você considera como sendo o mais importante dentro do aprendeu nas aulas de Física das Radiações?*

Respondam-na em uma folha de papel e me entreguem ao final da aula.

---

<sup>31</sup> Não estamos afirmando que, no caso relatado pela reportagem, não foi realizado algum tipo de ensaio para verificação da integridade estrutural da peça e nem podemos garantir que a realização de um teste por gamagrafia seria o suficiente para evitar a ocorrência do acidente aéreo.



## **ANEXO D**

### **MANUAL DO PROFESSOR**

#### **INTRODUÇÃO**

Este manual é dirigido aos professores que objetivam elaborar novas estratégias para o ensino de Física, especificamente para aqueles que desejam construir uma nova abordagem para o tema Física das Radiações.

Para fins de fundamentação teórica, utilizamos os seguintes referenciais: alfabetização científica, enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e ensino por investigação. O capítulo 2 da dissertação, a qual este guia está associado, trata dos referenciais teóricos que nortearam a elaboração desta proposta didática.

Neste trabalho, serão apresentadas as atividades aplicadas no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow, na unidade descentralizada de Itaguaí, numa turma de segundo ano do curso técnico integrado de Mecânica Industrial.

As atividades foram realizadas, no ano de 2016, no horário regular das aulas de Física, ao longo de 8 encontros, com duração média de duas horas e trinta minutos, sendo que dois destes encontros foram utilizados para a realização de duas visitas técnicas. Devido à organização curricular da turma e por questões de horário da sala disponível, houve dificuldade para agendar no contra turno as atividades.

A turma era composta por 40 alunos e, para as atividades em grupo, foi dividida em 5 grupos de oito alunos, nomeados como grupo 1,2,3,4 e 5, respectivamente.

A escolha desta turma do curso técnico integrado em Mecânica Industrial se justifica pelo aumento do número de empresas que utilizam radiação em seu processo produtivo, conforme levantamento realizado junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) em 2015 e ao fato deste centro educacional estar localizado na região do Distrito Industrial de Itaguaí.

O quadro a seguir resume as atividades propostas para a abordagem do tema Física das Radiações para a turma descrita:

<b>BLOCO</b>	<b>ATIVIDADES PROPOSTAS</b>
I	Exibição de documentário e realização de uma mesa redonda sobre o Acidente Radiológico de Goiânia;
II	Atividades investigativas acerca do tema Física das Radiações;
III	Realização de visitas técnicas;
IV	Aulas expositivas sobre aplicações industriais da radiação gama

Tabela 13 –Quadro resumo das atividades propostas divididas em 4 blocos

Todas as atividades propostas foram pensadas considerando as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e buscando promover a formação de cidadãos críticos capazes de tomar decisões responsáveis em seu dia-a-dia. Acreditamos que este objetivo dificilmente seria alcançado por meio de um ensino baseado na memorização e na resolução de problemas numéricos.

Esperamos que com este trabalho o professor possa desenvolver as suas próprias atividades, inspirados no que mostramos e explicamos aqui.

## **DINÂMICA DA APLICAÇÃO**

A construção do cronograma de atividades foi fortemente influenciada por fatores como: calendário da escola, o número de alunos da turma, disponibilidade de horário dos demais docentes que participaram do projeto e a oferta de dias e horários disponibilizados pelas empresas para as visitas técnicas.

Para cada atividade detalhada a seguir serão explicitados a sua duração e materiais utilizados. A divulgação da duração da atividade tem como objetivo permitir que o professor faça uma previsão para a sua turma tendo como base um grupo de quarenta alunos, porém sabe-se que o perfil dos alunos também deverá influenciar nesta estimativa.

### **ATIVIDADE 1**

A atividade 1 compreende a exibição do documentário “O Pesadelo é Azul”, uma produção brasileira de 2008, dirigida por Ângelo Lima, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=bBydk9-Sg5s>.

O objetivo geral desta atividade é promover a divulgação entre os alunos de como ocorreu o Acidente Radiológico de Goiânia de 1987, bem como de suas consequências imediatas. A realização destas ações foi motivada pela constatação de que poucos são os alunos envolvidos na pesquisa, nascidos em média após o ano de 1999, que já ouviram ou leram alguma notícia sobre este que é considerado um dos maiores acidentes radiológicos urbanos do mundo.

Durante a exibição do documentário foram utilizados gravadores de áudio que estavam espalhados entre os alunos com o objetivo de gravar as falas e possíveis reações dos alunos durante a realização da atividade.

A duração da atividade foi de trinta minutos e foram utilizados os seguintes equipamentos: computador, datashow, caixas de som ligadas ao computador e cinco gravadores de áudio. Uma outra opção é utilizar um aparelho de celular.

Para uma melhor compreensão das circunstâncias envolvidas no Acidente Radiológico de Goiânia de 1987, sugerimos assistir aos vídeos disponíveis no site <http://memoriaglobo.globo.com/programas/jornalismo/coberturas/acidente-radioativo-em-goiania-cesio-137/acidente-radioativo-em-goiania-cesio-137-videos.htm>.

Outra sugestão seria a exibição para os alunos do filme “Césio 137-O Pesadelo de Goiânia”, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=VFj9RqaKISo>. Trata-se de uma produção de 1990, escrita e dirigida por Roberto Pires, cujo roteiro foi baseado nos depoimentos das vítimas do acidente.

## **ATIVIDADE 2**

A segunda atividade configura-se como uma mesa redonda, na qual sugere-se a participação de professores das disciplinas Biologia, Química e Sociologia, afim de promover a discussão dos aspectos sociais, ambientais, políticos e econômicos relativos ao acidente radiológico de Goiânia de 1987. A realização desta mesa redonda tem como objetivo permitir que cada professor participante apresente uma análise do acidente segundo aspectos de sua disciplina, o que se justifica pela necessidade de considerar diferentes elementos para que seja possível compreender o todo.

Durante a realização da mesa redonda, cuja duração foi de sessenta minutos é indicada a utilização de gravadores de áudio que devem estar espalhados entre os alunos

e os professores com o objetivo de gravar as falas e possíveis reações durante a realização da atividade.

A inclusão de professores de outras disciplinas na realização da mesa redonda certamente permitirá o enriquecimento da atividade, uma vez que outros aspectos envolvidos poderão ser melhor discutidos, promovendo um maior esclarecimento acerca do problema relatado durante a discussão.

### **ATIVIDADE 3**

Nesta atividade, a turma deve ser dividida em grupos e cada um deve ser orientado a promover entre os seus integrantes uma discussão sobre o acidente e suas consequências. Ao fim do debate, cada equipe deve elaborar uma pergunta de seu interesse sobre o acidente e entregar a seu professor.

O objetivo desta atividade é fazer um levantamento de possíveis questões de interesse dos alunos acerca do acidente que podem não ter sido, por algum motivo, esclarecidas ao longo do debate anterior, sugerido na atividade 2.

Cada grupo deverá receber a resposta a sua questão, elaborada pelo professor ou por alguém de sua escolha. Sugere-se, no momento da entrega destas respostas aos grupos, a realização de uma leitura, para toda a turma, das questões e de suas respectivas respostas. O objetivo desta ação é promover o compartilhamento das dúvidas dos grupos para toda a turma e também do esclarecimento pertinente para cada uma das questões levantadas.

No caso específico da atividade aplicada, as questões elaboradas pelos alunos foram levadas ao professor Odair Dias Gonçalves, lotado no Instituto de Física da UFRJ e ao professor Luiz Pinguelli Rosa, lotado na COPPE-UFRJ. Ambos concordaram em participar de uma atividade de entrevista baseada nessas questões. A escolha por eles

justifica-se por serem profissionais formados em Física, cujas ações deram contribuições importantes para as medidas que foram tomadas após a ocorrência do acidente.


Durante a discussão de cada grupo e a elaboração das perguntas sugere-se o uso de gravadores de áudio espalhados entre os alunos com o objetivo de gravar as falas e possíveis reações dos alunos durante a realização da atividade.

A duração da atividade aplicada foi de quinze minutos e foram utilizados cinco gravadores de áudio dispostos entre os alunos.


#### **ATIVIDADE 4**

A quarta atividade sugerida corresponde a aplicação do questionário mostrado a seguir com o objetivo fazer um levantamento das concepções dos alunos acerca do tema radiação e de como eles observam a sua presença na natureza e no seu cotidiano. Durante a aplicação do questionário foram utilizados gravadores de áudio que estavam espalhados entre os alunos com o objetivo de gravar suas falas e possíveis reações durante a realização da atividade. Este questionário foi aplicado no segundo encontro e foi anterior a realização da primeira aula em que foram apresentados conteúdos teóricos de Física das Radiações.


1. Considerando as imagens abaixo, assinale a alternativa que representa material radioativo:




1



2



3



4

a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

2. Você acha que é possível que as radiações possam ser emitidas por fontes naturais?  
a) SIM b) NAO

3. Você considera que os alimentos irradiados são prejudiciais à saúde?  
a) SIM b) NAO

4. (PERGUNTA A SER RESPONDIDA SOMENTE POR QUEM MARCOU A OPÇÃO SIM NA QUESTÃO ANTERIOR)  
Marque a opção que justifica o porquê de você acreditar que alimentos irradiados são prejudiciais à saúde.  
a) O alimento irradiado perde suas características originais, tornando-se alimentos radioativos.  
b) A ingestão de alimentos irradiados faz com que os indivíduos que dele se alimentam também se tornem radioativos.  
c) Outra justificativa. Qual? -

5. Ao ouvir falar sobre radiação, qual a primeira situação que lhe vem à mente?  
a) Bombas  
b) Diagnóstico e tratamento médico  
c) Algo que pode ser usado na geração de energia  
d) Controle de qualidade na indústria  
e) Algo exclusivamente prejudicial à saúde

6. Em (qual) quais locais/ambientes, você acha que está exposto a alguma forma de radiação?  
a) Um hospital  
b) Um avião localizado a 8km de altitude  
c) Uma usina nuclear  
d) Uma praia  
e) Uma escola

Figura 67–Questionário sobre conceitos básicos envolvendo radiação. (Fonte: Autoria própria)

A duração da atividade aplicada foi de quinze minutos e foram utilizados cinco gravadores de áudio dispostos entre os alunos.

## ATIVIDADE 5

Nesta atividade, a turma deve ser dividida em grupos e cada grupo deverá receber um medidor de radiação (contador Geiger), juntamente com breves instruções de como manuseá-lo. Durante a atividade aplicada foi utilizado um modelo, semelhante ao mostrado na figura. A escolha por este modelo se deu apenas por ele está disponível em um dos laboratórios do CEFET/RJ UneD Itaguaí. Com este instrumento, os grupos devem ser orientados a procurar, dentro do espaço da escola ou em outro espaço de escolha do professor, materiais que emitam radiação. Cada grupo também deve receber um gravador de áudio que será utilizado para gravar as falas do grupo durante o desenvolvimento desta atividade.



Figura 68-Imagem do modelo de contador Geiger utilizado durante a atividade aplicada.

(Fonte: <http://www.lktechnology.com.br/>)

Consideramos importante destacar que outros modelos de contador Geiger também poderiam ser utilizados, ficando a critério do professor definir qual modelo utilizar de acordo com sua preferência ou disponibilidade para uso. Sugerimos também que o professor explique aos alunos sobre como funciona um contador Geiger. Para maiores informações sobre seu funcionamento, é indicada a leitura do artigo “Como funciona o contador Geiger? ”, disponível em <<http://radiologia.blog.br>> , consultado em 10/12/2016.

O objetivo principal desta dinâmica é situar o estudante na questão da radioatividade natural, ou seja, fazer surgir a percepção de que materiais podem naturalmente emitir radiação, sem que seja necessário qualquer tipo de intervenção humana.

Uma opção ao uso deste modelo de contador Geiger é a utilização de um aplicativo para celular desenvolvido pelo Centro de Pesquisa Helmholtz, situado em Munique, Alemanha. Para maiores informações sobre este aplicativo, sugere-se a leitura da



seguinte reportagem <http://meiobit.com/96740/contador-geiger-no-celular-tem-uma-app-para-isso/>.

Após o intervalo de tempo destinado pelo professor à atividade, cada grupo deverá retornar à sala de aula e expor para a turma quais os objetos encontrados que emitiam radiação.

Uma possibilidade para melhor explorar esta atividade é a realização de uma discussão com os alunos sobre as possíveis hipóteses associadas a emissão de radiação para os materiais encontrados pelos alunos.

A duração da atividade aplicada foi de trinta minutos e foram utilizados cinco gravadores de áudio e cinco aparelhos do modelo do medidor Geiger mostrado na figura acima.

Neste item, recomenda-se uma análise mais detalhada dos dados coletados, por meio da gravação e transcrição das falas, para isso podemos indicar a utilização dos Indicadores de Alfabetização Científica (AC), apresentados por Sasseron e Carvalho (2008), que fornecem evidências de que a alfabetização científica está se desenvolvendo quando os alunos participam de uma atividade investigativa.

De acordo com Sasseron e Carvalho (2008, p.338):

Nossos **indicadores** têm a função de nos mostrar algumas destrezas que devem ser trabalhadas quando se deseja colocar a AC em processo de construção entre os alunos. Estes indicadores são algumas competências próprias das ciências e do fazer científico: competências comuns desenvolvidas e utilizadas para a resolução, discussão e divulgação de problemas em quaisquer das Ciências quando se dá a busca por relações entre o que se vê do problema investigado e as construções mentais que levem ao entendimento dele. Assim sendo, reforçamos nossa ideia de que o ensino de ciências deva ocorrer por meio de atividades abertas e investigativas nas quais os alunos desempenhem o papel de pesquisadores.

Os indicadores dividem-se em três grupos: **indicadores para trabalhar com os dados de uma investigação, indicadores para estruturação do pensamento e indicadores para procura do entendimento da situação analisada.** A seguir são apresentados os indicadores com a suas subdivisões em categorias e o resumo das principais ideias apontadas pelas autoras citadas acima.

<b>Indicadores da Alfabetização Científica</b>		
<b>Indicadores para trabalhar com os dados de uma investigação</b>	<i>seriação de informações</i>	Indicador que não necessariamente prevê uma ordem a ser estabelecida, mas pode ser um rol de dados, uma lista de dados trabalhados.
	<i>organização de informações</i>	ocorre nos momentos em que se discute sobre o modo como um trabalho foi realizado.
	<i>classificação de informações</i>	ocorre quando se busca conferir hierarquia às informações obtidas.
<b>Indicadores para estruturação do pensamento</b>	<i>raciocínio lógico</i>	compreende o modo como as idéias são desenvolvidas e apresentadas e está diretamente relacionada à forma como o pensamento é exposto;
	<i>raciocínio proporcional</i>	mostra como se estrutura o pensamento, e refere-se também à maneira como variáveis têm relações entre si, ilustrando a interdependência que pode existir entre elas.
<b>Indicadores para entendimento da situação analisada</b>	<i>levantamento de hipóteses</i>	aponta instantes em que são alçadas suposições acerca de certo tema (pode surgir da forma de uma afirmação ou de uma pergunta).
	<i>teste de hipóteses</i>	colocar à prova as suposições anteriormente levantadas (pode ocorrer tanto diante da manipulação direta de objetos quanto no nível das idéias).
	<i>Justificativa</i>	quando em uma afirmação qualquer proferida lança mão de uma garantia para o que é proposto.
	<i>Previsão</i>	é explicitado quando se afirma uma ação e/ou fenômeno que sucede associado a certos acontecimentos
	<i>Explicação</i>	quando se busca relacionar informações e hipóteses já levantadas. (Estão relacionadas à justificativa para o problema).

Figura 69- Indicadores de Alfabetização Científica. Dados extraídos da Sasseron e Carvalho (2008 apud Penha, Carvalho e Vianna 2009, p.4)

## ATIVIDADE 6

Para esta atividade, indicamos que seja iniciada com exibição dos cinco primeiros minutos do vídeo “Salvador, o hipocondríaco”, um recurso educacional produzido pela

Unicamp em 2012 e disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=EfbqbizUxiM>. Em seguida, sugere-se a proposição de uma discussão sobre como seria a forma do gráfico que representaria a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia-vida.

Trata-se de um vídeo de 12 minutos em que o personagem Salvador é um hipocondríaco que lê a bula do remédio que vai tomar para alguma dor e se depara com algumas informações curiosas. Com a ajuda de seu anjo da guarda, ele entende o significado dos termos da bula e aprende algumas lições. Os conteúdos abordados no vídeo são função exponencial, meia-vida, concentração de remédios e decaimento radioativo, por isso sugere-se que esta atividade seja desenvolvida em conjunto com o professor de Matemática e de Biologia para um maior aprofundamento dos tópicos abordados.



Figura 70-Vídeo “Salvador, o hipocondríaco”.

(Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=EfbqbizUxiM>)

Após a exibição do vídeo, cabe explicar aos alunos sobre a diferença entre meia vida biológica e meia vida física.

Em seguida, os alunos, os alunos deverão ser divididos em grupos, receberão um kit contendo os materiais discriminados a seguir e serão orientados a utilizá-los para construir o gráfico em questão.

- 5 garrafas plásticas de 300 ml vazias;
- 2 litros de água com corante vermelho;
- 2 folhas de papel milimetrado;
- Uma régua

O objetivo desta atividade é uma investigação, a partir da manipulação de um conjunto de materiais de baixo custo, que leve o aluno à construção do gráfico que representa a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia-vida. Durante o seu desenvolvimento, é indicada a utilização um gravador para cada grupo com objetivo de gravar as falas e possíveis reações dos alunos.

Após a construção do gráfico pelos grupos, poderá ser exibida a parte final do vídeo, para fins de concluir o processo de ensino –aprendizagem já iniciado.

A duração da atividade aplicada foi de trinta minutos e foram utilizados cinco gravadores de áudio, computador, datashow e cinco kits, cujos componentes estão dispostos acima.

A seguir são mostradas duas imagens captadas durante a atividade aplicada em 2016 e sua exposição visam permitir que o professor que acessar este material possa perceber como um grupo, formado por 5 alunos, realizou esta dinâmica.



Figura 71-Manipulação dos materiais durante a atividade.

(Fonte: Autoria própria)



Figura 72-Esboço do gráfico produzido pelos alunos.

(Fonte: Autoria própria)

Após a construção do gráfico pelos grupos, seria interessante a exibição da parte final do vídeo “Salvador, o hipocondríaco”, onde é feita uma abordagem sobre o gráfico da função exponencial. Em seguida, recomenda-se que o professor peça que um

integrante de cada grupo explique para a turma quais os procedimentos utilizados, permitindo um compartilhamento das estratégias encontradas.

A exibição deste vídeo busca promover discussões sobre o conceito de meia vida de fármacos e a forma como ocorre o decaimento destas substâncias no organismo. Debates desta natureza podem ser usados para destacar a importância de se tomar os medicamentos nos intervalos prescritos pelos médicos e para alertar sobre os perigos da automedicação, sendo, portanto, uma atividade que revela fortemente a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), já que o problema se origina num membro da sociedade num contexto associado a questões do cotidiano do aluno.

## **ATIVIDADE 7**

Esta atividade corresponde a aplicação de três questões de vestibular<sup>32</sup> envolvendo assuntos abordados dentro do tema de Física das Radiações.

A aplicação destas questões justifica-se pela necessidade de observar como os alunos que tiveram contato com alguns temas da Física das Radiações a partir de uma sequência de atividades investigativas responderiam a questões do ensino tradicional, como são as questões de vestibular.

Deve-se destacar que uma das maiores demandas apontadas pelos meus alunos durante as aulas de Física das Radiações estava associada a questionamentos se este tema apresentava uma recorrência nas provas de vestibular e do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), revelando também uma preocupação com relação às provas de

---

<sup>32</sup> Foram aplicadas ao todo dez questões de vestibular que abordavam o tema Física das Radiações, porém só foi realizada a estatística das repostas para as três questões que serão apresentadas a seguir. Elas foram escolhidas por tratarem de um assunto bastante recorrente dentro das questões consideradas: meia-vida.

vestibular para fins de conseguir o acesso ao ensino superior. Não eram incomuns perguntas como “Cai questão disso na prova da Uerj?” ou “Isso é cobrado no ENEM?”.

As questões utilizadas durante a nossa prática estão mostradas a seguir, entretanto o professor poderá utilizar as questões que julgar mais pertinentes a esta prática. Para fins de consulta de outras questões sobre este tema, indicamos o acesso ao seguinte site <http://tudodeconcursosevestibulares.blogspot.com.br/2014/01/questoes-resolvidas-de-vestibular-sobre.html>.

Para fins de divulgação dos resultados obtidos durante a atividade aplicada também será exibida a seguir a análise estatística realizada para cada questão.

1ª questão:

ENEM 2012 • QUESTÃO 84

A falta de conhecimento em relação ao que vem a ser um material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar o medo e a tomada de decisões equivocadas, como a apresentada no exemplo a seguir. “Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico por este portar um certificado de esterilização por irradiação.”

Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007 (adaptado).

**A decisão tomada pela companhia é equivocada, pois**

- A o material é incapaz de acumular radiação, não se tornando radioativo por ter sido irradiado.
- B a utilização de uma embalagem é suficiente para bloquear a radiação emitida pelo material.
- C a contaminação radioativa do material não se prolifera da mesma forma que as infecções por microrganismos.
- D o material irradiado emite radiação de intensidade abaixo daquela que ofereceria risco à saúde.
- E o intervalo de tempo após a esterilização é suficiente para que o material não emita mais radiação.

Figura 73-Questão 84 do ENEM 2012 da prova BRANCA.

(Fonte: <http://educacao.globo.com/provas/enem-2012/questoes/84.html> )

A tabela a seguir apresenta os dados levantados a partir das opções marcadas pelos alunos da turma na qual a atividade foi desenvolvida.

Opção A	Opção B	Opção C	Opção D	Opção E	Em branco
75%	10%	0%	5%	10%	0%

Tabela 14-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada.

Considerando que a opção correta é a letra A, observa-se que a maior parte dos alunos acertou a questão, porém também vemos que alguns alunos, embora em número reduzido, não compreende o conceito de irradiação.

2ª questão:

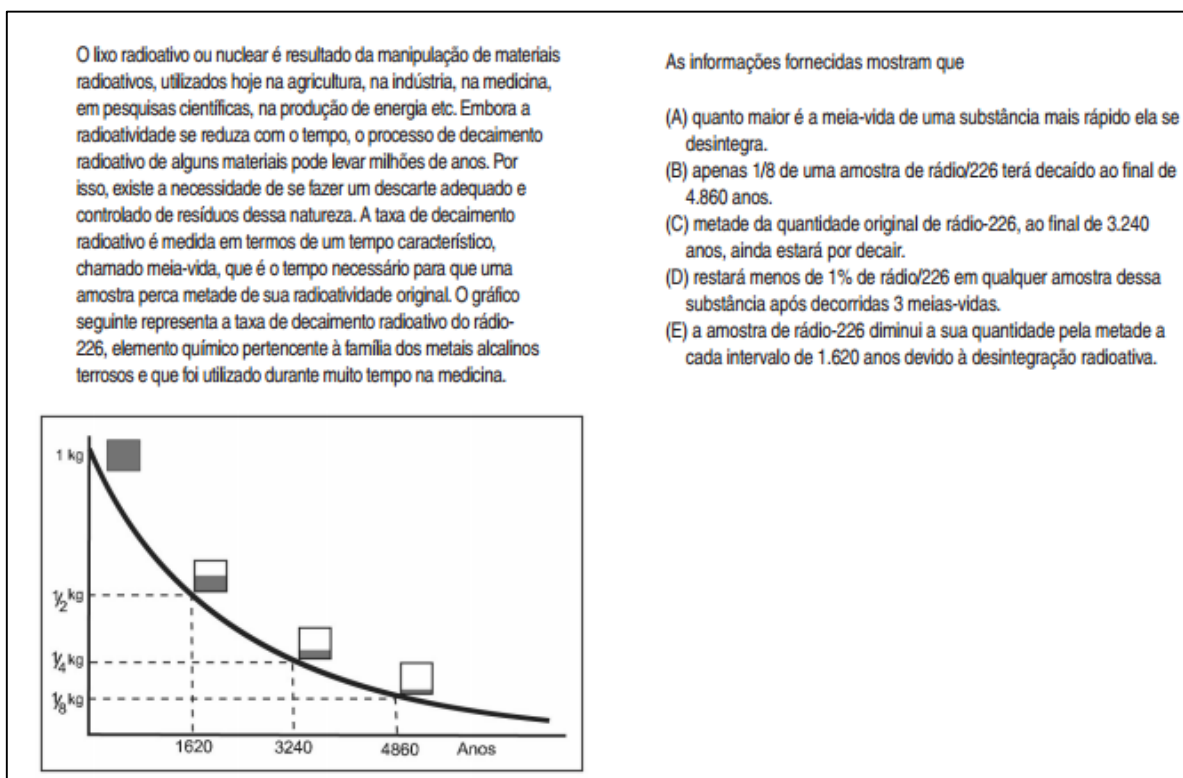


Figura 74- Questão 10 do ENEM 2009 da prova cancelada.

(Fonte: <http://www.conteudoseducar.com.br/conteudos/arquivos/3643.pdf>)

A tabela a seguir apresenta os dados levantados a partir das opções marcadas pelos alunos.



Opção A	Opção B	Opção C	Opção D	Opção E	Em branco
5%	10%	5%	10%	65%	5%

Tabela 15-Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada.

Considerando que a opção correta é a letra E, pode-se concluir que a maior parte dos alunos acertou a questão, porém observa-se também que 35 % dos alunos da turma não dominam o conceito de meia-vida e não sabe fazer a leitura dos dados de um gráfico.

Um comentário interessante foi feito por um aluno que afirmava ser inacreditável que uma questão do ENEM contivesse uma explicação detalhada para um conceito chave do exercício como é o de meia vida para esta questão.

3ª questão:

questão  
**24**

Uma das consequências do acidente nuclear ocorrido no Japão em março de 2011 foi o vazamento de isótopos radioativos que podem aumentar a incidência de certos tumores glandulares. Para minimizar essa probabilidade, foram prescritas pastilhas de iodeto de potássio à população mais atingida pela radiação.

A meia-vida é o parâmetro que indica o tempo necessário para que a massa de uma certa quantidade de radioisótopos se reduza à metade de seu valor.

Considere uma amostra de  $^{133}_{53}\text{I}$ , produzido no acidente nuclear, com massa igual a 2 g e meia-vida de 20 h.

Após 100 horas, a massa dessa amostra, em miligramas, será cerca de:

(A) 62,5  
(B) 125  
(C) 250  
(D) 500

Figura 75-Questão 24 do 1º Exame de Qualificação do vestibular da Uerj do ano de 2012.

(Fonte: [http://www.vestibular.uerj.br/portal\\_vestibular\\_uerj/arquivos/arquivos2012/](http://www.vestibular.uerj.br/portal_vestibular_uerj/arquivos/arquivos2012/))

A tabela a seguir apresenta os dados levantados a partir das opções marcadas pelos alunos durante a atividade aplicada:

Opção A	Opção B	Opção C	Opção D	Em branco
80%	10%	5%	0%	5%

Tabela 16- Percentuais de opções marcadas pelos alunos para a questão analisada.

Considerando que o gabarito é a letra A, verifica-se que a maioria dos alunos participantes assinalou a opção correta, todavia podemos observar que 20 % dos alunos analisados não sabem resolver problemas que envolvam função exponencial e suas propriedades.

A duração da atividade aplicada foi de vinte minutos e observou-se forte engajamento dos alunos que promoveram discussões entre seus colegas durante a resolução das questões propostas.

## ATIVIDADE 8

Nesta atividade, objetiva-se promover uma discussão envolvendo os conceitos de meia vida física e meia vida biológica.

Para isso, sugere-se o uso de uma bula do medicamento amoxicilina (ou qualquer outro de livre escolha) para que o aluno possa ter acesso ao valor da meia vida biológica deste fármaco.

A partir daí, é sugerido que o professor faça a seguinte pergunta à turma: Como vimos no documentário “O Pesadelo é Azul”, algumas pessoas foram contaminadas internamente com o cézio-137, cuja meia vida é de 30 anos, então podemos dizer que são necessários 30 anos para que metade da quantidade inicial de cézio-137 seja eliminado do organismo destas pessoas? Ou seja, o valor associado a meia vida é o mesmo para situações dentro e fora de um organismo?

## ATIVIDADE 9

Segundo Villas Boas (2005), o controle de qualidade nas empresas se faz muito importante, pois é por meio dele que se conhece se os produtos estão dentro dos padrões exigidos pelo mercado ou não. Com a globalização e o aumento de competitividade entre as empresas, é preciso que as empresas tenham um rígido controle de qualidade caso queiram ter um produto competitivo no mercado.

Dentro deste quadro, uma ferramenta importante é a ISO 9000 que estabelece um conjunto de normas e padrões fundamentais para o controle de qualidade.

Pensando neste contexto, recomenda-se que esta atividade seja iniciada com a promoção de um debate entre os alunos sobre como eles observam o conceito de qualidade de um produto. Deseja-se, a partir desta discussão, identificar quais os elementos que os estudantes consideram na hora de avaliar um produto em termos de sua qualidade.

Deve-se destacar que esta atividade não tem como objetivo a abordagem de conteúdos da Física e foi desenvolvida apenas com a intenção de apresentar o conceito de qualidade e sua relação com a Organização Internacional para a Padronização (ISO), aspectos importantes de dentro do campo industrial e, portanto, relevantes para o profissional técnico em mecânica que atua nesta área.

Encerrada a discussão, deverão ser entregues três canetas diferentes à turma e pedir-se-á aos estudantes que discutam e tentem encontrar respostas a duas perguntas reproduzidas a seguir:

1. *Na sua opinião, qual caneta tem mais qualidade?*

2. Qual critério que você utilizou para dimensionar a qualidade das canetas?

3. A sua decisão seria influenciada caso a embalagem de uma das canetas informasse sobre certificação da série ISO 9000? Justifique sua resposta.



Figura 76- Canetas analisadas pelos alunos.  
(Fonte: Autoria própria)

O produto escolhido foi caneta em função da grande disponibilidade de variedade e da familiarização dos estudantes com o produto, porém poderia ser um outro produto escolhido a critério do professor que aplicará a atividade.

Em seguida, cada aluno deverá receber o seguinte texto para leitura e discussão. O trecho foi adaptado de um artigo disponível no site do INMETRO, trata sobre o real significado da certificação da série ISO 9000.

*[...]Para que se possa, objetivamente, avaliar o significado da certificação do sistema de Gestão da Qualidade de empresas, segundo as normas da série ISO 9000, faz-se necessário compreender os antecedentes históricos que deram origem a essa sigla, hoje mundialmente conhecida. No final dos anos 50, às voltas com a guerra fria e com a corrida espacial, as forças armadas americanas verificaram que, para assegurar o desempenho do complexo industrial-militar, era fundamental qualificar seus fornecedores tendo em vista a confiabilidade de seus produtos e serviços. Assim, foi elaborada uma norma, a "Military Standard", para avaliar o sistema de controle da qualidade de seus fornecedores. Com esse mesmo objetivo, foram desenvolvidas especificações para a área nuclear, pela Agência Internacional de Energia Atômica. Esse movimento se disseminou por vários outros setores da economia, de modo que, na década de 70, a qualificação de fornecedores era, em nível mundial, uma atividade desenvolvida em*

um ponderável número de grandes empresas e em grandes projetos. No Brasil, a partir de meados da década de 70, as estatais brasileiras fizeram um grande esforço de capacitação e qualificação de seus fornecedores. O Programa Nuclear Brasileiro foi o pioneiro nesse esforço de avaliação de fornecedores pela ótica da qualidade, sendo seguido pela Petrobras e outras estatais. Cabe ressaltar que as exigências feitas nesse esforço nacional eram idênticas às internacionais. Assinale-se também as iniciativas bem-sucedidas de algumas empresas privadas exportadoras que se adaptaram aos padrões de qualidade exigidos pelos mercados dos países desenvolvidos.

Em meados da década de 80, a Internacional Organization for Standardization (ISO) iniciou a elaboração do que se chamou normas sistêmicas para a qualidade. Essas normas são genéricas, não se prendem a um produto ou a um setor em particular, mas tratam da avaliação, sob a ótica da gestão da qualidade, do processo produtivo como um todo, qualquer que seja ele. Essas normas foram denominadas série ISO 9000.

O sucesso dessas normas resultou fundamentalmente de dois fatores. Em primeiro lugar, o movimento de globalização da economia, que levou à constituição de produtos mundiais, tanto no que se refere à utilização de componentes oriundos dos mais variados mercados, como quanto ao uso dos mesmos. Portanto, tornou-se extremamente importante a existência de uma marca que permitisse reconhecer que o fornecedor tem seu processo de produção minimamente controlado. Como segundo fator contributivo, a qualidade de avaliações feitas por compradores em seus fornecedores, utilizando-se de especificações diversas e em lugares cada vez mais distantes, tornou-se muito onerosa. Assim, mostrou-se altamente conveniente uma norma reconhecida mundialmente que permitisse a avaliação dos fornecedores por entidades independentes da relação contratual. Daí o sucesso do certificado ISO 9000. A certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade ISO 9000 não pode ser confundida com a certificação de produto. A certificação de produto é o reconhecimento, através de uma marca ou selo, de que um produto está em conformidade com os requisitos especificados em normas ou regulamentos técnicos[...]

(Fonte: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/iso9000.asp> > Acesso em set/2016).

Após a leitura do texto, deverá ser solicitado que cada aluno do grupo responda às questões apresentadas a seguir:

1. Baseado no texto anterior e nas discussões sobre qualidade já realizadas, é possível garantir a qualidade dos produtos que são produzidos por empresas que tem o certificado ISO 9000? Justifique sua resposta.

*2. Você já teve acesso a alguma propaganda de empresas certificadas que induz o consumidor a concluir que o produto é que é o elemento certificado? Em caso afirmativo, comente sobre como era o anúncio.*

Durante o desenvolvimento desta dinâmica, aconselha-se o uso de um gravador para cada grupo com objetivo de gravar as falas e possíveis reações dos alunos.

A duração da atividade aplicada foi de trinta minutos e foram utilizados gravadores de áudio.

Cabe lembrar que para os casos envolvendo o uso de radiação na indústria, os padrões não serão estabelecidos pelo INMETRO, já que, para estas situações, existe uma legislação específica que estabelece normas e procedimentos a serem cumpridos e que serão estabelecidos e fiscalizados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Outra atividade interessante, para fins de debater questões envolvendo a certificação ISO 9001 e seus possíveis usos pelo mercado de vendas de produtos e serviços, é pedir que os alunos façam uma análise sobre a charge apresentada a seguir.



Figura 77-Charge sobre uma prática realizada pelo mercado de vendas envolvendo o uso da certificação ISO 9001.

(Fonte: <<http://www.gsp.org.br/biblioteca/divulgando.shtml>> Acesso jan/2017)

## ATIVIDADE 10

A atividade 10 é uma proposta de questão aberta mediada pela leitura e discussão de um texto retirado de uma revista científica nacional. O texto, apresentado a seguir, é um recorte da Revista Brasil Nuclear (ano 9, nº 25, Jun-Ago/2002) e sua leitura deve ser seguida de uma discussão em grupo que objetiva encontrar respostas para três perguntas incluídas ao final do material recebido pelo estudante.

O principal objetivo da atividade é que o aluno compreenda que uma possível aplicação de fontes radioativas é a sua utilização em processos industriais para fins de controle de qualidade.

### Fontes radioativas garantem a qualidade dos processos industriais

A indústria é uma das maiores usuárias das técnicas nucleares, respondendo por 31% das licenças para utilização de fontes radioativas. Elas são empregadas, principalmente, para a melhoria da qualidade dos processos dos mais diversos setores industriais como o de bebidas, papel e celulose, siderúrgicas, indústrias automobilística, naval e aeroviária, e o setor petrolífero. As principais aplicações são na medição de espessuras e de fluxos, e no controle da qualidade de junções de peças metálicas.

Segundo Eduardo Mendonça, coordenador geral de Licenciamento e Controle da Comissão Nacional de Energia Nuclear – Cnen, as principais fontes utilizadas são o Cobalto 60, o Césio 137, o Amerício 241, o Iridio 192 e, mais raramente, o Estrôncio e o Trício.

Ricardo Brito, chefe da divisão de Instalações Radioativas da Cnen, ressalta que a utilização das fontes radioativas permite às indústrias alcançar os rígidos parâmetros exigidos pelo mercado externo e agregar mais qualidade aos produtos. Ele cita alguns exemplos. "Na indústria de papel, que opera com medidas padrão de gramatura, uma forma de garantir que todas as folhas tenham a mesma gramatura, para atender às exigências do mercado mundial, é a utilização de técnicas nucleares. Na indústria de bebidas, as fontes radioativas vêm sendo utilizadas para controle de enchimento de vasilhames", informa.

Outra importante aplicação das técnicas nucleares na indústria é a irradiação. Ela é usada, por exemplo, para aumentar a durabilidade de produtos como os fios e cabos elétricos ou para esterilizar produtos médico-hospitalares em empresas como a Johnson&Johnson (ver Brasil Nuclear 17). A irradiação de cabos foi introduzida no país há 20 anos. Somente no ano passado, o Ipen, que presta esse serviço para inúmeras empresas, irradiou 12 mil quilômetros de cabos. A técnica se disseminou a ponto de muitos fabricantes terem investido na aquisição de aceleradores, para irradiar seus produtos in-house.

Figura 78- Texto sobre fontes radioativas, retirado da Revista Brasil Nuclear (ano 9, nº 25, Jun-Ago/2002).

Ao final do texto são apresentadas as três perguntas que os alunos devem responder por escrito, findas a leitura e a discussão.

*1. Se você fosse convidado para trabalhar em uma empresa que utiliza radiação em seu processo produtivo, você aceitaria esta proposta de trabalho?*

*a. Caso afirmativo, por quê?*

*b. Caso negativo, por quê?*

*2. Quais as vantagens, na sua opinião, do uso de radiação em indústrias?*



### *3. Quais as desvantagens, na sua opinião, do uso de radiação em indústrias?*

Durante o desenvolvimento desta atividade, aconselha-se o uso de um gravador para cada grupo com objetivo de gravar as falas e possíveis reações dos alunos.

A duração da atividade aplicada foi de vinte minutos e foram utilizados gravadores de áudio.

Para fins de enriquecimento da discussão sobre o tema aplicações industriais da Física das Radiações, recomenda-se a leitura do texto a seguir, parte integrante da dissertação, à qual este guia está vinculado.

#### **Gamagrafia: uma aplicação industrial**

De acordo com Okuno e Yoshimura (2010), as aplicações médicas das radiações ionizantes são inúmeras tanto na área de detecção de doenças como no tratamento delas. Porém, o uso das radiações ionizantes não se restringe ao campo da Medicina, alcançando também o setor industrial. Um exemplo da utilização de radiações ionizantes dentro do contexto industrial refere-se ao uso de fontes radioativas no processo de irradiação de alimentos para fins de sua conservação, seja pela diminuição da contaminação por micro-organismos e da infestação por insetos ou pela inibição de brotamento. É importante lembrar que, por tratar-se de um processo de irradiação, não há contato do alimento com o material radiativo e desta forma não há possibilidade de contaminação radioativa do alimento. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) permite a irradiação de alimentos e determina que as embalagens destes produtos tenham os seguintes dizeres: “ALIMENTO TRATADO PRO PROCESSO DE IRRADIAÇÃO”.

Ainda segundo essas autoras, em várias aplicações industriais é necessário verificar a integridade de materiais, radiografando a peça, sem provocar danos a sua

estrutura (ensaio não destrutivo<sup>33</sup>), o que poderia ser feito utilizando um equipamento de raios-x. Entretanto, em algumas situações não é possível utilizar este aparelho, como por exemplo em seguintes casos:

- Verificar corrosão interna de tubos de um oleoduto;
- Inspeccionar válvulas de tubulações em uso;
- Avaliar fissuras por fadiga dos metais de asas e turbinas de aviões.

Para estas situações e várias outras, em vez de equipamentos de raio-x para obter as imagens necessárias a esse controle de qualidade, pode-se em empregar uma técnica que utiliza fontes radioativas seladas<sup>34</sup> e emisoras de raios gama, chamada de gamagrafia industrial.

Esta técnica tem seu funcionamento baseado em fatores associados ao fato da radiação emitida ter a propriedade de penetrar nos corpos sólidos, interagindo com a matéria e impressionando um filme fotográfico ou gerando imagens que podem ser detectadas através de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação.

---

<sup>33</sup> Trata-se de um tipo de ensaio que não danifica a peça analisada, como por exemplo, a chamada radiografia industrial, na qual se utiliza radiações ionizantes (raios-x e radiação gama) para controle de qualidade na indústria.

<sup>34</sup> São aquelas em que o material radioativo está totalmente encapsulado de uma forma rígida, sem permitir o contato com o exterior.

A capacidade de penetração da radiação em sólidos depende de vários fatores, tais como: comprimento de onda da radiação, tipo de material e espessura do material avaliado.

De acordo com as características das peças avaliadas são utilizados diferentes tipos de fontes. A tabela 17, mostrada a seguir, apresenta informações referentes aos diferentes tipos de fontes radioativas utilizados na indústria.

<b>Fonte</b>	<b>Meia-vida</b>	<b>Energia de Radiação</b>	<b>Faixa de utilização mais efetiva</b>
Cobalto – 60	5,24 anos	1,17 a 1,33 MeV	60 a 150 mm de aço
Írídio – 192	74,4 dias	0,137 a 0,65 MeV	10 a 40 mm de aço
Túlio -170	127 dias	0,084 e 0,54 MeV.	1 a 10 mm de aço
Césio-137	33 anos	0,66 MeV	20 a 80 mm de aço
Selênio – 75	120 dias	0,006 a 0,405 MeV	4 a 30 mm de aço

Tabela 17- Características das fontes radioativas mais utilizadas na indústria.

(Fonte: Andreucci, 2014, p.27)

No campo industrial, o uso dos raios gama apresenta algumas vantagens em relação aos raios-x: podem ser utilizados em locais sem alimentação elétrica, uma vez que o equipamento irradiador não necessita deste tipo de energia elétrica para funcionar, além disso, os equipamentos são menores e mais flexíveis, facilitando sua locomoção e uso.

Durante a realização do teste, parte da radiação emitida pela fonte será absorvida pelo material que está sendo avaliado. A quantidade de radiação que será absorvida

depende do tipo e da espessura do material. Onde existe um vazio ou descontinuidade há menos material para atenuar a radiação. Assim, a quantidade de radiação que atravessa o material não é a mesma em todas as direções.

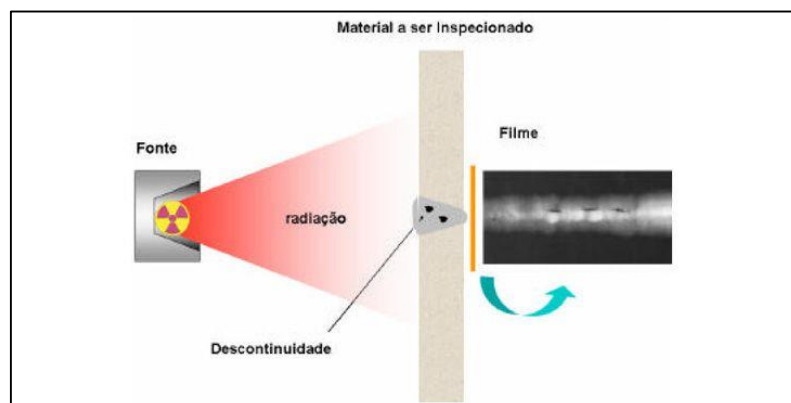


Figura 79 –Representação esquemática de um ensaio não-destrutivo utilizando uma fonte radioativa.

(Fonte:< <http://radiologia.blog.br/>> Acesso em nov/2016).

O equipamento irradiador de raios gama é constituído, conforme é mostrado nas figuras 80 e 81, por três partes básicas: blindagem, mangote e comandos. A blindagem exerce a função de absorver a radiação contínua dos raios, obedecendo às normas internacionais. Geralmente essa blindagem é feita de urânio exaurido ou chumbo, com estrutura externa de aço inoxidável. O mangote é o tubo que conduzirá a fonte radioativa até o ponto aplicação da irradiação para o ensaio. Os comandos permitem o acionamento e controle da fonte, levando-a pelo mangote até o local a ser ensaiado e após o tempo de exposição necessário recolhe-o. Esse comando pode ser hidráulico, pneumático ou, como em sua grande maioria, manual.

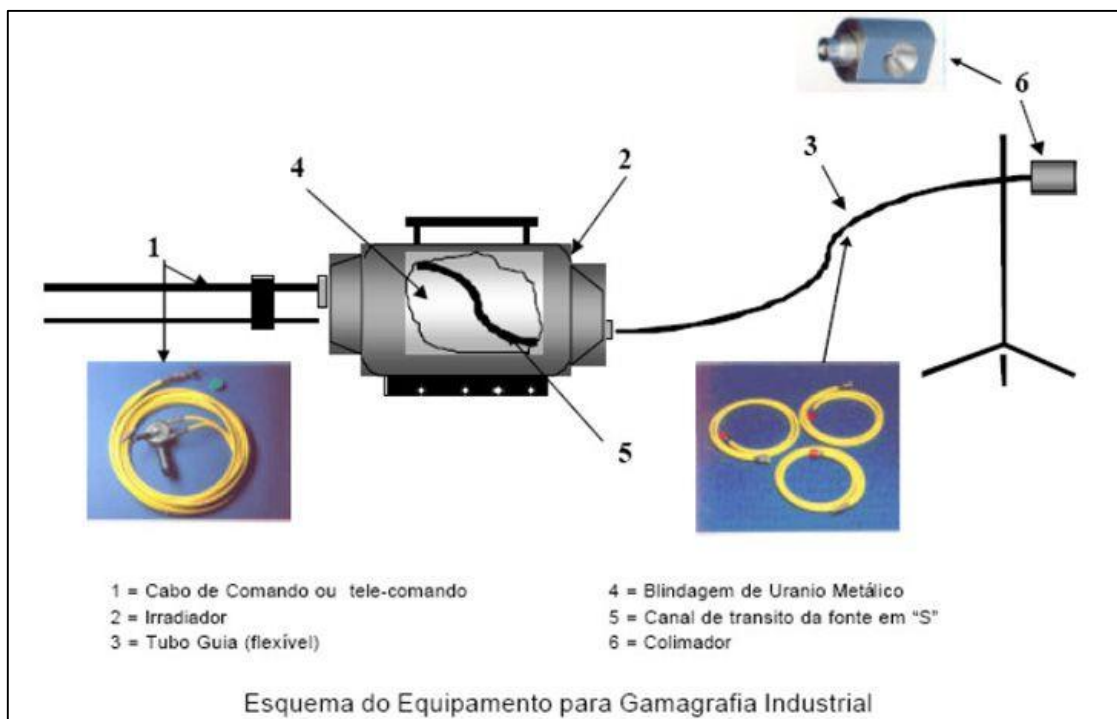


Figura 80-Esquema do equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial.

(Fonte: < <http://radiologia.blog.br/> > Acesso em nov/2016)



Figura 81-Equipamento utilizado em um teste de gamagrafia industrial.

(Fonte: < <http://sievert.in/Radiography.htm> > Acesso em nov/2016).

Para o cálculo do tempo de exposição do filme radiográfico ( $t$ ) é necessário conhecer informações associadas à distância fonte-filme ( $d$ ), à atividade da fonte ( $A$ ), espessura da peça, tipo de filme utilizado e ao fator de exposição ( $FE$ ).

$$t = \frac{FE d^2}{A}$$

A importância de conhecer a atividade da fonte reside no fato de este valor ser utilizado para especificar o tempo de exposição na radiografia de um objeto, conforme mostrado na equação acima, de forma que quanto maior a atividade da fonte, menor o tempo de exposição. No gráfico 10, temos a curva de decaimento do Iridio-192, na qual é possível determinar o percentual de atividade remanescente para diferentes intervalos de tempo.

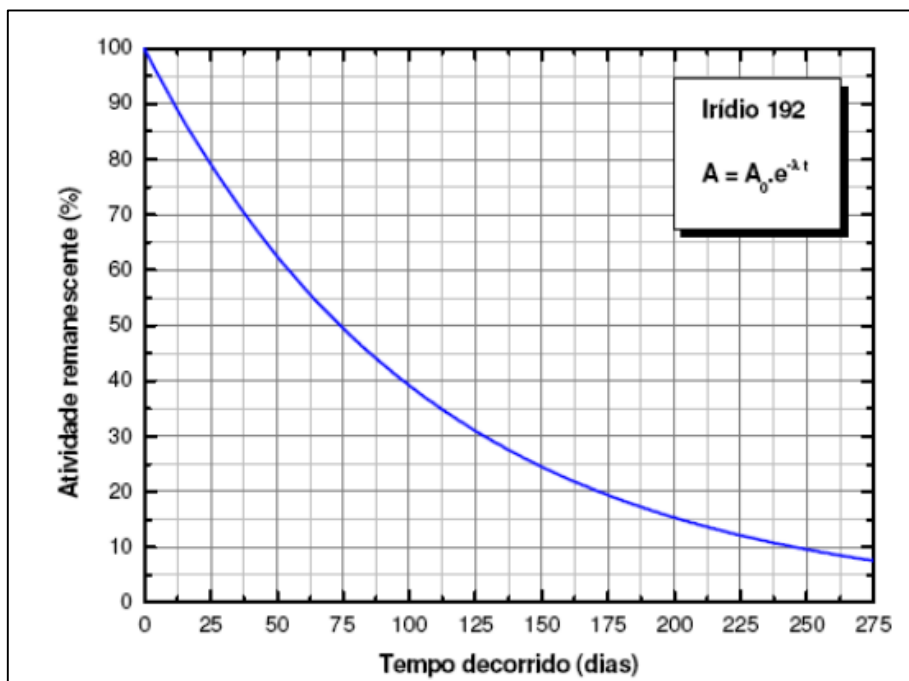


Gráfico 10-Curva de decaimento para o Iridio-192.

(Fonte: <[https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/24444/24444\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/24444/24444_3.PDF)> Acesso em dez/2016).

As informações especificamente relacionadas à fonte radioativa podem ser encontradas num documento chamado Certificado de Fonte Radioativa Selada, fornecido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), conforme a resolução CNEN nº 166, de 16/04/2014.

O gráfico 11 correlaciona o fator de exposição com a espessura da peça de aço carbono para fontes de Selênio-75 e de Irídio-192. Por exemplo, para uma peça de aço carbono de 20 mm de espessura, considerando a fonte (2) de Irídio-192, constatamos que o fator de exposição é 70.

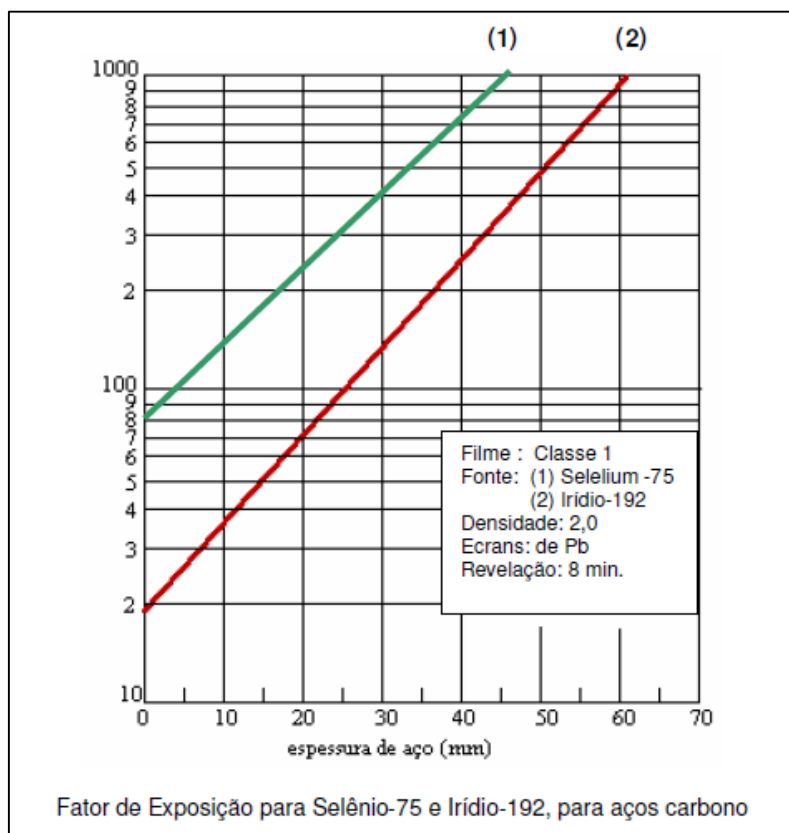


Gráfico 11– Fator de exposição para Selênio-75 e Irídio-192 para aços carbono.

(Fonte: Andreucci,2014, p.79)

As etapas e os preparos envolvidos na realização do teste por gamagrafia, podem ser melhor compreendidos através do vídeo Ensaio de Materiais -ensaio por raios gama

(aula 25), disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=8FUXxG6wOvc>>, acesso em dezembro de 2016.

Existem normas específicas, determinadas pela CNEN, que indicam qual a distância mínima de realização do teste para não gerar riscos para a população e para os trabalhadores. O local deve ser isolado e demarcado com faixas alertando sobre os perigos e sobre a radiação.

Após a realização do teste é necessário realizar a revelação do filme fotográfico que consiste de uma fina chapa de plástico transparente, revestida de um ou ambos os lados com uma emulsão de gelatina, contendo finos sais de prata. Quando expostos à radiação, os cristais de brometo de prata sofrem uma reação que os tornam mais sensíveis ao processo químico de revelação, que faz com que estes cristais adquiram coloração mais escura, proporcionalmente à medida que foram irradiados.

Diferentes tipos de imperfeições podem ser detectados em um teste de gamagrafia: porosidade, trincas, falhas de solda, descontinuidades em peças fundidas ou forjadas. Quando o inspetor interpreta uma radiografia, ele está vendo os detalhes da imagem da peça em termos da quantidade de radiação que passa pelo filme radiográfico revelado. Áreas escuras indicam grande passagem de radiação pelo filme e áreas claras indicam o oposto. Para fazer esta interpretação, o inspetor deverá utilizar um negatoscópio, aparelho em formato de caixa com luminosidade variável e um suporte onde o filme é colocado.



Figura 82-Modelo de negatoscópio utilizado para análise do filme radiográfico produzido. (Fonte:< <http://www.omettoequipamentos.com.br/> >Acesso em nov/2016).



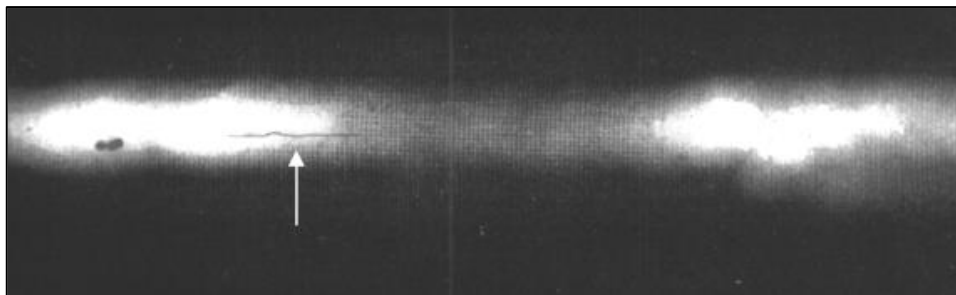


Figura 83 -Seção de uma solda contendo poro e uma trinca longitudinal.

(Fonte: Andreucci,2014, p.96).

Maiores informações sobre gamagrafia industrial podem ser consultadas no material disponível em <https://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>. Acesso em 15/12/2016.

## ATIVIDADE 11

Esta atividade trata-se de uma sugestão de uma questão aberta que propõe uma abordagem interdisciplinar para o acidente de Chernobil<sup>35</sup>, envolvendo as disciplinas Física e Literatura. O principal objetivo é promover uma discussão contexto científico e literário associado ao acidente ocorrido em 1986, realizando análises sobre o conteúdo e forma de um poema, retirado do livro Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear, da escritora bielorrussa Svetlana Aleksievich, ganhadora do Prêmio Nobel de Literatura em 2015.

---

<sup>35</sup> O Acidente de Chernobil ocorreu em 1986 na Usina Nuclear de Chernobil, atual Ucrânia e foi provocado após explosões no quarto reator da usina, o que provocou um grande incêndio e a liberação de radiação para a atmosfera



Figura 84-Livro Vozes de Tchernóbil:a história oral do desastre nuclear.

(Fonte: <http://blogs.acidadeon.com/blogs/livrosemfrescura/files/2016/12/vozes.jpg>)

Este livro reúne os relatos dos sobreviventes do acidente nuclear que ficou conhecido como acidente de Chernobil, ocorrido em 1986, após a ocorrência de explosões em um reator de uma central elétrica nuclear de Chernobil, na cidade de Prip'yát, a 120 quilômetros da atual Ucrânia. Segundo a autora são relatos colhidos ao longo de uma década que trazem à tona os diferentes dramas sofridos por aquela população, destacando também um retrato daquele momento histórico de início da desintegração da União Soviética, sob a liderança de Gorbachev. O livro, foi lançado no Brasil em 2016, foi originalmente publicado em 1997 e chegou a ser proibido na Bielorrússia.

Outro aspecto que poderá ser abordado a partir dos relatos apresentados no livro está associado ao levantamento do contexto histórico da época, permitindo um debate de questões envolvendo a crise na União Soviética, por exemplo. Além das questões científicas envolvidas, é necessário abordar o contexto filosófico, político e cultural da época do acidente.

O texto foi escolhido do livro para análise traz o relato de **Liudmila Ignátienko, mulher do bombeiro Vassíli Ignátienko:**

*“Não sei do que falar... Da morte ou do amor? Ou é a mesma coisa? Do quê?”*

*Estávamos casados havia pouco tempo. Ainda andávamos na rua de mãos dadas, mesmo quando entrávamos nas lojas. Sempre juntos. Eu dizia a ele: “Eu te amo”. Mas ainda não sabia o quanto o amava. Nem imaginava. Vivíamos numa residência da unidade dos bombeiros, onde ele servia. No 2º andar. Ali também moravam três jovens famílias, que compartilhavam a cozinha. Embaixo, no 1º andar, ficavam os carros, os carros vermelhos do corpo de bombeiros. Era esse o trabalho dele. Eu sempre sabia onde ele estava e o que se passava com ele. No meio da noite, ouvi um barulho. Gritos. Olhei à janela. Ele me viu: “Feche a persiana e vá se deitar. Há um incêndio na central. Volto logo.”*

*A explosão, propriamente, eu não vi. Apenas as chamas, que iluminavam tudo, o céu inteiro... Chamas altíssimas, muita fuligem. O calor era terrível. E ele não voltava. A fuligem se devia ao betume queimado, o telhado da central era coberto de asfalto. As pessoas andavam sobre o telhado como se fosse resina, como depois ele me contou. Os colegas apagavam as chamas, enquanto ele rastejava e subia até o reator. Eles chutavam o grafite ardente... Foram para lá sem o equipamento de lona, com as camisas que estavam usando. Não os preveniram, soltaram o aviso de um incêndio comum.*

*Quatro horas... Cinco... Seis... Nós tínhamos combinado de ir à casa dos pais dele às seis, para plantar batatas. Da cidade de Prípiat até a aldeia Sperijie, onde eles viviam, eram 40 quilômetros. Nós íamos lá semear, arar. Era o que meu marido mais gostava de fazer... A mãe dele frequentemente se lembra de que ela e o pai não queriam deixá-lo ir para a cidade, chegaram a construir uma casa nova. Mas ele foi convocado pelo Exército. Serviu em Moscou nas tropas dos bombeiros e quando voltou só queria ser bombeiro. Nada mais. (Silêncio)*

*Às vezes parece que escuto sua voz. Que ele está vivo... Nem as fotografias me tocam tanto quanto a voz dele. Mas ele nunca me chama. Nem em sonhos... Sou eu que chamo meu marido.*

*Sete horas... Às sete me avisaram que ele estava no hospital. Corri até lá, mas havia um cordão de policiais em torno do prédio, ninguém passava. As ambulâncias chegavam e partiam. Os policiais gritavam: “Os carros estão com radiação, não se aproximem.” Eu não era a única, todas as mulheres cujos maridos estavam na central essa noite vieram correndo, todas. Quando vi saltar*

*de um carro uma conhecida que trabalhava como médica naquele hospital, corri e a segurei pelo jaleco: “Me deixe entrar!” “Não posso! Ele está mal. Todos estão mal.”*

*Agarrei-a com força: “Só quero ver o meu marido.” “Está bem”, ela disse. “Vamos. Mas só por quinze, vinte minutos.”*

*Eu o avistei. Estava todo inchado, inflamado. Quase não se viam seus olhos.*

*“Ele precisa de leite. Muito leite!”, ela disse. “Eles devem beber ao menos 3 litros.” “Mas ele não toma leite.” “Agora vai ter que tomar.”*

*Muitos médicos, enfermeiras e, sobretudo, as auxiliares desse hospital, depois de algum tempo, começaram a adoecer. Mais tarde morreriam. Mas na época ninguém sabia disso.*

*Às dez da manhã morreu o técnico Chichenok. Foi o primeiro. No primeiro dia. Logo soubemos de outro que tinha ficado sob os escombros, Valera Khodemtchuk. Não conseguiram retirá-lo, foi emparedado com concreto. Mas ainda não sabíamos que esses seriam apenas os primeiros”.*

(Texto retirado do livro *Vozes de Tchernóbil*, 2016)

Todos os alunos participantes da atividade receberam uma cópia impressa deste texto, sendo que a escolha específica por este relato se justifica por nele ser apresentada a questão da ingestão de leite como forma de tratamento para casos de intoxicação, prática, popularmente, também conhecida entre os brasileiros.

Recomenda-se que esta atividade seja mediada pela leitura do texto apresentado ou por outro texto do livro que seja de interesse do professor, devendo ser seguida de discussões sobre questões científicas, sociais e éticas relacionadas ao acidente de Chernobil, um dos maiores acidentes nucleares vividos até hoje. Um debate interessante entre os alunos deveria envolver uma discussão coletiva sobre aspectos positivos e negativos relacionados ao uso da energia nuclear, considerando fatores de diferentes naturezas como o econômico e o social.

Acredita-se que este tipo de atividade ao estimular o debate acerca de questões sociocientíficas, ao dar voz ao aluno, mostra-se como uma ferramenta eficaz para estimular a capacidade argumentativa dos alunos. Sugere-se, para melhor aproveitamento das potencialidades desta dinâmica, que ela seja desenvolvida em conjunto com professores de Literatura e História.

Durante o desenvolvimento desta atividade, aconselha-se o uso de gravadores com o objetivo de gravar as falas e possíveis reações dos alunos.

A duração da atividade aplicada foi de vinte minutos e foram utilizados gravadores de áudio.

É importante deixar claro que o acidente radiológico de Goiânia e o Acidente de Chernobil apresentam naturezas completamente diferentes e não possuem relação entre si. A opção pela citação destes dois acidentes justifica-se apenas pelo fato de que em ambos ocorreu a liberação de radiação para a atmosfera, trazendo consequências ambientais, econômicas e sociais de forte impacto.

## **ATIVIDADE 12**

Nesta atividade, sugere-se o uso do texto jornalístico a seguir que trata sobre a causa de um acidente de avião ocorrido em 2014.

*O Airbus A320 caiu no mar de Java em 28 de dezembro, a menos de metade do caminho em um voo de duas horas iniciado na segunda maior cidade indonésia, Surabaya, com destino a Cingapura.*

*Problemas reiterados provocados pelo sistema de controle do leme fizeram com que os pilotos desativassem o piloto automático quando o avião atravessava uma área com tempo ruim, antes de perder o controle do avião, anunciou o Comitê Nacional de Segurança de Transportes.*

*De acordo com o relatório final, o piloto automático foi desconectado para que os sistemas de alerta fossem aplicados em consequência de uma fissura em uma soldadura do sistema que*

*controla o leme. O avião começou a perder estabilidade, após uma série de manobras dos pilotos para tentar reativar o sistema.*

*O voo QZ8501 da AirAsia decolou de Surabaya, na ilha de Java, na madrugada do dia 28 de dezembro de 2014 com 162 pessoas a bordo e deveria ter aterrissado em Cingapura algumas horas mais tarde.*

(Adaptado pela autora de <http://g1.globo.com/mundo/noticia/2015/12/falha-mecanica-causou-acidente-com-aviao-da-airasia-na-indonesia.html> Acesso em out/2016).

A turma deverá ser dividida em grupos e após a entrega do texto para cada grupo, solicita-se a leitura e discussão para que sejam respondidas às seguintes questões:

*1. Qual a principal causa do acidente, segundo o texto?*

*2. De acordo com as discussões realizadas nas últimas aulas, o que poderia ter sido feito para detectar esta falha<sup>36</sup>?*

O objetivo desta atividade é destacar a importância social do tema abordado, visto que o estudante assim pode perceber que o problema que está analisando é do cotidiano de muitas pessoas.

A duração da atividade aplicada foi de vinte minutos e foram utilizados gravadores de áudio.

---

<sup>36</sup> Não estamos afirmando que, no caso relatado pela reportagem, não foi realizado algum tipo de ensaio para verificação da integridade estrutural da peça e nem podemos garantir que a realização de um teste por gamagrafia seria o suficiente para evitar a ocorrência do acidente aéreo.

## VISITAS TÉCNICAS

O texto *Fontes radioativas garante a qualidade em processos industriais*, apresentado no item 2.10, sinaliza um campo de aplicação das radiações diferente da tradicional área médica, apontando para uma aproximação cada vez maior entre a sociedade e as mais diferentes radiações. Desta forma, é preciso que a sociedade compreenda os efeitos da radioatividade, principalmente sobre o organismo humano; ressaltando assim a relevância do estudo das radiações no currículo escolar.

Espera-se que o ensino de física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (Brasil, 1999, p. 229).

O uso de radiação nos processos industriais tornou-se algo concreto e cotidiano na indústria brasileira nos seus mais diferentes ramos. Segundo dados da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), obtidos pela autora em entrevistas a servidores da referida instituição, no ano de 2015, o estado do Rio de Janeiro, já contava com 98 organizações industriais que utilizam radiação em seus processos produtivos com diferentes especialidades com destaque especial para radiografia industrial e medidores nucleares fixos. O uso de material radioativo não se restringe ao campo industrial, alcançando também o setor terciário da economia, com o aumento da oferta de serviços que se propõem, por exemplo, a inspecionar bagagens e contêineres em portos e aeroportos. Aplicações desta natureza estão sendo cada vez mais utilizadas para o controle da entrada e saída de armas e drogas no país, passando assumir um papel fundamental em questões relacionadas a atuação do Brasil no contexto do narcotráfico internacional.

Uma grande questão é como tópicos relacionados às radiações deverão ser levados até aos cidadãos, principalmente, aqueles que não possuem formação científica, mas que por questões trabalhistas irão ter contato com algum tipo de fenômeno radioativo. Uma possível saída para a problemática apresentada está no ensino de

elementos básicos associados à radioproteção aos alunos de cursos técnicos da área industrial. A ideia é que este futuro técnico aprenda sobre os efeitos das radiações ionizantes e que posteriormente possa transmitir estes conceitos para os trabalhadores operacionais que atuam no chamado chão de fábrica. Trata-se de uma medida importante, pois irá auxiliar o técnico de segurança do trabalho que, apesar da legislação específica, atuam em baixo número em muitas indústrias. Para evitar acidentes radiológicos, é fundamental que este aluno tenha noção dos riscos envolvidos nas atividades que utilizam radiação e das principais normas da CNEN aplicáveis à Radiologia Industrial (NN -3.01 e NN- 6.04). Dentro deste contexto, o ensino de Física possibilitará um engajamento reflexivo dos alunos acerca de proteção radiológica, um assunto de seu interesse e preocupação.

A constante preocupação com a formação adequada dos estudantes aponta não apenas para um compromisso com a formação do cidadão, mas também para a necessidade de qualificação do profissional que será inserido no mercado de trabalho que contempla um desafio de superação da dificuldade de interligação entre os saberes teóricos e práticos.

A inserção da visita técnica na proposta pedagógica de um curso técnico pode ser vista como uma das possíveis estratégias de integração teórico-prática.

O parágrafo primeiro do artigo 21 das Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio (BRASIL,2012) prevê que:

A prática na Educação Profissional compreende diferentes situações de vivência, aprendizagem e trabalho, como experimentos e atividades específicas em ambientes especiais, tais como laboratórios, oficinas, empresas pedagógicas, ateliês e outros, bem como investigação sobre atividades profissionais, projetos de pesquisa e/ou intervenção, visitas técnicas; simulações; observações e outras.

Foram organizadas duas visitas técnicas a indústrias cujas atividades produtivas envolvem o uso de radiação, buscando proporcionar aos alunos uma formação mais



ampla, permitindo observar o ambiente real de uma empresa em pleno funcionamento, além de ser possível verificar sua dinâmica, organização e todos os fatores teóricos implícitos nela.

O processo de planejamento da visita técnica foi dirigido de modo a considerar aspectos como: o assunto a ser pesquisado e observado, a empresa a ser visitada, o grupo de alunos e professores participantes e resultados esperados a partir desta atividade.

É fundamental que tenhamos de forma clara e bem estruturada a definição do problema a ser investigado, de forma que o aluno compreenda o porquê de estar participando deste tipo de ação exploratória.

Com o intuito de promover um melhor planejamento, surgiu a necessidade de o docente realizar uma visita prévia, sem a companhia dos estudantes, para que pudesse obter informações mais detalhadas sobre o processo produtivo da empresa, buscando realizar um levantamento de elementos que serão observados pelos alunos e que podem ser relacionados com conceitos já vistos por eles, além de procurar levantar questões relacionadas com a temática de estudo que está norteando a visita. Da mesma forma, é necessário que os alunos façam uma pesquisa sobre a empresa, considerando aspectos como sua missão, visão e valores, como forma de preparação da visita técnica.

A primeira visita técnica foi a NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A.), em maio de 2016. Foi escolhida por utilizar radiação para controle de qualidade em seu processo produtivo e por estar localizada no Distrito Industrial de Itaguaí, a aproximadamente 20 km da escola, onde foi aplicado este trabalho. Seu bom relacionamento com a escola também foi um fator decisivo, à medida que se apresenta sempre disposta a participar de atividades de extensão e apresenta-se como uma boa opção para estágio para alunos concluintes dos cursos técnicos.

A outra visita técnica foi realizada no Centro de Informação de Itaorna, pertencente à Eletronuclear, localizado no quilômetro 522 da Rodovia Rio-Santos, no município de Angra dos Reis, local de onde se pode avistar todo o complexo que compõe a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. A escolha por este centro se justifica pela necessidade de abordar as questões relativas a produção de energia elétrica a partir da matriz nuclear e também pela necessidade de promover um debate sobre questões relativas à segurança e proteção radiológica e aos impactos ambientais nas comunidades vizinhas.

De acordo com o PCNEM (BRASIL, 1999, p.231):

É preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão de mundo e uma formação para a cidadania adequada [...] Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem [...] Uma Física que explique os “gastos da conta de luz” ou o consumo diário de combustível e também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluindo, a Energia Nuclear, com seus riscos e benefícios.

Concluimos que as visitas técnicas realizadas contribuíram para o processo de ensino –aprendizagem do tema Física das Radiações por proporcionar aos estudantes uma visão técnica da futura profissão e permitir uma melhor compreensão dos conteúdos dos componentes curriculares.

Desta forma, indica-se a inclusão de visitas técnicas às atividades desenvolvidas durante as aulas de Física das Radiações, defendendo o professor escolher qual a melhor organização a ser visitada, considerando as características e necessidades de seu grupo de alunos e da escola.

## **DANDO VOZ AO ALUNO**

Esta atividade tem como objetivo promover uma reflexão do estudante sobre a sequência de atividades proposta.

Sugere-se que o aluno seja orientado pelo professor a responder a seguinte pergunta:

*O que você considera como sendo o mais importante dentro do que aprendeu nas aulas de Física das Radiações?*

A ideia é que o estudante disserte, usando a linguagem escrita, de forma livre sobre o que julgavam mais importante dentro do que haviam aprendido nas aulas de Física das Radiações.

A duração da atividade aplicada foi de vinte minutos e os alunos utilizaram papel e caneta.