

Paulo Sérgio Gai Montedo

**UMA PROPOSTA DE ENSINO EM FÍSICA E A
DEMOCRATIZAÇÃO DO DEBATE NUCLEAR: DA
RADIOATIVIDADE AOS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO
DAS USINAS NUCLEARES BRASILEIRAS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Montedo, Paulo Sérgio Gai
UMA PROPOSTA DE ENSINO EM FÍSICA E A
DEMOCRATIZAÇÃO DO DEBATE NUCLEAR : DA
RADIOATIVIDADE AOS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DAS
USINAS NUCLEARES BRASILEIRAS. / Paulo Sérgio Gai
Montedo ; orientador, José Ricardo Marinelli, 2017.
272 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós
Graduação em Ensino de Física, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Usinas Nucleares
Brasileiras. 3. Radioatividade. 4. Democratização do
debate nuclear. 5. Ensino de Física. I. Marinelli,
José Ricardo . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física. III. Título.

Uma Proposta de Ensino em Física e a Democratização do Debate Nuclear: Da Radioatividade aos Princípios de Funcionamento das Usinas Nucleares Brasileiras.

Paulo Sérgio Gai Montedo

Essa dissertação foi julgada adequada a obtenção do título de **MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA**, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós graduação em Ensino de Física, nível Mestrado Profissional.

Prof. Dr. José Ricardo Marinelli.
UFSC – (Orientador)

Prof. Dr. Oswaldo Medeiros Ritter.
UFSC – (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Ricardo Marinelli
UFSC – (Presidente)

Prof. Dr. Sidney dos Santos Avancini
UFSC – (Membro Titular)

Prof. Dr. José Francisco Custódio
Filho
UFSC – (Membro Titular)

Prof. Dr. Frederico Firmo de Souza
Cruz
UFSC – (Membro Externo)

Este trabalho é dedicado a minha
família e à classe trabalhadora.

AGRADECIMENTOS

Ao povo brasileiro, por financiar e fomentar a pesquisa e formação de professores no ensino de física.

A todas instituições e pessoas envolvidas na realização do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, em especial a Sociedade Brasileira de Física, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Departamento de Física da UFSC e aos professores do curso.

Ao meu orientador, professor José Ricardo Marinelli, pelo tanto de física que aprendi neste período, pelo exemplo, a paciência, a dedicação, a confiança e o apoio que me deu neste período de quase dois anos e meio.

À banca examinadora, pela atenção dedicada a leitura do nosso trabalho, pelas boas sugestões de leitura e alterações no corpo do nosso trabalho.

Aos meus colegas mestrandos, pela boa batalha travada nestes dois anos de incessantes encontros semanais.

Aos meus alunos da turma 3º3, da Escola Simão José Hess, participantes dessa pesquisa e peça chave para no êxito deste trabalho.

Aos meus pais, Paulo e Sandra, por terem feito de mim boa parte daquilo que sou e penso.

A minha companheira Danieli, por estar ao meu lado nos bons e maus momentos destes últimos anos. Sem ela eu não estaria aqui hoje.

Ao meu filho Paulo Caetano, por ser uma das razões da minha determinação e luta por uma sociedade sem classes.

A meus camaradas, Henrique e Demétrio, pelas prosas, discussões políticas e apoio nos momentos difíceis; A minha grande amiga Geisi, por sempre ter acreditado em mim; e ao meu comparsa de sonhos e planos, Fiapo.

“O que um homem vê depende tanto daquilo que ele olha como daquilo que sua experiência visual-conceitual prévia o ensinou a ver. Na ausência de tal treino, somente pode haver [...] confusão atordoante e intensa.”

(KUHN, 1998, p. 149).

RESUMO

UMA PROPOSTA DE ENSINO EM FÍSICA E A DEMOCRATIZAÇÃO DO DEBATE NUCLEAR: DA RADIOATIVIDADE AOS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE UMA USINA NUCLEAR

Paulo Sérgio Gai Montedo

Orientador: José Ricardo Marinelli

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

De acordo com dados do Plano Nacional de Energia (PNE-2030), até o ano de 2030 o Brasil tem a intenção de construir quatro usinas nucleares no país. Até o ano 2050, conforme o PNE-2050, serão outras oito, totalizando quinze usinas termonucleares em funcionamento no país ao final deste período. Compreendendo a falta de informações ao público em geral e a inexistência de discussões conjuntas aos diversos setores que compõem a sociedade brasileira, o trabalho presente, realizado na Escola Estadual Simão José Hess, Florianópolis/SC, tem como objetivo encorajar nossos estudantes à reivindicarem-se enquanto parte das discussões e debates no que concerne à temática da nucleoeletricidade. Neste sentido, assumindo a dialeticidade entre o técnico e político nestas discussões, partilhamos, no contexto da sala de aula, da experiência que tivemos na produção e aplicação de um material instrucional relacionado à radioatividade e aos princípios de funcionamento das usinas nucleares de Angra dos Reis. Buscamos, desta maneira, no campo da Física, desconstruir algumas concepções comuns equivocadas, amplamente difundidas pelos meios de comunicação e reproduzidas pelo público em geral, sobre algumas especificidades da radiação e ao processo de produção de eletricidade via matrizes nucleares. Por conseguinte, nos foi possível problematizar alguns mitos relacionados a uma suposta neutralidade no processo de produção do conhecimento científico e tecnológico, o qual, sob uma perspectiva tecnocrática, alija a sociedade

do seu direito à participação nos debates e decisões da área, assim como, sob o pilar salvacionista, aponta a energia nuclear como a solução de todos os nossos problemas frente à crise energética e ambiental que se acentuará nas próximas décadas. Enfim, amparado na necessidade de qualificação dos nossos jovens às discussões e democratização do debate aos diversos setores da sociedade, segue aqui, uma proposta exequível de ensino e aprendizagem sobre a temática na rede pública de ensino, além de um material instrucional, produzido por nós, e destacável do corpo deste projeto.

Palavras chave: Ensino de Física; Radioatividade; Usinas Nucleares; Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

ABSTRACT

A PHYSICS TEACHING PROPOSAL AND THE DEMOCRATIZATION OF THE NUCLEAR DEBATE: FROM RADIOACTIVITY TO THE PRINCIPLES OF OPERATION OF BRAZILIAN NUCLEAR POWER PLANTS.

Paulo Sérgio Gai Montedo

Supervisor: José Ricardo Marinelli

Abstract of a Master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação – Santa Catarina Federal University (UFSC) for Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment for the requirements to the degree of Master in Physics Teaching.

According to the data from the National Energy Plan (PNE-2030), by the year 2030 Brazil intends to build four nuclear power plants in the country. By the year 2050, according to PNE-2050, a total of fifteen thermonuclear plants should be in operation in the country. Understanding the lack of information by the general public and the lack of joint discussions in several sectors that makeup the Brazilian society, the present work, carried out at the public high school Simão José Hess, Florianópolis / SC, aims to encourage students to be part of the discussions and debates on nuclear power issues. In this sense, assuming a dialectic between technic and politic in those discussions, we have shared in the classroom the experience we have had in the production and application of an instrumental material related to radioactivity and the operating principles of the Angra dos Reis nuclear power plants . In the field of physics, we seek to deconstruct some common misconceptions widely disseminated by the media and reproduced by the general public about nuclear radiation and the process of producing electricity through nuclear power plants. Consequently, we have been able to problematize some myths related to a supposed neutrality in the process of producing scientific and technological knowledge, which, from a technocratic perspective, a society should have the right to participate on the debates and the results of the field. Under the pillar of salvation, it points to nuclear energy as a solution to all our problems facing the energy and environmental crisis that will intensify in the coming decades. Finally, based on the need to

qualify young people to the discussion and democratization of the debate in various sectors of our society, we present here a feasible proposal of teaching and learning on the subject for the public school system, in addition to an instructional material, produced by us, as well as a detachable material related to this project.

Keywords: Physics Teaching; Radioactivity; Nuclear Power Plants; Science, Technology and Society (STS).

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01: Gráfico referente à afirmação 1 do questionário aplicado.
- Figura 02: Gráfico referente à afirmação 2 do questionário aplicado.
- Figura 03: Gráfico referente à afirmação 3 do questionário aplicado.
- Figura 04: Gráfico referente à afirmação 4 do questionário aplicado.
- Figura 05: Gráfico referente à afirmação 5 do questionário aplicado.
- Figura 06: Gráfico referente à afirmação 6 do questionário aplicado.
- Figura 07: Gráfico referente à questão 7 do questionário aplicado.
- Figura 08: Gráfico referente à afirmação 8 do questionário aplicado.
- Figura 09: Gráfico referente à questão 9 aplicada no questionário.
- Figura 10: Gráfico referente à afirmação 10 do questionário aplicado.
- Figura 11: Gráfico referente à afirmação 11 do questionário aplicado.
- Figura 12: Gráfico referente à afirmação 12 do questionário aplicado.
- Figura 13: Gráfico referente à questão 13 do questionário aplicado.
- Figura 14: Gráfico referente à pergunta de número 14 do questionário aplicado.
- Figura 15: Gráfico referente à pergunta 15 do questionário aplicado.
- Figura 16: Gráfico referente à afirmação 16 do questionário aplicado.
- Figura 17: Gráfico referente à questão 17 do questionário aplicado.
- Figura 18: Gráfico referente à pergunta 18 do questionário aplicado.
- Figura 19: Gráfico referente à afirmação 19 do questionário aplicado.
- Figura 20: Gráfico referente à afirmação 20 do questionário aplicado.
- Figura 21: Gráfico referente à afirmação 21 do questionário aplicado.
- Figura 22: Gráfico referente à afirmação 22 do questionário aplicado.
- Figura 23: Gráfico referente à afirmação 23 do questionário aplicado.
- Figura 24: Gráfico referente à afirmação 24 do questionário aplicado.
- Figura 25: Gráfico referente à afirmação 25 do questionário aplicado.
- Figura 26: O modelo tradicional/linear de progresso.
- Figura 27: Gráfico referente à afirmação 26 do questionário aplicado.
- Figura 28: Gráfico referente à afirmação 27 do questionário aplicado.
- Figura 29: Gráfico referente à afirmação 28 do questionário aplicado.
- Figura 30: Gráfico referente à afirmação 29 do questionário aplicado.
- Figura 31: Gráfico referente à afirmação 30 do questionário aplicado.
- Figura 32: Imagem do vídeo disponibilizado pela Eletrobrás – energia nuclear em cerca de dois minutos –.
- Figura 33: Gráfico referente a oferta de energia e eletricidade no Brasil e no mundo.
- Figura 34: Slides construídos para a apresentação das discussões em sala sobre o crescimento populacional e a demanda energética.

- Figura 35: Vídeo exibido em sala – Debate: Será que o mundo precisa de energia nuclear?
- Figura 36: Quadro de “Curiosidades”, encontrado no material didático, página 6.
- Figura 37: Imagem do espectro eletromagnético e suas radiações.
- Figura 38: Imagem do aplicativo para o estudo dos decaimentos Alfa e Beta.
- Figura 39: Imagem do vídeo “Datação por Carbono-14”
- Figura 40: Slides utilizados durante as aulas para problematizar a não conservação de massa na Física nuclear.
- Figura 41: Slides utilizados durante as aulas para caracterização do desdobramentos históricos até a fissão do núcleo atômico.
- Figura 42: Imagem do aplicativo disponível, pelo grupo Phet, para o estudo da fissão nuclear.
- Figura 43: Imagem do aplicativo “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday”.
- Figura 44: Imagem simplificada de um reator nuclear do tipo PWR.
- Figura 45: Imagem da carcaça de aço que protege o circuito primário de um reator nuclear.
- Figura 46: Foto de uma confraternização surpresa preparada pela turma.
- Figura 47: Foto de alguns alunos presentes na primeira sessão do “Cine Simão Nuclear”.
- Figura 48: Trecho escrito por um aluno no documentário Hiroshima: O dia Seguinte.
- Figura 49: Trecho escrito por um aluno no documentário Hiroshima: O dia Seguinte.
- Figura 50: Trecho escrito por uma aluna no documentário Hiroshima: O dia Seguinte.
- Figura 51: Pergunta sobre radiação feita por um aluno durante o cine nuclear.
- Figura 52: Parágrafo construído por um aluno ao expor suas impressões sobre o documentário de Chernobyl.
- Figura 53: Parágrafo construído por um aluno ao expor suas impressões sobre o acidente com césio-137.
- Figura 54: A galera do fundão concentrada no documentário sobre o acidente nuclear de Fukushima.
- Figura 55: Texto escrito por uma aluna ao expor suas impressões sobre o documentário de Fukushima.
- Figura 56: Slides utilizados para determinar o processo avaliativo junto à turma.

Figura 57: Fotos da apresentação dos trabalhos da turma na Mostra Cultural da escola SJH.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|--|
| AIEA - | Agência Internacional de Energia Atômica |
| BEN - | Balanco Energético Nacional |
| BNCC - | Base Nacional Curricular Comum |
| BWR - | Boiling Water Reactor |
| CEB - | Câmara de Educação Básica |
| CNAAA - | Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto |
| CNE - | Conselho Nacional de Educação |
| CNEN - | Comissão Nacional de Energia Nuclear |
| CTS - | Ciência, Tecnologia e Sociedade |
| C&T - | Ciência e Tecnologia |
| EEEBSJH - | Escola Estadual de Educação Básica Simão José Hess |
| EPE - | Empresa de Pesquisas Energéticas |
| IEA - | International Energy Agency |
| INB - | Indústrias Nucleares do Brasil |
| MEC - | Ministério da Educação |
| MME - | Ministério de Minas e Energia |
| MNPEF - | Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física |
| PCN - | Parâmetros Curriculares Nacionais |
| PNE-2030 - | Plano Nacional de Energia 2030 |
| PNE-2050 - | Plano Nacional de Energia 2050 |
| PWR - | Pressurized Water Reactor |
| RBMK - | Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy |
| SIB - | Sociedade da Informação do Brasil |
| TCLE - | Termo de Consentimento Livre e Esclarecido |
| TEPCO - | Tokyo Electric Power Company |
| UENF - | Universidade Estadual do Norte Fluminense |
| UFSC - | Universidade Federal de Santa Catarina |
| U.S.NRC - | United States Nuclear Regulatory Commission |

Sumário

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 25 |
| A EDUCAÇÃO, A JUVENTUDE E UM MUNDO EM CONSTANTE TRANSFORMAÇÃO. | 25 |
| DA ESCOLHA DO TEMA E JUSTIFICATIVA: | 27 |
| DOS OBJETIVOS: | 29 |
| CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO | 31 |
| 1.1 BUSCANDO CAMINHOS | 31 |
| 1.2 MOVIMENTO CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS), BREVE HISTÓRICO. | 33 |
| 1.3 UMA INTRODUÇÃO AOS PRESSUPOSTOS CTS: | 37 |
| 1.4 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA (ACT) | 41 |
| 1.4.1 <i>Perspectiva Reduccionista da ACT</i> | 42 |
| 1.4.2 <i>Perspectiva Ampliada da Educação</i> | 43 |
| CAPÍTULO 2: METODOLOGIA | 47 |
| 2.1 O PRIMEIRO MOMENTO: SOBRE O QUESTIONÁRIO. | 47 |
| 2.2 O SEGUNDO MOMENTO: DOS CAMINHOS NA CONSTRUÇÃO DO MATERIAL..... | 49 |
| 2.3 O TERCEIRO MOMENTO: APLICANDO EM SALA DE AULA. | 50 |
| CAPÍTULO 3: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS | 51 |
| 3.1 DAS COMPREENSÕES SOBRE RADIAÇÃO E RADIOATIVIDADE. | 51 |
| 3.2 DAS CONCEPÇÕES E SABERES PRÉVIOS ENVOLVENDO ENERGIA NUCLEAR E REJEITOS RADIOATIVOS..... | 59 |
| 3.3 DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL..... | 68 |
| 3.4 DOS MITOS DA NEUTRALIDADE CIENTÍFICA..... | 70 |
| 3.4.1 <i>Superioridade dos Modelos de Decisões Tecnocráticos</i> | 71 |
| 3.4.2 <i>Perspectiva Salvacionista da C&T</i> | 77 |
| 3.4.3 <i>Determinismo Tecnológico</i> | 81 |
| 3.5 ANÁLISES COMPLEMENTARES: | 87 |
| CAPÍTULO 4: DA CONSTRUÇÃO DO | 91 |
| MATERIAL DIDÁTICO | 91 |
| 4.1 ASPECTOS GERAIS | 91 |
| 4.2 DA ORGANIZAÇÃO DIDÁTICA DO CONTEÚDO | 93 |
| 4.3 IDEIAS CENTRAIS | 95 |
| 4.4 ANÁLISES COMPLEMENTARES À CONSTRUÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO..... | 95 |
| CAPÍTULO 5: DESENVOLVENDO A TEMÁTICA EM SALA DE AULA | 97 |

| | |
|---|-----|
| 5.1 INTRODUÇÃO: DAS SUBJETIVIDADES CONSTRUÍDAS NO AMBIENTE DA SALA DE AULA. | 97 |
| 5.2 DO MÉTODO: | 98 |
| 5.3 DA APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA AOS ESTUDANTES: | 99 |
| 5.3.1 <i>Da motivação:</i> | 100 |
| 5.3.2 <i>Aulas 1 e 2</i> | 100 |
| 5.3.2 <i>Aulas 3 e 4</i> | 101 |
| 5.3.3 <i>Aulas 5 e 6</i> | 104 |
| 5.3.4 <i>Aulas 7 e 8</i> | 105 |
| 5.3.5 <i>Aula 9</i> | 107 |
| 5.3.6 <i>Aulas 10 e 11</i> | 109 |
| 5.3.7 <i>Aulas 12 e 13</i> | 111 |
| 5.3.8 <i>Aula 14</i> | 114 |
| 5.3.9 <i>Aulas 15 e 16</i> | 115 |
| 5.3.10 <i>Aulas 17 e 18</i> | 118 |
| 5.3.11 <i>Aulas 19 e 20</i> | 120 |
| 5.4 DO CINE NUCLEAR: | 122 |
| 5.4.1 <i>Cine 1 - Hiroshima: O Dia Seguinte.</i> | 123 |
| 5.4.2 <i>Cine 2: O Desastre de Chernobyl</i> | 126 |
| 5.4.3 <i>Cine 3: O Acidente Radiológico com Césio-137 em Goiânia</i> | 130 |
| 5.4.4 <i>Cine 4: Segundos Fatais – A Usina Nuclear de Fukushima</i> | 132 |
| 5.5 DA AVALIAÇÃO: | 135 |
| 5.5.1 <i>Avaliando a produção do vídeo</i> | 136 |
| 5.5.2 <i>Avaliando o Cine Nuclear</i> | 137 |
| 5.5.3 <i>Avaliando a participação na Mostra Cultural</i> | 138 |
| 5.6 ANÁLISES COMPLEMENTARES À APLICAÇÃO DO PROJETO: | 140 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 143 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 147 |
| APÊNDICES | 153 |
| APÊNDICE 1: QUESTIONÁRIO E TLCE | 153 |
| APÊNDICE 2: MATERIAL DIDÁTICO | 161 |
| APÊNDICE 3: PLANO DE ENSINO E APRENDIZAGEM | 213 |
| APÊNDICE 4: PLANO DE AULA Nº 01 | 219 |
| APÊNDICE 5: PLANO DE AULA Nº 02 | 225 |
| APÊNDICE 6: PLANO DE AULA Nº 03 | 229 |
| APÊNDICE 7: PLANO DE AULA Nº 04 | 233 |
| APÊNDICE 8: PLANO DE AULA Nº 05 | 237 |
| APÊNDICE 9: PLANO DE AULA Nº 06 | 243 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| APÊNDICE 10: PLANO DE AULA Nº 07..... | 247 |
| APÊNDICE 11: PLANO DE AULA Nº 08..... | 251 |
| APÊNDICE 12: FICHA Nº 01..... | 255 |
| APÊNDICE 13: FICHA Nº 02..... | 259 |
| APÊNDICE 14: FICHA Nº 03..... | 265 |
| APÊNDICE 15: FICHA Nº 04..... | 269 |

INTRODUÇÃO

Educar é também compreender, e fazer-se compreender, sobre a relação dialética entre o “progresso” e os sucessos tecnológicos alcançados pela humanidade à construção social de uma situação de risco e vulnerabilidade nunca antes vista na história do nosso processo civilizatório. É, sob o olhar da história, perceber a ciência enquanto elemento catalizador das mudanças de um mundo em constante transformação e, assim, a necessidade de nos repensarmos enquanto sujeitos coletivos desta mudança.

A educação, a juventude e um mundo em constante transformação.

As mudanças, aceleradas, ubíquas e característica permanente dos tempos modernos, implicam novos desafios nas dimensões da formação dos nossos jovens que integram as diversas etapas do ensino nas escolas brasileiras, e, porque não, mundiais. Postman e Weingartner (1971, p.13), há quase cinco décadas, já alertavam que “de um modo geral, a sobrevivência da nossa sociedade está ameaçada por um número crescente de problemas inéditos e, até a data, insolúveis”, tornando-se necessária uma educação que vise na juventude a construção de competências à aplicação de estratégias na luta pela sobrevivência em um mundo repleto de conflitos, incertezas e oportunidades sem precedentes. Os níveis exponencialmente crescentes de complexidade das infraestruturas básicas à manutenção da sociedade moderna, tornam a máxima dos autores ainda mais atual. A energia, a água, a comida, a comunicação, o transporte, a saúde, a segurança, as finanças, “são tão interligadas que, se um sistema espirrar, os outros pegam pneumonia na mesma hora” (CASTI, 2012, p.16). Consequentemente, nos perguntamos: Que tipo de valores, atitudes, aptidões e saberes estamos propiciando à nossa juventude, que os auxiliem à sobrevivência neste mundo em rápida transformação?

De acordo com o documento disponibilizado pelo Ministério da Educação (MEC), em abril de 2016, enquanto proposta preliminar para a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), entende-se juventude como uma condição sócio-histórico-cultural, plural e em constante transformação, imersa em questões do seu tempo, “participante ativa do processo de formação que deve levar a sua autônoma e crítica inserção no mundo”, logo, com “importante função na definição dos rumos que a sociedade irá seguir” (BNCC, 2016, p.488). Desta forma, uma educação

que prime pela criticidade e responsabilidade social dos seus estudantes, prescinde de uma proposta de ensino que supere a fragmentação dos saberes decorrentes de uma concepção bancária da educação¹, estando esta aliada a mecanismos de leitura da realidade que os possibilitem reconhecer os pontos de vista alheios, administrar conflitos de opinião e, ao mesmo tempo, expor suas ideias, opiniões e preocupações frente as complexidades do mundo moderno.

Compreendendo a ciência enquanto um constructo histórico, social, cultural e humano, faz-se pertinente evidenciar a importância da abordagem temática, no contexto do ensino de ciências, enquanto um dos caminhos possíveis à construção de uma educação como prática libertadora². Auler e Delizoicov (2001), defendem um programa de ensino realizado por meio da utilização de temáticas inerentes à sociedade contemporânea e que problematizem questões controversas relacionadas à Ciência e Tecnologia (C&T). Salientam que, quando seguidos determinados critérios, podem vir a desvelar alguns mitos secundários relacionados a uma suposta neutralidade da ciência, o mito original. De acordo com os autores, tais manifestações geram: a) Uma perspectiva de superioridade do modelo de decisões tecnocráticas, onde a população em geral é alijada do direito de participar dos debates e decisões referentes a temas controversos envolvendo ciência e tecnologia. Tais discussões pertenceriam, portanto, apenas ao corpo técnico, os legítimos e possuidores do conhecimento científico, únicos capazes de solucionar tais problemas; b) Uma postura salvacionista da ciência e tecnologia, onde quanto mais ciência e tecnologia, mais próximos estaremos de sanar os

¹ De acordo com Gadotti (1989, p.69), na concepção bancária de educação, sob o olhar de Freire (1983), “o educador é o que sabe e os educandos , os que não sabem; o educador é o que pensa e os educandos , os pensados; o educador é o que diz a palavra e os educandos , os que escutam docilmente; o educador é o que opta e prescreve sua opção e os educandos , os que seguem a prescrição ; o educador escolhe o conteúdo programático e os educandos jamais são ouvidos nessa escolha e se acomodam a ela; o educador identifica a autoridade funcional, que lhe compete, com a autoridade do saber, que se antagoniza com a liberdade dos educandos , pois os educandos devem se adaptar às determinações do educador; e, finalmente, o educador é o sujeito do processo, enquanto os educandos são meros objetos”.

² “A educação como prática da liberdade, ao contrário daquela que é a prática da dominação, implica a negação do homem abstrato, isolado, solto, desligado do mundo, assim também a negação do mundo como uma realidade ausente dos homens” (FREIRE, 1987, p.81).

problemas sociais contemporâneos e; c) um determinismo tecnológico, configurado no âmbito de uma superteoria do progresso, isto é, “caminhamos em direção ao futuro, em direção ao progresso, não há mais volta” (AULER e DELIZOICOV, 2001, p.5).³

Desta forma, questões cada vez mais interligadas no seu horizonte político e técnico se entrelaçam diante da necessidade de ampliarmos, significativamente, a participação da população nos debates e escolhas que determinarão os rumos da nossa sociedade por uma longa janela de tempo. Uma educação com viés crítico e emancipador das mulheres e homens que compõe o corpo social da população deve compreender, também no âmbito científico e tecnológico, a construção dos saberes enquanto pilares de sustentação teórica, e porque não, prática, da práxis política de uma juventude radicalmente democrática, em busca da sua cidadania.

Da escolha do tema e justificativa:

De acordo com documentos oficiais da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), consta no Plano Nacional de Energia (PNE-2030), que o Brasil, até o ano de 2030, além de Angra 3, em fase final de construção, pretende construir quatro usinas nucleares, sendo duas no sudeste e duas no nordeste. Somando-se a isso, conforme o PNE-2050, estão planejadas outras oito termonucleares nos 20 anos seguintes, totalizando, até o ano de 2050, um conjunto de quinze usinas nucleoeletricas em funcionamento no país. Tendo em vista tais informações, buscamos no desenvolver deste trabalho, evidenciar a urgência e inevitabilidade, de nos apropriarmos, enquanto sujeitos da nossa própria história, do debate, em seus aspectos tecnopolíticos, referente à opção nuclear na matriz energética brasileira⁴.

³ Adiante, nos capítulos 1 e 3, tais manifestações secundárias ao mito da neutralidade científica, serão oportunamente discutidas.

⁴ O setor nuclear no Brasil, hoje, é compreendido por suas duas usinas nucleares em funcionamento, Angra 1 e Angra 2, com potência elétrica bruta, respectivamente, de 640 MW e 1350 MW. Além disso, temos em fase final de construção a usina nuclear de Angra 3, com expectativa de produção bruta de 1400 MW de energia. Todas estão localizadas na cidade de Angra dos Reis, no Rio de Janeiro, praia de Itaorna, na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAEA), comumente conhecida como a Central Nuclear de Angra dos Reis.

Quando falamos em um processo de alteração significativa no modelo de produção energética no Brasil, onde o modelo nuclear é o principal mote de crescimento, cristaliza-se a importância de nós, educadores, compreendermos a indispensabilidade da realização de amplos debates junto à população, em especial a nossa juventude, sobre os desafios, no presente e no futuro, que implicam tais escolhas. Como via de regra, a população tem sido colocada à parte destas discussões, o discurso tecnocrático tem prevalecido, desenhando-se, em linhas gerais, sob o argumento de que o povo é ignorante em matéria de conhecimento sobre o assunto – tratando-se de uma discussão muito complexa – pertencendo esta decisão, portanto, aos especialistas da área. Aos especialistas, sob as lentes do positivismo⁵, seria possível uma suposta neutralidade, tornando-os mais aptos a tomarem tais decisões de ordem científica e tecnológica. Discordamos de maneira veemente desta afirmação, e mais, alertamos que esta visão esconde, nas suas entrelinhas, uma forma de ver o mundo onde a população é alijada do seu direito de escolha, do processo democrático, e abduzida de um furacão de discussões que, uma hora ou outra, trilha um caminho comum às linhas gerais sobre o modelo de sociedade em que vivemos, mas principalmente, o modelo de sociedade que queremos. Ao nosso ver, trata-se aqui de uma decisão técnica sim, mas, indubitavelmente, de uma decisão também política.

Admitir a reciprocidade entre o caráter técnico e político na discussão que envolve a produção nucleoeletrônica, significa reconhecer que alguns aspectos técnicos da área são fundamentais, também, à discussão. O professor Dr. José Eli da Veiga, no seu livro – *Energia Nuclear do Anátoma ao Diálogo* – alerta que em palestras e seminários, mesmo quando em ambiente universitário e de pós-graduação, “não é raro notar que alguns participantes chegam a ignorar até mesmo a diferença entre fissão e fusão nuclear” e salienta que um debate com tais dimensões exige daqueles que o fazem o “compromisso ético de lutar para que a retórica afetiva não sufoque a fria análise dos fatos” (VEIGA, 2011, p.7). Desta forma, buscamos compreender quais são os conhecimentos comuns à radioatividade e aos princípios de funcionamento das usinas nucleares brasileiras, na área da Física, que viriam a qualificar nossos jovens,

⁵ O positivismo na ciência social defende a ideia de que o conhecimento científico é a única forma de conhecimento verdadeiro, onde aqueles que o dominam são detentores de uma suposta superioridade ética e moral que os permitem uma postura soberana, e de neutralidade, diante das decisões sobre questões de ordem científica.

discentes do ensino médio, nos debates e tomadas de decisões referentes à produção de energia nucleoeleétrica no Brasil.

Dos objetivos:

O trabalho vigente tem entre seus objetivos gerais, introduzir a Física moderna no ensino médio via a temática da radioatividade e as usinas nucleares brasileiras, por meio de uma discussão aberta, que vise aliar uma determinada rigorosidade dos saberes científicos necessários à sua compreensão, à necessidade de democratização do debate nuclear na sociedade.

Neste sentido, como finalidade primeira, buscamos investigar e compreender como os alunos da educação básica reconhecem a temática, quais suas concepções, e quais mistificações, relacionadas ao assunto, reproduzem em suas leituras de mundo. Posteriormente, com a aplicação em sala de aula, pretendemos reconstruir estes conhecimentos, proporcionando-os a possibilidade de criticidade em relação às suas posturas prévias. Desta forma, ao nosso ver, este processo pode vir a qualificar o debate e a tomada de decisões pelos estudantes no que tange à temática, desde que, devidamente correlacionado com seus aspectos políticos e sociais.

Por fim, é importante ressaltar que trata-se de um tema controverso, logo, com opiniões conflitantes, a ser feito em sala de aula, firmado no respeito ao processo democrático de autonomia do estudante em suas posturas e decisões. Não se trata aqui de evocarmos uma suposta neutralidade do professor no processo de ensino, mas sim, de maneira digna, propiciarmos elementos que permitam um debate significativo entre aluno-professor-aluno, e aluno-aluno, em torno da temática nuclear.

CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO

Ser Alfabetizado não é ser livre; é estar presente e ativo na luta pela reivindicação da própria voz, da própria história e do próprio futuro (GIROUX, 2011).

1.1 Buscando Caminhos

Na busca por caminhos que nos levem a refletir um processo educacional ampliado, como contraponto à visão positivista, e fundado enquanto alternativa a um ensino de Física pragmático e descolado das implicações da C&T na sociedade contemporânea, encontramos nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e na proposta preliminar à BNCC, elementos norteadores à concepção deste projeto, e de sustentação à temática nuclear via uma abordagem entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Desta forma, em conformidade com o documento do PCN (1995), disponibilizado pelo MEC, acreditamos na ideia de que a Física no ensino médio é uma ferramenta à construção de competências voltadas para a formação de um cidadão solidário, crítico, atuando como um instrumento de compreensão da realidade em que vivem e permitindo-lhes intervir e participar de discussões e escolhas no que se refere a temas controversos envolvendo C&T.

Assim sendo, em comum acordo ao exposto na proposta preliminar da BNCC (2016, p.586), entendemos que

(...) os conceitos e modelos da Física nos ajudam a descrever e a interpretar o mundo a nossa volta, sejam sistemas naturais ou equipamento tecnológicos. Como corpo organizado de conhecimentos, a Física representa uma maneira de dialogar com o mundo, uma forma de “olhar o real”, que apresenta características peculiares, como a proposição de representações, modelos, leis e teorias com alto grau de abstração, sofisticação, consistência e coerência internas.

Somando-se a isso, no que afere as demandas que lhe dão origem, partilhamos de uma ideia de não neutralidade, onde

(...) a Física é uma construção humana e como tal deve ser apresentada. Isso implica considerar a história passada e presente, em suas diversas interpretações possíveis, como caminho para a compreensão da ciência como instituição social. O conhecimento proporcionado pela Física é social, o que traz implicações de natureza política, econômica e, também, ética. As dimensões histórica e social nos ajudam a perceber a Física como conhecimento produzido em um contexto complexo de relações e demandas sociais, em uma via de mão dupla com o desenvolvimento tecnológico. Saber Física e sobre a Física contribui para entender e posicionar-se criticamente frente a questões técnico-científicas da atualidade que envolvem diversos interesses e grupos sociais (BNCC, 2016, p.587).

Freire (1992, p.133), alerta que “nunca, talvez, a frase quase feita (...) exercer o controle sobre a tecnologia e pô-la a serviço dos seres humanos (...) teve tanta urgência de virar fato quanto hoje, em defesa da liberdade mesma, sem a qual o sonho da democracia se esvai”. Neste sentido, uma Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) dos nossos jovens do ensino médio, em seus aspectos críticos e reflexivos, faz-se indispensável à educação contemporânea. Conforme a BNCC (2016, p.488), “a juventude é uma categoria social que, em diálogo com outras e imersa nas questões de seu tempo, tem importante função na definição dos rumos que a sociedade irá seguir”.

Tendo isto em vista, configura-se enquanto desafio à comunidade educacional, a superação do dualismo entre o ensino propedêutico (pré-universitário) e profissionalizante, isto é, um ensino de Física que não se limite aos interesses imediatos, pragmáticos e/ou meramente utilitários. Devemos buscar uma formação em sintonia com a história e percursos de vida destes estudantes, facultando-lhes a oportunidade de desenvolver condições fundamentais à sua realização enquanto indivíduo, além de competências dignas à contribuição criativa e responsável em sua efetiva participação na construção da sociedade. Isto implica que,

(...) em lugar de pretender que os jovens apenas aprendam o que já sabemos, o mundo lhes seja apresentado como problema em aberto quanto a seus aspectos sociais, produtivos, ambientais e culturais. Desse modo, eles podem se perceber

convocados a assumir responsabilidades para equacionar e resolver questões legadas pelas gerações anteriores, valorizando o esforço dos que os precederam e abrindo-se criativamente para o novo” (BNCC, 2016, p.488).

Contudo, segundo Silva, L.C.M (2009) o ensino de Física no contexto escolar atual não reflete tais necessidades. Continuamos a priorizar as equações matemáticas e a proficiência do aluno na resolução de exercícios em detrimento de situações de ensino que permitam o educando a compreender as relações objetivas e subjetivas entre a ciência, a tecnologia, a sociedade e o homem.

Para Bazzo (1998), Santos e Mortimer (2000), Auler e Delizoicov (2001), Auler (2002), o ensino de ciências vinculado a uma abordagem CTS, desenvolvido por meio de temas em aberto, e controversos, pode, a partir de uma série de critérios, atuar enquanto elemento norteador a uma educação crítica e de emancipação humana. Estes autores, entre outros, integram o Movimento CTS. No Brasil, os educadores adeptos à linha CTS, na tentativa de ampliar o processo democrático frente à participação popular nos debates e decisões em contextos que envolvem o conhecimento científico e tecnológico, são precursores na inserção de uma abordagem temática no ensino de ciências mediante questões controversas e de interesse direto à vida social da população. Para isto, defendem um ensino de ciências pautado em uma Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT), crítica e reflexiva, na formação escolar dos nossos jovens. Segundo Auler (2002), é imprescindível construirmos um fazer pedagógico que desvele alguns mitos relacionados à neutralidade no processo científico e tecnológico, os quais, de forma ardilosa, estão difundidos ideologicamente sob perspectivas tecnocráticas, salvacionistas e deterministas.

1.2 Movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), breve histórico.

Uma caracterização do momento histórico em que vivemos nos permite observar o quão relevante tem sido o desenvolvimento científico e tecnológico em nossa sociedade. O ritmo acelerado deste desenvolvimento, imposto pelo, e para, o mercado nos impõe a difícil tarefa de refletir, com responsabilidade, os impactos sociais advindos deste processo. Não nos é novidade que os conflitos entre o

desenvolvimento das forças produtivas⁶ e as relações sociais de produção em determinado momento histórico, geram crises necessárias ao sistema para que haja uma reestruturação política, jurídica e ideológica em sua superestrutura. A crise de 1929, conhecida também enquanto a grande depressão e considerada o período mais longo de recessão econômica do século XX, é resultado destes conflitos e foi elemento determinante, junto aos regimes autoritários que cresciam na Europa, para a eclosão da 2ª Guerra Mundial.

O ponto de partida nas discussões que envolvem o movimento CTS dá-se justamente ao final da 2ª Guerra Mundial, momento em que uma decisão política inaugurou a barbárie da era atômica. Com a devastação das cidades de Hiroshima e Nagasaki, no Japão, por meio da utilização de armas nucleares, acentua-se um período de reflexão sobre os impactos dos avanços científicos e tecnológicos na sociedade e o processo de tomada de decisões que envolvem a questão. Ainda assim, as manifestações são bastante localizadas e não ecoam de maneira significativa na sociedade. Com o final do conflito, em 1945, dá-se início a chamada Guerra Fria. Uma disputa geopolítica e ideológica entre o capitalismo norte americano e o socialismo de estado da União Soviética. Um período de disputas estratégicas e conflitos indiretos em que ambas as potências compreendiam que aquele que estivesse à frente no desenvolvimento científico-tecnológico estaria em vantagem em um possível confronto direto. Dá-se então uma corrida tecnológica, em geral militar, de ambos os grupos, que disputavam a hegemonia política no planeta. Uma análise deste período histórico nos possibilita compreender como a guerra e os interesses políticos, objetivos e subjetivos, envolvidos em tais disputas, fomentam o desenvolvimento da indústria tecnológica e, portanto, determinam e legitimam os problemas e soluções aos quais a comunidade científica irá apurar em suas pesquisas. Uma reflexão crítica deste processo de legitimação e produção do conhecimento científico nos aponta a necessidade de repensarmos as relações estabelecidas entre o homem, a ciência, a tecnologia e a sociedade.

O movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade, tem origem, portanto, do acúmulo de experiências pós 2ª guerra mundial, isto é, de um questionamento aos valores e objetivos que envolvem, e legitimam, a produção do conhecimento científico na sociedade. Este movimento se consolida na década de 1960 com as obras dos autores Thomas Samuel

⁶ O desenvolvimento das forças produtivas está intrinsecamente ligado ao desenvolvimento científico e tecnológico.

Kuhn em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, e Rachel Carson em *Primavera Silenciosa*, apontadas por Auler e Bazzo (2001) como precursoras do movimento CTS.

De acordo com Araújo & Silva (2012), a obra de Kuhn parte de uma crítica ao positivismo e à linearidade no processo de construção do conhecimento científico. Kuhn, por meio do conceito de paradigma⁷ e revoluções científicas⁸ afere uma dura crítica à perspectiva cumulativa da ciência. O autor, nesta obra, defende talvez aquilo que venha a ser sua principal contribuição ao movimento CTS, isto é, o desenvolvimento científico a partir de uma lógica de historicidade, contrapondo-se ao estereótipo a-histórico defendido pelos livros e manuais da época. Neste sentido, para Kuhn (1998), a legitimação dos problemas e soluções científicas de um determinado período histórico está necessariamente atrelado ao seu contexto e contribui significativamente com os questionamentos de sua época. Isto acarreta que a educação científica e os valores construídos na formação do profissional cientista estão diretamente vinculados com a realidade social do período ao qual esta acontece. Com isto, o autor consegue estabelecer uma relação direta entre educação, o conhecimento científico e a sociedade. Isto posto, Araújo & Silva (2012, p. 103) argumentam

(...) assim, a ciência vincula-se à sociedade como ambiente no qual pretende incidir e o ensino dela não se faz de modo isolado. Não se trata de se atribuir à ciência um papel pragmático, muito menos imediatista. Trata-se de entender que a finalidade de todo o esforço científico é a sociedade, e, portanto, o desenvolvimento científico leva em consideração a relevância e a plausibilidade de seu projeto – que, imediatista ou não, tem sempre como finalidade a sociedade.

⁷ Paradigmas são “realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (KUHN, 1998, p. 13).

⁸ Revoluções científicas se dão por meio da superação de um modelo (paradigma) por outro. Isto decorre devido ao fato de não ser mais possível para a comunidade científica lidar com as anomalias impostas pelo paradigma, sendo necessário então, descartar este arcabouço teórico, ou visão de mundo daqueles que a partilham, e construir um novo, com novas regras e compromissos, logo, assumindo um caráter não cumulativo.

Também no ano de 1962, foi publicado o livro *Primavera Silenciosa*, de Rachel Carson. Este livro levanta sérios questionamentos ambientais aos quais a sociedade estava imerso naquele momento. Trata-se de um relatório científico apontando os malefícios que a indústria química de pesticidas vinha causando à natureza. A obra tem entre suas principais críticas a utilização em larga escala nas lavouras, de inseticidas e herbicidas como o DDT (dicloro-difenil-tricloro-etano)⁹ e o BHC (hexacloreto de benzeno). A autora, por meio de diversos trabalhos científicos, mostra o quão perigoso à saúde humana e à dos animais tais produtos são, principalmente no que tange à reprodução dos pássaros, pois estas substâncias causam uma redução na calcificação da casca dos ovos fazendo-os quebrar antes que os filhotes nasçam.

A contribuição de Carson, considerada por muitos a pioneira do ambientalismo, exigiu, segundo Silva e Araújo (2012, p.105-106),

(...) não apenas o fim do uso indiscriminado de pesticidas, mas uma nova ciência, uma nova filosofia para a ciência. Reclamou a necessidade de se repensar a relação homem-natureza mediada pela ciência e a tecnologia. (...) As obras de Carson (1969) e Kuhn (1998) não tratam especificamente de educação, embora não seja difícil estabelecer relações entre as concepções de ciência que apresentam e a educação científica. Essas obras expressam a inviabilidade do tipo de desenvolvimento científico e tecnológico que se vinha cultivando em face das evidências histórico-científicas. Aquelas relações entre homem, sociedade, ciência e natureza não eram mais compatíveis. Esses pressupostos fizeram-se presentes no movimento CTS, emergente na mesma década de publicação das obras. Expunhasse, assim, a necessidade de se repensarem essas relações. Esse movimento teve *repercussões na educação e no currículo, especialmente por meio do ensino de ciências.* (ARAÚJO & SILVA, 2012, p.106)

⁹ DDT (dicloro-difenil-tricloro-etano), criado no período da guerra para higienização dos soldados, com o objetivo de matar piolhos e doenças venéreas, passa a ser utilizado enquanto pesticida nas lavouras;

Desta forma, discutindo-se os princípios que legitimam e impulsionam a pesquisa científica na sociedade em diferentes momentos históricos e correlacionando uma leitura materialista aos valores que preponderam hoje, dá-se continuidade a um longo período de discussões e reflexões críticas destas relações entre a ciência, a tecnologia e a ação do homem, ao dominar estas, sobre a sociedade.

1.3 Uma Introdução aos pressupostos CTS:

De acordo com o ponto de vista de Bernard e Crommelinck (1992) e Bazzo (1998) (apud SANTOS e MORTIMER, 2002, p.2):

(...)vivemos hoje em um mundo notadamente influenciado pela ciência e tecnologia. Tal influência é tão grande que podemos falar em uma autonomização da razão científica em todas as esferas do comportamento humano. Essa autonomização resultou em uma verdadeira fé no homem, na ciência, na razão, enfim, uma fé no progresso. As sociedades modernas passaram a confiar na ciência e na tecnologia como se confia em uma divindade. A lógica do comportamento humano passou a ser a lógica da eficácia tecnológica e suas razões passaram a ser as da ciência.

A relação dialética imposta entre as questões que envolvem o tema ciência e tecnologia, na concepção de Pinheiro, Silveira e Bazzo (2006), pode vir a ser perigosa se excessivamente cultivarmos um ideário de confiança, e superioridade, no que tange o desenvolvimento científico-tecnológico e seus fins, distanciando-os dos objetivos que os pressupõe enquanto necessidades na sociedade em que vivemos. Argumentam que o desenvolvimento científico-tecnológico e seus produtos não são independentes, o que implicaria um enorme risco se na compreensão dos elementos que impulsionam estas novas tecnologias for fracionado em suas finalidades e interesses sociais, políticos, militares e econômicos que os impulsionam. Para Bazzo (1998, p.142)

(...) é inegável a contribuição que a ciência e a tecnologia trouxeram nos últimos anos. Porém,

apesar desta constatação, não podemos confiar excessivamente nelas, tornando-nos cegos pelo conforto que nos proporcionam cotidianamente seus aparatos e dispositivos técnicos. Isso pode resultar perigoso porque, nesta anestesia que o deslumbramento da modernidade tecnológica nos oferece, podemos nos esquecer que a ciência e a tecnologia incorporam questões sociais, éticas e políticas.

Neste sentido, um estudo que tenha enquanto objetivo discutir as aplicações da ciência e tecnologia prescinde de uma compreensão das dimensões sociais aos quais ambas as questões estão inclusas. A exclusão desta perspectiva dialética entre questões de cunho científico, técnico e social, significaria uma falsa ilusão de que o aluno de fato compreende o tema. Segundo Santos e Mortimer (2002, p.12), “esse tipo de abordagem pode gerar uma visão deturpada sobre a natureza desses conhecimentos, como se estivessem inteiramente a serviço do bem da humanidade, escondendo e defendendo, mesmo que sem intenção, os interesses econômicos daqueles que desejam manter o *status quo*.”

Santos e Mortimer (2002), apresentam uma série de aspectos relativos à ciência, por meio da análise de Rosenthal (1989)¹⁰, que poderiam vir a ser abordados nos currículos, como questões de natureza filosófica, sociológica, histórica, política, econômica e humanísticas. Para Rosenthal, a abordagem destes temas em uma perspectiva CTS, deveria conter em seu âmbito filosófico, aspectos éticos relativos ao trabalho científico, assim como uma discussão em torno da responsabilidade social dos cientistas no exercício de suas atividades. Deveria também, incluir uma reflexão histórica e sociológica em função das influências da atividade científica e tecnológica na sociedade, discutindo o progresso científico e tecnológico, suas limitações e possibilidades, assim como determinados eventos históricos que serviram para alavancar de maneira exponencial o crescimento em diversas áreas da ciência. Deste modo, tornar-se-á importante compreender os interesses políticos e econômicos que balizaram estes processos; o uso político da ciência e tecnologia pelos governos e o processo de tomadas de decisões em torno de tais questões; e as contribuições do emprego destes conhecimentos para o “progresso” econômico e industrial na sociedade. Ainda, na perspectiva do autor, é importante compreendermos aspectos

¹⁰ ROSENTHAL, D. B. (1989). Two approaches to science – technology – society (STS) education. *Science Education*, v. 73, n. 5, p.581-589

de cunho estéticos, criativos e culturais da atividade científica, os efeitos do desenvolvimento científico sobre a literatura e as artes, e a influência da humanidade na ciência e tecnologia.

Um currículo para o ensino de ciências, numa perspectiva em CTS, exige, portanto, uma intencionalidade de fazer com que o aluno reflita não apenas de maneira pragmática o conhecimento científico, mas de forma crítica e interligada entre os conhecimentos específicos abordados e as diferentes dimensões sociais que o contextualiza no meio em que vive. É imprescindível que esta perspectiva curricular busque orientar sua formação no sentido de fomentar uma práxis política de participação nas discussões e decisões sociais que os circundam. Segundo Pinheiro, Silveira e Bazzo (2006, p.72),

(...) torna-se cada vez mais necessário que a população possa, além de ter acesso às informações sobre o desenvolvimento científico-tecnológico, ter também condições de avaliar e participar das decisões que venham a atingir o meio onde vive. É necessário que a sociedade, em geral, comece a questionar sobre os impactos da evolução e aplicação da ciência e tecnologia sobre seu entorno e consiga perceber que, muitas vezes, certas atitudes não atendem à maioria, mas, sim, aos interesses dominantes. A esse respeito, Bazzo (1998, p. 34) comenta: “o cidadão merece aprender a ler e entender – muito mais do que conceitos estanques - a ciência e a tecnologia, com suas implicações e consequências, para poder ser elemento participante nas decisões de ordem política e social que influenciarão o seu futuro e o dos seus filhos”.

Para Santos e Mortimer (2002, p.17), “discutir modelos de currículos de CTS significa discutir concepções de cidadania, modelo de sociedade, de desenvolvimento tecnológico, sempre tendo em vista a situação socioeconômica e os aspectos culturais do nosso país.” Valendo-se disto,

(...) destaca-se, portanto, entre os objetivos, o desenvolvimento de valores. Esses valores estão vinculados aos interesses coletivos, como os de solidariedade, de fraternidade, de consciência do compromisso social, de reciprocidade, de respeito

ao próximo e de generosidade. Tais valores são, assim, relacionados às necessidades humanas, o que significa um questionamento à ordem capitalista, na qual os valores econômicos se impõem aos demais. (SANTOS e MORTIMER, 2002, p.5)

Ainda de acordo com os autores, Santos e Mortimer (2002), o ensino com foco em CTS exige uma abordagem ampla, multidisciplinar e reflexiva do ensino de ciências, superando o modelo de alfabetização científica tradicional e desmistificando determinadas concepções de alfabetização, onde a contextualização ao dia a dia do estudante aparece de forma limitada a uma perspectiva de neutralidade entre conhecimento científico e sociedade. Situações em que o caráter subjetivo incorporado ao processo de produção do conhecimento científico é excluído do contexto e seus interesses camuflados em suas entrelinhas. Deste modo, o ensino de ciências em uma perspectiva CTS

(...) diferencia-se do modismo do assim chamado ensino do cotidiano, que se limita a nomear cientificamente as diferentes espécies de animais e vegetais, os produtos químicos de uso diário e os processos físicos envolvidos no funcionamento dos aparelhos eletroeletrônicos. Um ensino que contemple apenas aspectos dessa natureza seria, a nosso ver, puramente enciclopédico, favorecendo uma cultura de almanaque. Essa seria uma forma de “dourar a pílula”, ou seja, de introduzir alguma aplicação apenas para disfarçar a abstração excessiva de um ensino puramente conceitual, deixando, à margem, os reais problemas sociais. (SANTOS e MORTIMER, 2002, p.8)

Na perspectiva de Freire (1970), uma alfabetização situada meramente em seu caráter conceitual e utilitarista, assume papel opressor e priva o indivíduo de sua liberdade, tanto criativa quanto protagonista do meio em que se situa, é preciso problematizar. Este modelo educacional é chamado pelo autor enquanto educação bancária. Citado por Santos (2008, p.116) para Freire (1970)

(...) problematizar é exercer uma análise crítica sobre a realidade problema. Para que isso ocorra,

os sujeitos precisam voltar-se dialogicamente para a realidade mediatizadora, a fim de transformá-la. Esse processo não se dá por imposição, como é feito na educação “bancária”. Ele se dá por meio da colaboração e da comunhão de ideias, que para Freire implica um processo de fé nos homens, de confiança mútua, que se instaura a partir de uma ação com amor, humildade e solidariedade.

Se faz necessário, portanto, para que possamos desconstruir o valores ideológicos difundidos pela perspectiva bancária da educação, em seus caracteres reducionista e liberal, compreendermos o que significa a palavra alfabetizar em uma concepção crítica e transformadora, questão fundamental para almejarmos a superação da educação tradicional. Uma alfabetização crítica em ciência e tecnologia advém de uma perspectiva onde os interesses coletivos na sociedade se sobreponham aos econômicos e que permita ao homem, na visão de Chassot (2011), fazer uma leitura crítica do mundo em que vivemos, compreendendo, portanto, a necessidade de transformá-lo, e transformá-lo para melhor.

1.4 Alfabetização Científico-Tecnológica (ACT)

A alfabetização científico-tecnológica, neste contexto onde o conhecimento em CT ocupa posição de destaque na sociedade contemporânea, tem sido amplamente discutida pelos pesquisadores em educação, assumindo posturas muitas vezes conflitantes. Segundo Auler e Delizoicov (2001, p.3),

(...) o rótulo Alfabetização Científica e Tecnológica abarca um espectro bastante amplo de significados traduzidos através de expressões como popularização da ciência, divulgação científica, entendimento público da ciência e democratização da ciência. Os objetivos balizadores são diversos e difusos. Vão desde a busca de uma autêntica participação da sociedade em problemáticas vinculadas à CT, até aqueles que colocam a ACT na perspectiva de referendar e buscar o apoio da sociedade para a atual dinâmica do desenvolvimento científico-tecnológico.

Para Auler e Delizoicov (2001), as diferentes facetas da ACT podem ser concebidas segundo duas perspectivas, a reducionista e a ampliada. A ACT em uma perspectiva ampliada aponta a uma concepção progressista de educação, enquanto a perspectiva reducionista converge a uma postura ingênua e pouco crítica de leitura da realidade. Para os autores, uma postura reducionista da ACT, respalda e omite determinados mitos que levam a uma compreensão de neutralidade da ciência. A neutralidade da CT é tratada por estes enquanto “mito original”, e suas manifestações são particularmente examinadas pelo que os autores denominam enquanto os três mitos secundários¹¹: (1) *superioridade do modelo de decisões tecnocráticas*; (2) *perspectiva salvacionista da CT* e (3) *o determinismo tecnológico*.

1.4.1 *Perspectiva Reducionista da ACT*

Na perspectiva reducionista, reduz-se a ACT ao ensino de conceitos, de acordo com Auler e Delizoicov (2001), espera-se que os “conteúdos operem por si mesmos” ou como um fim em si. Auler e Delizoicov (2001), em citação de Rosa (2000), argumenta que para Irwin e Wynne a perspectiva reducionista

(...) fundamenta-se numa postura pouco crítica em relação às implicações da CT na sociedade. Segundo esses autores, citados por Rosa, nesse modelo, estão implícitos três princípios básicos: a) O público é ignorante sobre questões científicas e tecnológicas. As controvérsias públicas sobre questões científicas e técnicas são atribuídas a um entendimento inadequado, por parte do público, e não devido ao funcionamento da ciência em si; b) A visão de mundo oferecida pela ciência é considerada única e privilegiada, constituindo um fator essencial para a melhoria das condições humanas e ambientais; c) A ciência é retratada como uma atividade neutra, desprovida de valores. As condições sob as quais o conhecimento científico é construído e validado não são questionadas e à ciência é atribuído um caráter de

11 Os três mitos secundários à neutralidade da CT serão desenvolvidos teoricamente, de maneira mais ampla, no quarto tópico deste trabalho, Levantamento e Análise dos Dados.

atividade desprovida de ambiguidades e contradições. (AULER e DELIZOICOV, 2001, p.7)

Neste sentido, a ACT em uma perspectiva reducionista, assume uma concepção positivista e única da ciência, onde a ciência atua enquanto balizadora da verdade, redentora dos problemas sociais e determinante na sociedade para que atinjamos o progresso, isto é, altos níveis de bem-estar social. A ciência, para estes, assume papel de superioridade aos demais conhecimentos, legitimando um modelo tecnocrático de decisões, onde o público em geral é tratado enquanto mero espectador em discussões de caráter coletivo, geralmente reduzidas a pequenos grupos de cientistas. Nesta visão, é difundida uma ideia de redenção dos males sociais através da ciência, ou seja, imputa-se uma perspectiva salvaçãoista à CT. Abstraem-se as relações e práticas sociais impostas pelo sistema enquanto elementos determinantes nesse processo, assim como os interesses e valores que definem os rumos e a produção do conhecimento científico, aceitando, assim, uma ideia de que quanto mais progredirmos nas áreas científica e tecnológica, mais perto estaremos de sanar problemas como a miséria, a fome, a distribuição de renda e questões de cunho ambiental como a poluição. Há aqui, portanto, uma postura de linearidade da ciência, ratificando uma postura determinista, onde o progresso científico necessariamente resultará no progresso social (Auler e Delizoicov, 2001).

Uma alfabetização que nega as dimensões históricas e sociais inerentes ao processo de construção do conhecimento científico, omitindo e refutando ideologicamente as relações subjetivas intrínsecas à CT, a nosso ver, deixa lacunas que podem vir a inviabilizar uma interpretação crítica e transformadora de nossos alunos na leitura da realidade a qual estão inseridos. Portanto, a adoção de um método reducionista de ACT nas escolas agirá enquanto limitadora de uma práxis política radicalmente democrática e cidadã.

1.4.2 Perspectiva Ampliada da Educação

Kuhn (1998), no seu livro “*Estrutura das Revoluções Científicas*” ao discutir as revoluções científicas enquanto mudanças de concepção de mundo argumenta que os paradigmas carregam consigo determinados compromissos de leitura da realidade, o que pode vir a funcionar enquanto limitador de uma visão mais ampla do contexto

devido a uma experiência previamente assimilada ao processo de percepção.

O que um homem vê depende tanto daquilo que ele olha como daquilo que sua experiência visual-conceitual prévia o ensinou a ver. Na ausência de tal treino, somente pode haver [...] confusão atordoante e intensa (KUHN, 1998, p. 149).

Trazendo esta discussão para o âmbito educacional, uma perspectiva ampliada da ACT busca problematizar o paradigma da educação bancária, gerando crises em suas hipóteses de leitura, na tentativa de desvelar questões subjetivas e, portanto, ocultas, em sua reprodução pedagógica nos currículos escolares. A perspectiva ampliada da ACT, segundo Auler e Delizoicov (2001), trabalha na superação dos mitos da neutralidade científica por meio do ensino de ciências. Para isto, tanto metodologicamente quanto teoricamente, aproxima-se de uma postura Freiriana para problematizar e superar tais concepções.

Para Freire, educação relaciona-se com “conhecimento crítico da realidade”, com “uma leitura crítica do mundo”. Esse se constitui no ponto central dessa aproximação: Para “uma leitura crítica do mundo”, para o “desvelamento da realidade”, a problematização, a desmistificação dos mitos construídos, historicamente, sobre as interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), é fundamental. (AULER e DELIZOICOV, 2001, p.7)

Paulo Freire (1979) contextualiza seu ato educacional por meio de temas geradores, ou seja, questionamentos sociais específicos do meio ao qual o educando é oriundo, de natureza controvertida e dialética, que devem gerar reflexões com diferentes pontos de vista por parte daqueles que a discutem. Segundo Auler; Dalmolin; Fenalti (2009, p.120), “o foco de trabalho de Freire está no HOMEM. Para ele, os temas geradores devem ter origem na sua situação presente, existencial, concreta dos educandos, refletindo suas aspirações.” Freire utiliza-se do método dialógico-problematizador enquanto instrumento pedagógico para instigar o pensamento crítico dos educandos, gerando, talvez, através de uma outra forma de enxergar os fatos, a necessidade de estes repensarem

suas posturas diante destas novas circunstâncias de compreensão e assumirem papel transformador destas questões.

No livro *“Pedagogia: Diálogo e Conflito”*, Freire argumenta a Gadotti e Guimarães que “é preciso ler o mundo, mas sobretudo “escrever” ou “reescrever” o mundo, quer dizer, transformá-lo” (FREIRE, 1986, p. 114). Embora a proximidade entre o referencial Freireano e o enfoque CTS, Zaiuth e Hayashi (2011, p.282), ponderam que

(...) entretanto, Santos (2008), Auler, Dalmolin e Fenalti (2009) bem como Fernandes e Marques (2009) compreendem que o enfoque CTS e a perspectiva freireana de educação podem divergir em alguns aspectos. Na perspectiva de Freire os temas de aprendizagem que surgem com uma efetiva participação da comunidade escolar. Enquanto nos encaminhamentos dados pelo enfoque CTS essa dinâmica está ausente, sendo definida pelo professor.

Segundo Auler, Dalmolin e Fenalti (2009), no trabalho de Freire a abordagem pedagógica parte de manifestações locais que, por natureza, expressam discussões maiores referentes à dinâmica social daquela comunidade. Já o enfoque CTS desenvolve a utilização de temáticas, com abrangência mais geral, onde o professor, ou um grupo de professores, é responsável por defini-las, sendo estas relacionadas à interação entre o homem, a ciência, a tecnologia e a sociedade.

De acordo com Auler e Delizoicov (2001) é preciso reinventar o método freireano, ou seja, através da ACT, fomentar uma práxis política participativa e transformadora dos educandos em assuntos que carregam consigo o desenvolvimento no campo científico e tecnológico. Trata-se aqui, de uma perspectiva ampliada do conceito de ACT, “onde uma reinvenção da concepção freireana deve incluir (...), necessariamente, (...) uma compreensão crítica sobre as interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), dimensão fundamental para essa leitura do mundo contemporâneo” (AULER e DELIZOICOV, 2001, p.9). No entanto, ao refletirmos a ACT, não podemos esquecer que para Freire (1986, p.114) o processo de conscientização “não é presente de um intelectual que sabe o que é consciência de classe e doa a classe trabalhadora” mas sim um produto do engajamento político na luta pela transformação da realidade, não havendo um ponto de partida. Deste modo, uma proposta ampliada da ACT, não pode ser compreendida enquanto um fim no ato de

alfabetizar, mas sim, um instrumento que auxilie o educando em um processo dinâmico de conscientização em que apenas a experiência conquistada por meio da sua práxis política possibilita a oportunidade de alcançar. “Não me conscientizo para lutar. Lutando, me conscientizo” (FREIRE, 1986, p. 114).

CAPÍTULO 2: METODOLOGIA

No final do ano de 2015 entre os meses de setembro e dezembro, na Escola Estadual de Ensino Básico Simão José Hess (EEEB SJH), no município de Florianópolis/SC, foi desenvolvido e aplicado, junto a duas turmas do segundo ano do ensino médio, um questionário, na área da disciplina de Física, com ênfase no processo de produção de energia elétrica nas usinas nucleares brasileiras. No ano seguinte, 2016, a partir destes dados e um aprofundamento teórico à temática, foi construído um material didático e traçado um plano de ensino, posteriormente aplicado, em sala de aula.

De uma forma geral, podemos dividir este trabalho em três grandes momentos. 1º) A verificação, via aplicação de um questionário, de alguns pontos dos conhecimentos prévios dos nossos alunos em torno da temática nuclear, assim como, de seus valores e concepções no que refere às discussões que permeiam o debate; 2º) A produção de um material didático, com foco na área do conhecimento Físico, condizente com algumas das necessidades apresentadas na pesquisa; 3º) O desenvolvimento da temática em sala de aula via a utilização do material didático e a realização de um espaço de debates a partir da exibição de alguns documentários junto à turma, o Cine Nuclear.

2.1 O primeiro momento: Sobre o questionário.

Inicialmente nos dedicamos a tentar compreender, a partir do horizonte de saberes dos nossos alunos, quais os conhecimentos e mecanismos pedagógicos relevantes na construção, e aplicação, de um plano de ensino que buscasse transcender a relação dialética entre o caráter tecnicista, incutido na forma a qual a sociedade reproduz a questão nuclear, e seus aspectos políticos, logo, sociais. Neste sentido, almejamos justificar a necessidade na democratização do debate nuclear, mas também, admitindo aqui a dialeticidade entre o técnico e político, compreender quais as especificidades conceituais importantes à qualificação da nossa juventude nesta discussão. Para isso, construímos e aplicamos um questionário, junto a duas turmas do segundo ano, que tratou de investigar alguns conhecimentos e atitudes dos nossos estudantes diante de questões que variaram entre o caráter meramente informativo, assim como, questões polêmicas e controversas.

Desta forma, ao final do ano de 2015, foi aplicado um questionário (Apêndice 1) em duas turmas do segundo ano do ensino médio, na escola Simão José Hess, selecionadas previamente, com o objetivo de investigar o ideário de concepções e saberes dos estudantes no que tange assuntos referentes à radiação, radioatividade, o programa nuclear brasileiro, além de aspectos envolvendo suas atitudes diante de uma suposta neutralidade na produção científica. O estudo partiu de uma abordagem quantitativa e qualitativa, tendo em vista que ambas as abordagens se complementam e auxiliam num processo de maior compreensão do tema de pesquisa selecionado.

O questionário contou com trinta questões, divididas em quatro eixos: *Eixo 1 - Compreensões sobre radiação e radioatividade; Eixo 2 - Energia nuclear e os rejeitos radioativos; Eixo 3 - A produção de energia elétrica no Brasil; Eixo 4 - Mitos da neutralidade científica*. A cada um destes eixos tivemos um misto de questões do tipo diretas, com objetivo exploratório, assim como questões via uma escala de opinião do tipo Likert, a qual, por meio de um conjunto de assertivas os estudantes foram instigados a assumirem posturas, refletindo suas atitudes, diante de uma polarização entre as alternativas ali dispostas. Segundo Cunha & Silva (2009, p.2)

(...) por utilizar uma escala de opinião do tipo Likert, composta por um conjunto de assertivas nas quais os respondentes são forçados a se polarizar dentro de uma escala entre 1 (concordo plenamente) e 5 (discordo plenamente), sendo que o 3 (indiferente) representa uma situação intermediária. (...) seu sucesso reside “no fato de que ela tem a sensibilidade de recuperar conceitos aristotélicos da manifestação de qualidades: reconhece a oposição entre contrários; reconhece gradiente; e reconhece situação intermediária” (PEREIRA, 2001: 65). Outra vantagem deste tipo de escala está na possibilidade da existência do conteúdo semântico para representar o nível de concordância (PEREIRA, 2001). Ou seja, adotando esta escala com 5 níveis de mensuração podemos denominar cada nível associando a uma intensidade semântica como por exemplo: concordo plenamente; concordo; indiferente; discordo; e discordo plenamente.

O questionário reproduz, e em algumas adapta, questões encontradas nos trabalhos de: – Cunha & Silva (2009), Construção e Validação de um Questionário de Atitudes frente às relações CTS; – Rzycki & Sartori (1997), Avaliação do conhecimento da população paulistana sobre a energia nuclear e os rejeitos radioativos - O acidente de Goiânia despertou o interesse?; – Tanimoto (2014), Proposta de um questionário destinado a avaliar a percepção de risco relativa a um repositório de rejeitos radioativos; Barragam, Mortimer e Leal (2009), Avaliação preliminar sobre o conceito de Radiação e algumas de suas tecnologias: ideias informais de estudantes do ensino médio. Constam no corpo do apêndice 1, enquanto observações, as adaptações e correspondentes referências concernentes aos autores.

2.2 O segundo momento: Dos caminhos na construção do material

Em um segundo momento, já no mês de fevereiro de 2016, a partir do levantamento e análise dos dados do questionário previamente aplicado (discutidos no capítulo 3), além de uma ampla pesquisa nos materiais instrucionais e literaturas sobre o assunto, disponíveis na Web, nos propusemos a traçar as linhas gerais que norteariam a construção do material didático (Apêndice 2). Neste, desenvolvemos didaticamente alguns dos conhecimentos considerados fundamentais à discussão temática sobre a produção de energia nucleoe elétrica no país. É preciso salientar que, na nossa opinião, a temática nuclear extrapola a questão técnica, trata-se, sem dúvidas, de uma questão política. O discurso regido por esta pseudodicotomia, nega ao conjunto da sociedade o direito de participar no processo de decisões de assuntos controversos envolvendo ciência e tecnologia, hoje reservadas a um pequeno grupo de especialistas, mantenedores únicos do processo de discussões e decisões sobre o assunto. No entanto, vale dizer, que assumir uma relação de dialeticidade entre o técnico e o político no contexto científico e tecnológico, nos leva a assumir uma via dupla de caminhos a serem seguidos de forma concomitante, onde alguns conhecimentos específicos e interdisciplinares podem vir a ser imprescindíveis para que uma simplificação do discurso teórico não se sobreponha a uma fria análise dos fatos que envolvem a temática nuclear no contexto brasileiro. Enfim, o capítulo 4 descreve com maior riqueza de detalhes como se deu o passo a passo deste processo de construção dos textos educacionais.

2.3 O terceiro momento: Aplicando em sala de aula.

Nos meses de junho, julho e agosto de 2016, ao longo de 28 horas-aulas, tempo equivalente a um bimestre letivo, foi desenvolvida a temática junto a uma turma de terceiro ano do ensino médio (3º3) da escola Simão José Hess (SJH). Este mesmo grupo de estudantes, no ano anterior, formou o grupo de alunos respondentes da pesquisa que deu corpo, objetivo e subjetivo, à construção do material didático, produto deste trabalho.

Para aplicação do projeto, o espaço de ensino e aprendizagem precisou ser ampliado, isto é, durante o período normal de aula, matutino, ao longo de 20 horas-aulas¹², apresentamos e discutimos a sequência didática proposta no material de ensino. Foram distribuídos a todos os alunos uma cópia do material didático. A escola, trabalhando conjuntamente à aplicação do projeto, arcou com parte dos custos referente às impressões.

Já no período da tarde, como atividade paralela ao horário de aula habitual, isto é, extraclasse, realizamos quatro espaços, intercalados a cada quinze dias, para exibição e debate de alguns documentários envolvendo a temática nuclear. Estes momentos foram batizados pela turma como o Cine Simão Nuclear, ou apenas Cine Nuclear por alguns.

No capítulo 5 discutiremos os roteiros e dinâmicas desenvolvidos nos planos de cada aula. Analisaremos os documentários exibidos, assim como, compartilharemos alguns momentos do debate que marcaram esse período de ensino e aprendizagem. Além disso, apresentaremos o processo de avaliação dos alunos referentes a cada uma das atividades desenvolvidas.

¹² O período de tempo para uma hora-aula, no estado de Santa Catarina, é de 45 minutos.

CAPÍTULO 3: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Como mencionado, o questionário (Apêndice 1) contou com 30 questões, aplicadas em duas turmas do 2º ano do ensino médio (2º3 e 2º5), na E.E.B Simão José Hess. Teve como objetivo investigar a bagagem cultural de concepções e informações no que tange a tônica do processo de produção de energia elétrica por meio de uma matriz nuclear. No total, foram 46 estudantes que responderam o questionário. Este, foi dividido em eixos de abordagem na tentativa de abstrair um posicionamento comum das turmas sob horizontes de compreensão não apenas do caráter único do conhecimento prévio específico sobre o tema, mas que atingissem o ideário de valores socialmente construídos ao qual estes estudantes partilham.

Assim sendo, os eixos propostos no corpo deste projeto se dão por: Eixo 1 - Compreensões sobre radiação e radioatividade; Eixo 2 - Das concepções e saberes prévios sobre a energia nuclear e os rejeitos radioativos; Eixo 3 - Produção de energia elétrica no Brasil; Eixo 4 - Mitos da neutralidade científica.

3.1 Das compreensões sobre radiação e radioatividade.

O primeiro eixo de análise corresponde à tentativa de compreender aspectos relacionados a radiação e radioatividade. No questionário, corresponde às questões 1 a 8, sendo que, exceto na questão 7, as assertivas estão construídas por meio de afirmações imbuídas em uma escala de opiniões do tipo Likert. Tal escolha se dá com o objetivo de posicionar o aluno entre os extremos de uma afirmação, isto é, concordar ou discordar plenamente das asserções lá presentes.

Na questão 1, conforme o gráfico na figura 1, visamos abstrair a subjetividade construída socialmente em torno do conhecimento sobre radiação no que diz respeito ao quão nociva esta é ao ser humano. Podemos observar que para aproximadamente 60,9% dos estudantes, a radiação é um tipo de propagação de energia “*exclusivamente*” nocivo ao ser humano. Discordaram desta afirmativa, em maior ou menor grau, cerca de 34,7 % dos respondentes, sendo que 4,4% não souberam opinar.

Em uma primeira análise, é possível observar que a maioria dos alunos corroboram com o imaginário comum onde a radiação é sempre prejudicial ao ser humano, não relacionando, ao menos aqui, os diferentes tipos de radiação às tecnologias pertinentes ao seu cotidiano, assim como

a sua utilização na área da medicina nuclear, no tratamento e diagnósticos de diferentes tipos de enfermidades.

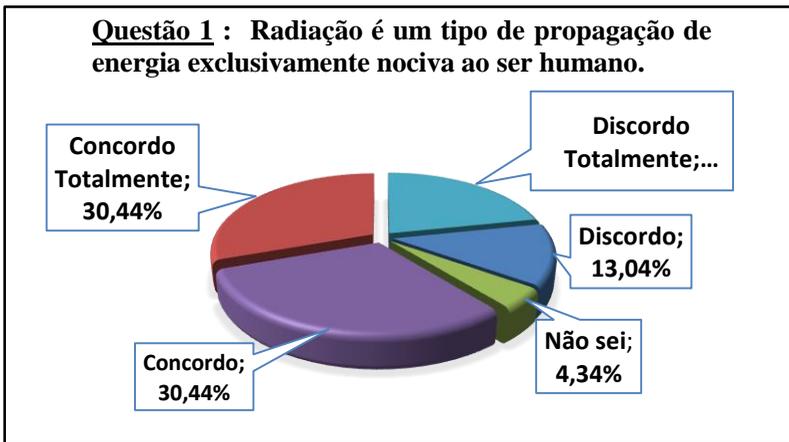


Figura 1: Gráfico referente à afirmação 1 do questionário aplicado.
Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

A seguir, na questão 2, buscamos instigar um posicionamento frente suas percepções no que se refere à diferenciação, necessária aos objetivos deste projeto, entre a exposição e contaminação radioativa. Conforme o gráfico na figura 2 nos mostra, uma ampla maioria, cerca de 67,4%, acredita, total ou parcialmente, que quando um corpo é exposto à radiação, torna-se contaminado. Apenas 23,9% discordaram da afirmativa, além do que, aproximadamente 10,9 % não souberam opinar sobre o assunto.

Como podemos ver, se faz necessário no escopo da organização do material didático, uma diferenciação clara entre exposição à radiação e contaminação radioativa. Afirmamos isto, pois uma compreensão débil deste conhecimento é, geralmente, fator determinante de preconceito. Não raro, por falta de informação, ainda ocorrem muitas dúvidas do público em geral que, por muitas vezes, podem levar a situações de constrangimento às pessoas que optaram por um tratamento radioterápico para sanar algum tipo de enfermidade. Somando-se a isso, casos como o ocorrido em Goiânia, no ano de 1987, quando foi deflagrada uma cápsula radioativa contendo cloreto de cézio, por indubitável negligência do setor

de segurança nuclear no país na época, ainda deixam à margem da sociedade pessoas/vítimas envolvidas diretamente no acidente.

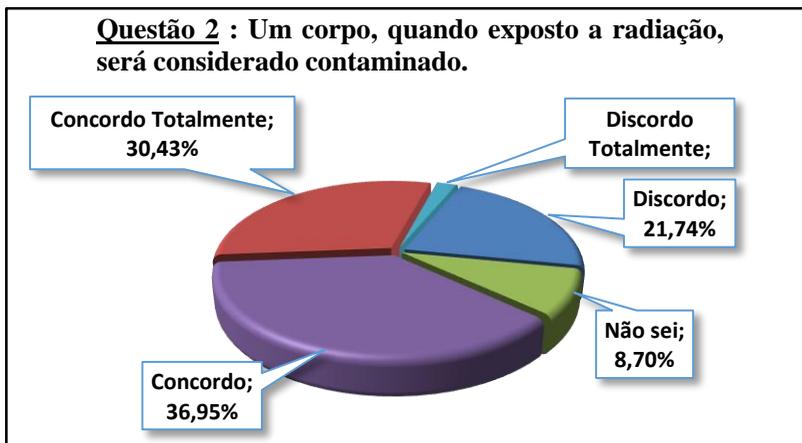


Figura 2: Gráfico referente à afirmação 2 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Na questão três, investigamos se os estudantes, conscientemente ou não, faziam algum tipo de diferenciação entre os termos radiação e radioatividade. Constatamos que, conforme mostra o gráfico na figura 3, aproximadamente 46% discordam, total ou parcialmente, que os termos radiação e radioatividade tenham o mesmo significado. Cerca de 35% concordam, em maior ou menor grau, com a afirmativa, além de 19,5% não saberem opinar.

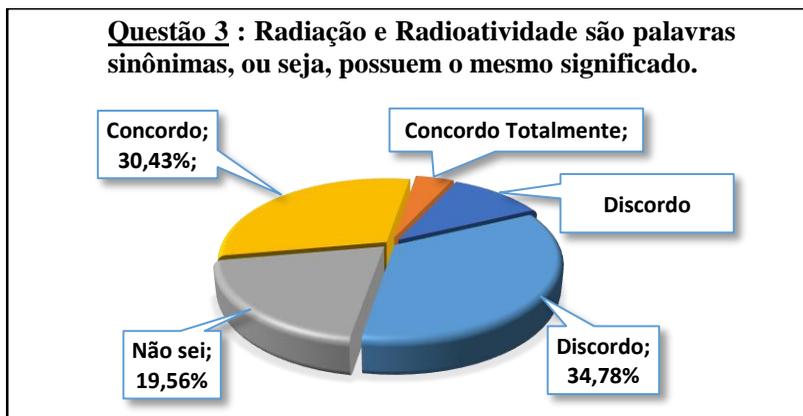


Figura 3: Gráfico referente à afirmação 3 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Neste sentido, fica claro a divisão das opiniões relacionadas a este aspecto do conhecimento sobre radiação, além do que, uma parcela maior de estudantes não conseguiu opinar sobre o tema. Devido a isto, defendemos que o material didático deva dar ênfase a uma discussão que defina ambas, radiação e radioatividade, sob um mesmo espectro de saberes, diferenciando-as no que se refere à origem da radioatividade, isto é, a emissão de partículas e/ou energia do núcleo atômico. Da mesma forma, se faz pertinente uma delimitação precisa frente ao significado da classificação energética dos diferentes tipos de radiação, isto é, ionizantes e não ionizantes. Afirmamos isto, pois acreditamos que além da parcela de respondentes que concordaram com a assertiva, existe a possibilidade de que parte dos alunos que discordaram, total ou parcialmente, estejam relacionando os conceitos de radiação e radioatividade de acordo com a concepção de ionização destas partículas, o que não é correto, embora tenha relação direta.

Na questão 4, complementando as anteriores, investigamos se as turmas tinham noção sobre a existência de múltiplos tipos de radiação, assim como do espectro eletromagnético e a forma como este organiza o conjunto das radiações em torno das suas características físicas. Conforme o gráfico na figura 4, podemos observar que em torno de 61% dos alunos concordam, total ou parcialmente, com a afirmação de que existem vários tipos de radiações, sendo estas organizadas dentro do espectro eletromagnético em função da sua frequência ou comprimento de onda. Contudo, aproximadamente 39% não soube opinar, sendo que não houve quem se opusesse à afirmativa.

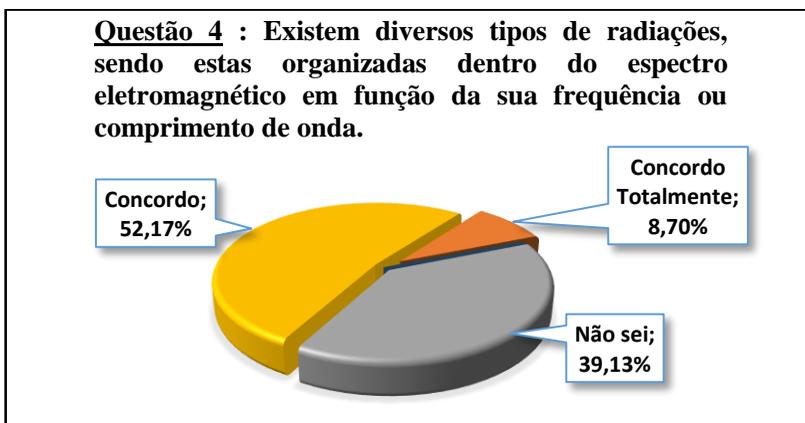


Figura 4: Gráfico referente à afirmação 4 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Nesta situação, faz-se pertinente salientar que do montante dos estudantes que concordaram com a afirmativa, 52,17% destes o fizeram de forma parcial. Isto nos leva a supor que embora tenham ciência da existência de outros tipos de radiação e de um espectro eletromagnético, não conseguem afirmar se este subdivide-se em função de sua frequência ou comprimento de onda. Além disso, salientamos também que nenhum dos estudantes discordou da existência do espectro, o que mais uma vez nos faz pressupor haver uma certa familiaridade destes com a ideia de espectro eletromagnético. Portanto, ao nosso ver, o material didático deve também abordar o assunto e estruturar os aspectos físicos do espectro eletromagnético para os diferentes tipos de radiações.

A questão 5, novamente, desenvolve a concepção de radioatividade de acordo com sua origem, isto é, o núcleo atômico. Conforme o gráfico na figura 5, aproximadamente 58,17% dos estudantes concordam, total ou parcialmente, com a afirmativa, ou seja, que a radioatividade é a propriedade que um determinado elemento químico tem de emitir energia e partículas subatômicas a partir de seus átomos, sendo este um fenômeno que só acontece com alguns elementos químicos encontrados na natureza. Cerca de 13% discordaram, em maior ou menor grau, da assertiva e 28,16% não souberam opinar.

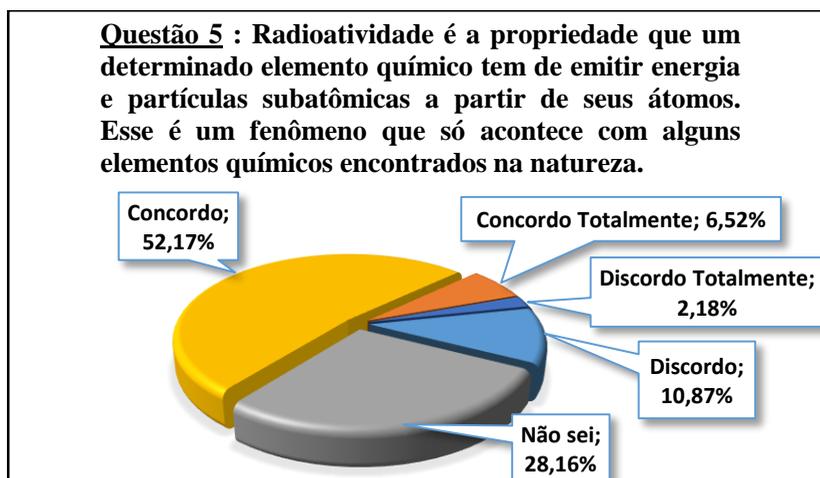


Figura 5: Gráfico referente à afirmação 5 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Cabe a nós fazermos uma autocrítica em relação ao questionamento. Talvez, no trecho da questão que se refere à emissão de

energia e partículas a partir de seus átomos, devêssemos ter substituído por: “(...) emissão de energia e/ou partículas a partir de seus núcleos atômicos”. Afirmamos isto, pois a ideia de radioatividade, didaticamente, ao nosso ver, deveria carregar consigo a compreensão de instabilidade do núcleo atômico. Desta forma, embora no contexto físico não seja falso afirmarmos que partículas e/ou energia, durante o fenômeno da radioatividade, são emitidas pelo átomo, a opção de atrelarmos esta, sempre que possível, à noção de núcleo atômico, possibilita a construção do saber radioatividade, junto aos nossos estudantes, por meio de “gatilhos” que carreguem consigo, de maneira conotativa, a perspectiva de uma contínua e incessante, busca pela estabilidade energética do núcleo atômico.

Na questão 6, abordamos a compreensão dos fenômenos da radiação e sua inequívoca relação com os dispositivos tecnológicos comuns ao cotidiano do estudante, como radares, rádio, forno micro-ondas, televisão, telefonia celular, tomografias, etc. Como mostra o gráfico na figura 6, cerca de 76% concordam, total ou parcialmente, com a relação direta entre estes dispositivos e o conhecimento sobre radiação. Apenas 6,5% discordaram da afirmativa e 17,4% não souberam opinar.

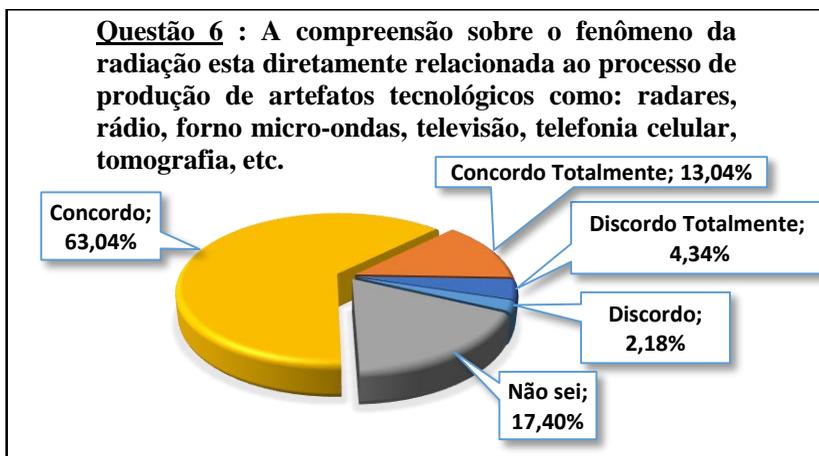


Figura 6: Gráfico referente à afirmação 6 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Apesar da resposta positiva, acreditamos que se faz necessário reafirmar esta relação tecnológica e teórica entre radiação e os dispositivos comuns ao estudante, aprofundando a rede de compreensões que este já possui sobre o tema.

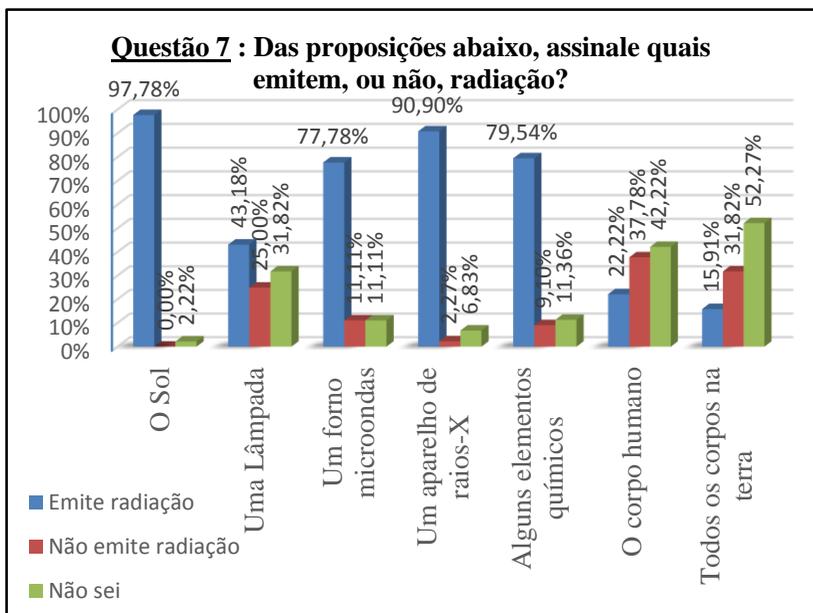


Figura 7: Gráfico referente à questão 7 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Na questão sete, via uma afirmativa de cunho exploratório, tivemos como objetivo avaliar em que situações o estudante consegue perceber a existência da radiação. Conforme é possível observar no gráfico da figura 7, dispusemos uma série de situações onde ocorrem, de maneira explícita e/ou implícita, esta interação (sol; lâmpada; forno micro-ondas; aparelho de raios-X; elementos químicos ...), e pedimos que assinalassem em quais situações havia a emissão de radiação ou não, além de proporcionar uma alternativa para aqueles que não soubessem opinar. No gráfico, as três colunas fazem referência a: 1º coluna – Emite radiação; 2º coluna – Não emite radiação; 3º coluna- Não sei.

A questão oito encerra o eixo investigativo que trata do ideário dos estudantes em torno de radiações e radioatividade. Neste sentido, esta afirmativa busca saber se, sabendo que um alimento foi irradiado, o aluno consumi-lo-ia ou não. Conforme podemos observar no gráfico da figura 8, um montante de 39,12% destes concordariam em consumir o alimento após este ser irradiado. Em torno de 41,3% mostraram-se indecisos,

afirmando que talvez o fariam. Outros 17,39% apontam que não consumiriam.

Questão 8 : Alimentos irradiados são alimentos submetidos à radiação com o objetivo de reduzir a quantidade de microrganismos (como fungos e bactérias), presentes naturalmente, sem a necessidade de aditivos químicos. Esse processo também aumenta o período

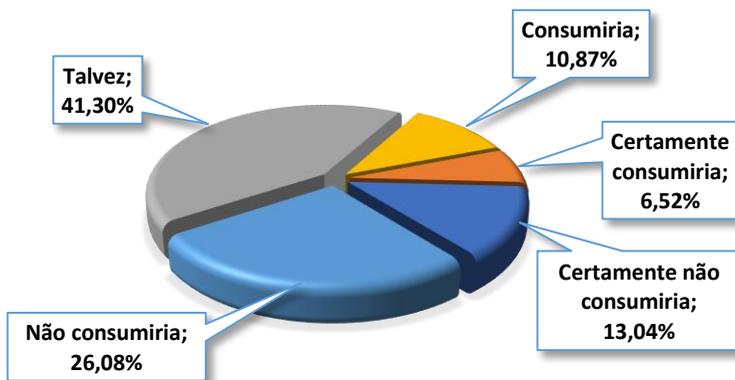


Figura 8: Gráfico referente à afirmação 8 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

A questão 8 veio para reiterarmos a importância de discutirmos, no plano de ensino e no corpo do material didático, as diferenças entre exposição e contaminação radioativa. Faz-se importante afirmarmos que o intuito deste questionamento não caminha conjuntamente com um horizonte de legitimação do consumo de tais alimentos, mas incita a manifestação dos estudantes frente às relações subjetivas que estabelecem com o fantasma criado em torno da radioatividade.

3.2 Das concepções e saberes prévios envolvendo energia nuclear e rejeitos radioativos.

A partir da questão nove, damos início ao segundo eixo investigativo do nosso trabalho, buscando compreender os conhecimentos prévios dos nossos alunos em torno da energia nuclear e seus rejeitos radioativos, assim como os valores e concepções sobre questões polêmicas no que tange à temática. Neste eixo, as afirmativas vão da questão de número 9 até a 16.

Desta forma, iniciamos com um questionamento, onde o aluno poderia marcar uma única opção dentre as alternativas, sobre qual a primeira coisa que vem à mente quando o tema em discussão é energia nuclear. Dentre as assertivas, tínhamos: medicina nuclear; bomba atômica; contaminação radioativa; energia limpa; usinas nucleares; rejeitos radioativos. Conforme podemos observar no gráfico da figura 9, referente à questão 9, em torno de 61,9% dos respondentes atrelam diretamente a ideia de energia nuclear com o processo de produção de energia via usinas nucleares. Cerca de 23,8% pensam imediatamente em bombas nucleares e 14,3% em contaminação radioativa. Não houve quem assinalasse, como pensamento primeiro, as opções: medicina nuclear, energia limpa ou rejeitos radioativos.

Assim sendo, é possível observarmos que, diferente do esperado, o primeiro assunto ao qual os alunos relacionaram o tópico energia nuclear não está diretamente entrelaçado com o processo de produção de artefatos bélicos, ou seja, as bombas atômicas, mas sim, com a produção de energia por meio das usinas nucleares. É importante ressaltar que, talvez, as conversas realizadas previamente junto aos estudantes determinando, por parte do corpo docente, a escolha da turma a ser aplicado o projeto em questão, tenha influenciado a percepção dos alunos em função da temática. Ao nosso ver, embora possa ter havido aqui uma precipitação entre discussões e aplicação do questionário, é factível a importância que estes diálogos podem vir a ter no redirecionamento do horizonte de compreensões destes alunos no que tange as discussões sobre energia nuclear. Assim sendo, a busca de um novo norte nestas discussões, que conduza não apenas a uma visão catastrofista, pode de fato já estar sendo trilhada.

Questão 9 : Dentre as alternativas a seguir, escolha uma para a **primeira** coisa que vem à mente quando o tema é energia nuclear. (Observação: Leia atentamente e marque apenas uma alternativa.) [R&S]*

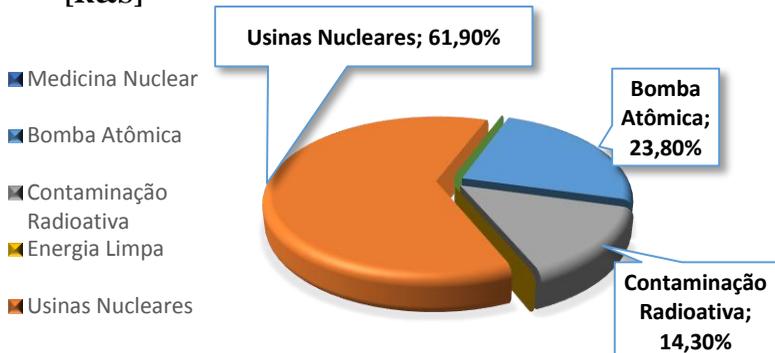


Figura 9: Gráfico referente à questão 9 dentre as aplicadas no questionário.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Na questão 10, desenvolvemos um mito bastante comum relacionado ao funcionamento de um reator nuclear, ou seja, que quando não bem controlado o processo de produção de energia nucleoeletrica, haveria a possibilidade de que estas usinas viessem a desencadear uma explosão atômica semelhante a de uma ogiva nuclear. Como é possível notar no gráfico da figura 10, uma ampla maioria, cerca de 84,5%, concorda, total ou parcialmente, com a afirmativa. Sendo que 13,04% não souberam responder, e apenas 2,17% foi contrário à esta asserção.

Uma breve análise da questão, evidencia a necessidade de alicerçarmos alguns conhecimentos físicos referentes ao funcionamento de um reator nuclear e as condições para que ocorram reações nucleares em cadeia de maneira autossustentável. Desta forma, ao fazerem parte do processo democrático de discussões, nossos alunos não disseminarão este tipo de pensamento comum e equivocado sobre a produção de energia nas termonucleares. De mais a mais, o material didático precisa abarcar discussões que venham a elucidar os princípios de funcionamento de um reator nuclear; o enriquecimento do urânio e os princípios físicos de uma explosão nuclear; isto é, conhecimentos fundamentais à não reprodução de um debate estigmatizado por chavões teóricos equivocados que não auxiliam na construção democrática de um debate sério, coeso e

qualificado. Para isto, acreditamos que seja pedagógico estabelecermos estas discussões utilizando enquanto elemento mediador os reatores do tipo PWR (Pressurized Water Reactor), os mesmo em operação nas usinas nucleares brasileiras, trazendo o debate para o contexto científico brasileiro e mostrando, portanto, porquê, Angra I,II e III não tornar-se-ão uma bomba nuclear durante um processo falho.

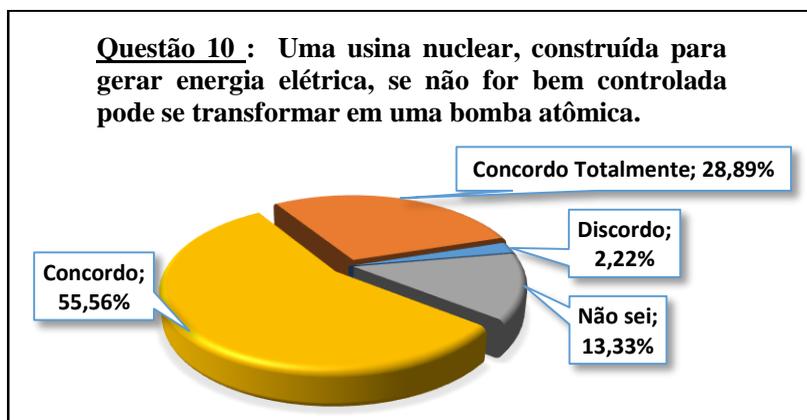


Figura 10: Gráfico referente à afirmação 10 do questionário aplicado.
Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Na questão onze, suscitamos dois tipos de posicionamentos, em geral, polêmicos aos estudantes, isto é, de que a energia nuclear é uma energia limpa e que seus rejeitos radioativos não representam riscos ao ser humano e ambiente, caso bem acondicionados. Conforme o gráfico da figura 11, dos respondentes, por volta de 51,1% discordou, total ou parcialmente da assertiva, sendo que 28,89% não souberam opinar e 20% concordou, em maior ou menor grau, com a alegação.

Desta forma, os resultados deste questionamento nos ajudam a reconhecer a necessidade de ampliarmos o leque de conhecimentos comuns no que tange tais discussões. Além disso, conhecimentos específicos da área podem auxiliar na compreensão entre as visões, conflitivas, das correntes de pensamento dos ambientalistas e dos tecnocratas. Embora, a priori, esta controvérsia possa parecer não apresentar grandes desafios, há elementos que colocariam o mais fervoroso ambientalista em uma possível contradição, assim como a recíproca é válida para a visão tecnocrata, muitas vezes automatizada e descolada do respaldo da maioria da sociedade. Essa discussão vai além

de uma questão técnica, social ou ambiental, mas é uma discussão política, que envolve valores e escolhas frente a um determinado modelo de sociedade.

Questão 11 : A energia nuclear é considerada uma energia bastante limpa, pois não libera poluentes para a atmosfera e o único resíduo que gera é o lixo atômico, que devidamente acondicionado não representa um risco para os seres humanos e para o ambiente.

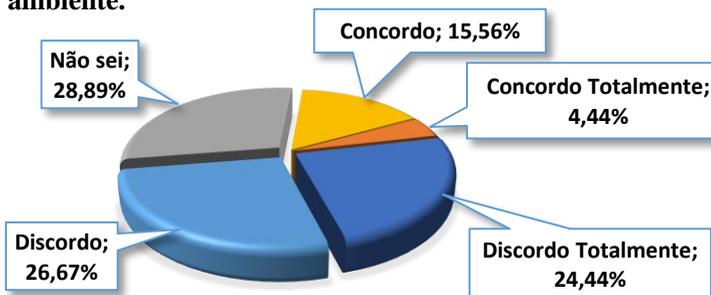


Figura 11: Gráfico referente à afirmação 11 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

A questão doze dá continuidade à parte investigativa da pergunta anterior. Deste modo, busca apurar sobre o nível de conhecimento dos estudantes em torno dos resíduos produzidos pelos reatores nucleares, suas formas de armazenamento e reaproveitamento. De acordo com o gráfico da figura 12, a ampla maioria dos respondentes, cerca de 86%, concorda em maior ou menor grau, que os rejeitos radioativos de uma usina nuclear são materiais contaminados e em sua maior parte não podem ser reaproveitados, além do que devam ser armazenados e depositados em local adequado. Do total, 11,63% não soube responder e apenas 2,32% discordou parcialmente da afirmativa.

Vale ressaltar que, embora haja consenso da necessidade de um local e armazenamento adequado aos rejeitos, a maior parte destes resíduos, mais de 90% do total de uma partilha deste urânio, estão longe de serem inúteis e podem sim serem reaproveitados. Uma discussão séria, mesmo que seja no sentido de defender a não ampliação no número de usinas nucleares no país, não pode esquivar-se deste argumento por meio de falsas interpretações.

Questão 12 : Os rejeitos radioativos de uma usina nuclear são materiais contaminados e em sua maior parte não podem ser reaproveitados, devendo ser armazenados e depositados em local adequado.

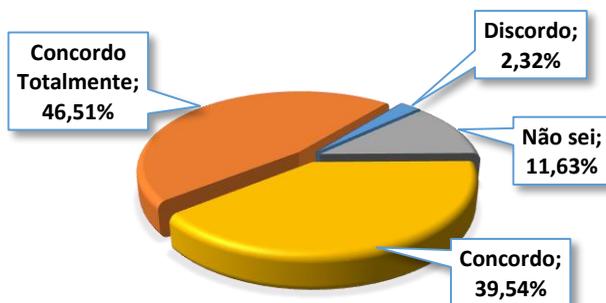


Figura 12: Gráfico referente à afirmação 12 do questionário aplicado.
Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Na questão 13, exploramos, dentre alguns dos destinos da energia nuclear nos diversos ramos, quais das aplicações listadas os respondentes do questionário já tinham ouvido falar em algum momento de suas vidas, além de terem sido empregadas na solução das “situações-problemas” citadas. Como podemos ver no gráfico da figura 13, dos temas que seguem, 15,6% tem ciência da utilização de energia nuclear no processo de dessalinização da água. Em torno de 60% reconhece o uso para produção de combustível nuclear. Aproximadamente 49% já teve contato com a ideia de irradiação de alimentos (talvez a assertiva 8, que trata sobre o assunto, tenha influenciado nesta resposta). Apenas 24,4% reconheceu o uso da energia nuclear para fins bélicos. Por volta de 40% já ouviu falar que é possível realizar tratamento de águas com a tecnologia nuclear, tendo 33,3% reconhecido esta no tratamento de gases tóxicos. Uma ampla maioria, em torno de 82,2% volta a mencionar sua utilização no processo de geração de energia elétrica, sendo que, apenas cerca de 17,8% assentiu positivamente a sua utilização para o diagnóstico e tratamento da tireoide. Contudo, 40% confirma ter conhecimento de que tratamentos para a cura do câncer e diversos outros tumores operam por meio de tal tecnologia. Ademais, 75,6% dos respondentes atrelam a energia nuclear com o processo de construção de bombas atômicas.

Questão 13: Entre as aplicações da energia nuclear abaixo, quais você já ouviu falar? [R&S]*

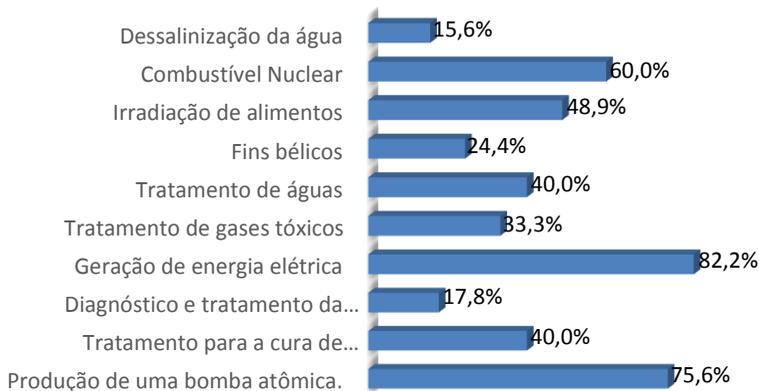


Figura 13: Gráfico referente à questão 13 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Vale ressaltar, que na assertiva que trata da utilização da tecnologia nuclear para “fins bélicos”, o aluno parece não estar familiarizado com o termo. Tal suposição, advém do montante de pessoas que acenaram positivamente no último item, isto é, a produção de ogivas nucleares, artefato única e exclusivamente ligado ao conflito armado, isto é, ao conflito bélico (guerras). Logo, na nossa opinião, o material didático deve dialogar também com este elemento vocabular condizente ao tema.

Na questão 14, investigamos o contexto de saberes sobre as usinas nucleares no país. De acordo com o gráfico da figura 14, podemos observar que 75% dizem ter conhecimento de usinas nucleares instaladas em território nacional. No entanto, apenas 10% deles sabem informar quantas são. Outros 25%, afirmam não haverem usinas nucleares no Brasil, pois o país não domina esta tecnologia.



Figura 14: Gráfico referente à pergunta de número 14 do questionário aplicado.
Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Como podemos ver, os resultados obtidos nesta questão nos direciona à insuficiência com a qual o debate em torno das usinas nucleares brasileiras tem permeado os espaços da juventude. Além de 25% dos respondentes não saberem da existência destas centrais no país, apenas 10% conseguiram responder corretamente o total de usinas construídas, e em construção, no território nacional. Há quem interprete a questão de forma positiva, onde a ampla maioria tem ciência da existência de usinas nucleares em território nacional, mas lembro que, novamente, talvez tenhamos influenciado neste posicionamento ao dialogar com o conjunto de alunos sobre o teor do projeto a ser aplicado no ano seguinte, além de alguns desdobramentos possíveis frente à dinâmica de atividades da turma.

Somando-se a isso, o fato de o Brasil possuir uma das maiores reservas de urânio do planeta, o que o coloca enquanto personagem importante do setor em um futuro próximo, sendo que já há, de acordo com os Planos Nacionais de Energia (PNE-2030 e PNE-2050), a perspectiva de serem construídas quatro usinas nucleares até o ano de 2030 e em torno de outras oito até 2050, aumenta a importância da juventude e o restante da população se apropriarem de tais saberes e permeares suas discussões. Há quem veja a construção destas novas termoeletricitárias sob a óptica de aplicabilidade, isto é, a inviabilidade no cumprimento destes prazos diante da crise financeira e política à qual o país enfrenta, no entanto, faz-se pertinente salientar que o cumprimento ou não destes prazos é irrelevante diante da intenção política e técnica de

fazê-lo, seja em um intervalo menor ou maior de tempo. Isto é, existe aqui, explícito, um direcionamento futuro, já sendo trilhado, de um modelo de expansão da matriz energética nuclear enquanto resposta à já iminente crise no processo de produção de eletricidade pela qual a humanidade haverá de enfrentar. Logo, temos o dever de fomentar um amplo debate sobre o setor, com informações e conhecimentos específicos que dialoguem com as diversas camadas da população, em especial, a juventude, pois são aqueles que terão de encontrar as respostas e dar continuidade às nossas opções de hoje.

Dando continuidade, na questão 15, lançamos uma pergunta hipotética com a intenção de que os estudantes se posicionassem frente a uma possível convocação das suas cidades, por parte do governo, para que opinassem sobre a construção de uma usina nuclear nas suas regiões. Do conjunto de estudantes, conforme podemos ver no gráfico da figura 15, aproximadamente 47% disseram que precisam compreender melhor sobre o assunto para opinar, cerca de 11% concordaram, total ou parcialmente com a construção e em torno de 33% foram contra, em maior ou menor grau, a esta possibilidade. Ademais, 8,9% dos alunos foram indiferentes a terem ou não uma usina nuclear na região na qual vivem.

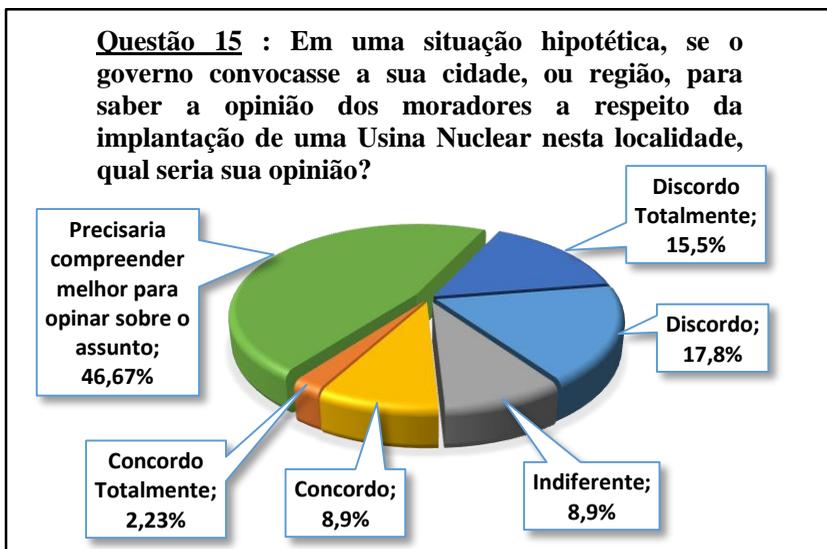


Figura 15: Gráfico referente à pergunta 15 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Os resultados apontam, conforme defendemos na questão anterior, para a ampliação do debate enquanto caminho comum às discussões que abrangem a produção de energia elétrica via matriz nuclear. Uma parcela significativamente alta dos respondentes reclamam pela necessidade de conhecer mais, se informar mais e, portanto, participar do processo democrático de decisões da sua cidade ou região.

A questão dezoito empenha-se em explorar o quanto nossos estudantes conhecem, ou já ouviram falar, sobre os acidentes nucleares de Three Mile Island (1979), Chernobyl (1986) e Fukushima (2011), além do acidente radiológico com césio-137 ocorrido em Goiânia (1986). Surpreende-nos, dentro dos resultados no gráfico da figura 16, o quase não conhecimento do acidente ocorrido com césio-137, no Brasil, estado de Goiás.

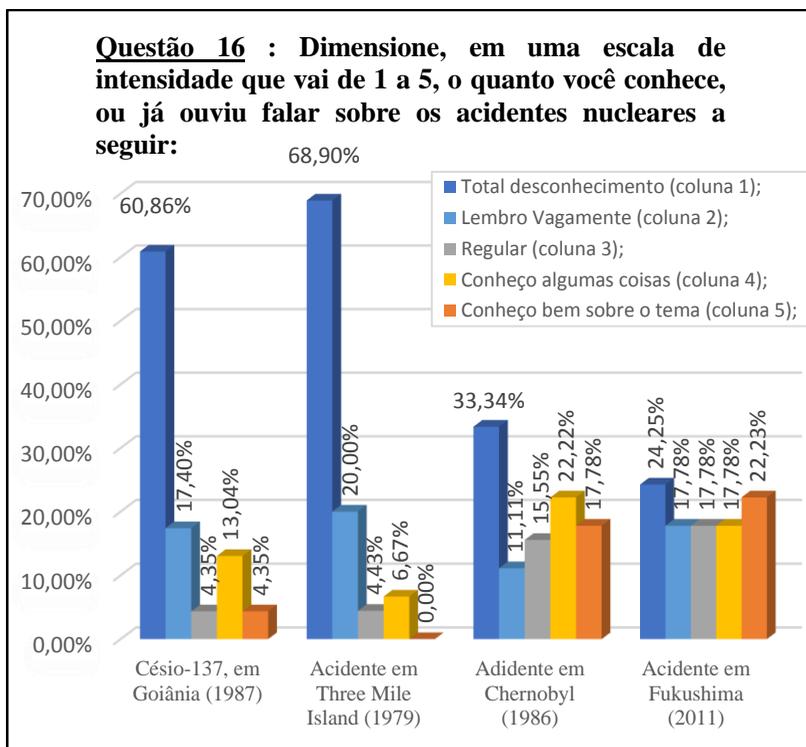


Figura 16: Gráfico referente à afirmação 16 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Tendo como objetivo que estes estudantes consigam debater os incidentes de maneira justa e coesa, a asserção anterior, nos remete à exigência de que, no plano de ensino, devemos visar a ampliação do conhecimento sobre os principais acidentes nucleares e radiológicos ocorridos até então. Isto porque é sabido que eles representam grandes alterações na estrutura de funcionamento e segurança do setor, sendo considerados os filhos bastardos de um discurso científico que agia enquanto pilar de um suposto salvacionismo e segurabilidade tecnológica na produção energética, atrelado ao progresso e desenvolvimento econômico das populações que viviam no entorno destas centrais nucleares. O plano de ensino, em algum momento, concomitante com as discussões realizadas nos debates posteriores ao cine nuclear, deverá discutir os ocorridos, tanto no que se refere a seus impactos sociais e ambientais, como ao fator humano e às especificidades técnicas que levaram aos episódios.

3.3 Do sistema de produção de energia elétrica no Brasil.

As duas questões que seguem nosso planejamento do questionário, operam aqui o que consideramos nosso terceiro eixo de investigação, ou seja, de forma rápida e dinâmica, buscamos atentar ao grau de conhecimento dos nossos alunos no que se refere à produção de energia elétrica no Brasil.

Neste sentido, na questão dezessete, pedimos que indiquem o quanto acreditam conhecer sobre o processo de produção de eletricidade

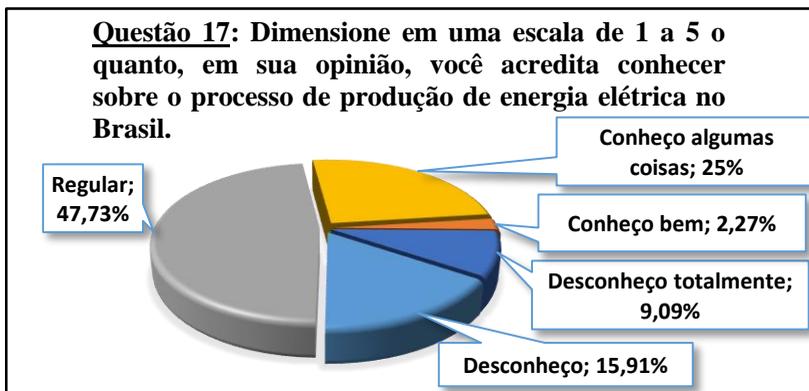


Figura 17: Gráfico referente à pergunta 17 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

no país, sendo que, para isto, dividimos as assertivas em uma escala contendo cinco níveis. Estes são: desconhecimento totalmente; desconhecimento; regular; conheço algumas coisas; conheço bem. Como podemos ver no gráfico da figura 17, cerca de 75% dos respondentes alegam ter algum conhecimento sobre o assunto. Suas posições variaram entre regular, algumas coisas e conheço bem. No entanto, 25 % manifestam não conhecer o sistema de produção elétrica no país, sendo que, inseridos neste último montante, em torno de 9% dos estudantes que responderam o questionário, indicam desconhecer-lo na sua totalidade.

Na questão dezoito, quando indagados sobre a fonte energética preponderante no sistema de produção de eletricidade em território nacional, podemos observar, de acordo com o gráfico da figura 18, que 70,45% reconhecem a matriz hidroelétrica como majoritária. No entanto, cerca de 13,64% aponta a fonte eólica como mote principal deste processo e, em torno de 6,82%, acreditam que o sistema nuclear prevaleça. Outros 6,82%, apontam para o sistema solar e, por fim, 2,27 % para o gás natural.

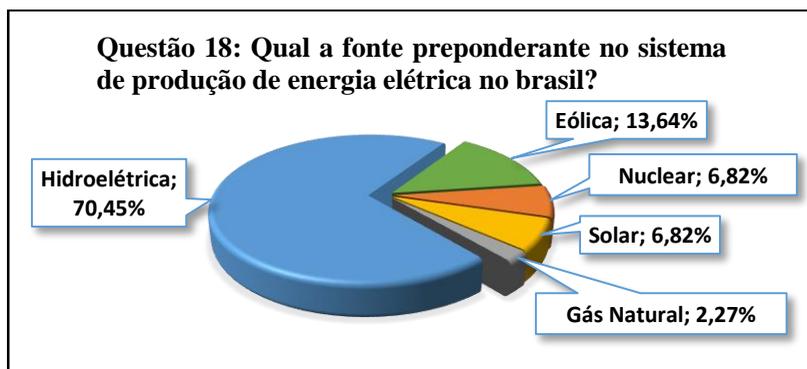


Figura 18: Gráfico referente à pergunta 18 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Os resultados obtidos nesta questão, no nosso ponto de vista, convergem com o observado no questionamento 17. Concluimos isto, pois, se aceitarmos uma pequena margem de incerteza, os 25% de estudantes que alegavam não conhecer o sistema elétrico brasileiro, mantêm-se presentes entre os cerca de 29% que distribuíram o mote preponderante de produção de energia elétrica no Brasil entre os ramos eólico, nuclear, solar e gás natural. Como forma de reverter este quadro, acreditamos que o material didático deve carregar consigo informações e reflexões que dialoguem em torno de um panorama geral do sistema de produção de energia elétrica em operação no Brasil, evidenciando suas

potencialidades e limitações à crise energética que irá se acentuar drasticamente nas próximas 3 décadas (até 2050).

3.4 Dos mitos da neutralidade científica.

O quarto eixo de investigação do nosso projeto incide diretamente na subjetividade das concepções reproduzidas por nossos estudantes, a partir de uma determinada forma de ver e se relacionar com o mundo contemporâneo, no que tange ao processo de produção científica e tecnológica. Tem caráter mais teórico e data da tentativa de não incorrerem na construção de um plano de ensino que, em consonância com Auler e Delizoicov (2001), desconsidere a existência de construções subjacentes ao processo de produção do conhecimento em ciência e tecnologia na área nuclear. Concepções que ideologicamente acarretam em uma visão de neutralidade da ciência e tecnologia.

Auler e Delizoicov (2001) tratam a neutralidade da Ciência e Tecnologia (C&T) enquanto “mito original”, e suas manifestações são particularmente examinadas pelo que os autores denominam como os seus três mitos secundários: (I) superioridade do modelo de decisões tecnocráticas; (II) perspectiva salvacionista da C&T e (III) o determinismo tecnológico.

Isto posto, este eixo de investigação, que vai das questões 19 à 30, teve os três mitos secundários supracitados enquanto subeixos organizativos desta passagem do questionário, ou seja, estes desempenham o papel de categorias norteadoras desta análise. Além disso, dentro de cada uma destas categorias, houve uma subdivisão que datou de investigar a posição dos alunos frente aos seguintes pontos: (1) Quem Está Mais Apto a Tomar Decisões na Sociedade; (2) O Questionamento da Lógica Científica; (3) A Ciência Sempre Benéfica; (4) Preocupação dos Cientistas em Relação aos Efeitos de suas Pesquisas; (5) Questionamento das Soluções Científicas para Problemas Sociais; (6) Linearidade do Desenvolvimento Tecnológico; (7) Influência Externa na Ciência e Tecnologia; e (8) Desenvolvimento Científico e Tecnológico como Caminho Único Possível.

Para mais, é importante ressaltar que tais questões deste tópico foram escolhidas, articuladas e/ou adaptadas, a partir da proposta de questionário publicada no artigo Construção e Validação de um Questionário de Atitudes frente às relações CTS (Cunha & Silva, 2009). Os autores elaboram um sistema de análise em torno do questionário canadense Views On Science-Technology-Society (VOSTS)

(AIKENHEAD et al., 1989; AIKENHEAD & RYAN, 1992) e o Cuestionario de Opiniones de Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS) desenvolvido por um grupo de pesquisadores espanhóis (VÁZQUEZ-ALONSO et al., 2006a), os quais, segundo Cunha e Silva (2009), possuem em comum o objetivo de buscar as concepções existentes no público em geral sobre o desenvolvimento científico e tecnológico, bem como suas relações com a sociedade, através de um enfoque entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

3.4.1 Superioridade dos Modelos de Decisões Tecnocráticos

Nas questões que vão do número 19 a 22, investigamos a compreensão dos alunos frente ao mito da neutralidade da C&T no que tange a uma suposta Superioridade dos Modelos de Decisões Tecnocráticos. Dividimos esta série em subcategorias que abordam questões referentes ao questionamento da lógica científica, e quem, na sociedade, está mais apto a tomar decisões que abrangem assuntos de ciência e tecnologia.

No entanto, a priori, é necessário que tenhamos clareza sobre o que realizamos teoricamente ao mencionarmos, hoje, a existência de uma postura tecnocrática no processo de tomada de decisões no que se refere à ciência e à tecnologia. A palavra tecnocracia advém de uma visão positivista da ciência, onde especialistas com a utilização de métodos científicos, portanto ideologicamente neutros, são aqueles mais aptos a encontrarem a solução para os problemas sociais. De acordo com Von Lisingen (2004, p.5) a “tecnocracia se estabelece, desse modo, como solução para os problemas sociais, de cujas definições e soluções o público não poderia participar por não possuir conhecimentos técnicos suficientes”. Segundo o autor, esta forma de ver e operar o mundo, tornou-se “uma armadilha dos interesses de poder mais implícitos, alijando o público de sua vontade”.

Segundo Auler e Delizoicov (2002), de acordo com os estudos de Luján (1996) e Chassot (1994), o cientificismo funda-se enquanto sustentáculo principal da tecnocracia. Fundamenta-se “na crença da possibilidade de neutralizar/eliminar o sujeito do processo científico-tecnológico” onde o “especialista poderia solucionar os problemas sociais de um modo eficiente e ideologicamente neutro”. Nesta visão, o conhecimento científico tende a apresentar-se enquanto algo acabado, imutável e única forma de conhecimento produzida, havendo, portanto, uma “superioridade teórica e prática da ciência para qualquer situação. A nível teórico, seria um conhecimento superior a todos os demais. No

campo prático, seria a melhor forma de conhecimento para resolver problemas situados desde o campo técnico até o ético” (AULER e DELIZOICOV, 2002, p.3).

Neste sentido, quando apontamos neste projeto para a necessidade de ampliar os espaços de discussão no que tange o programa nuclear brasileiro, significa contestar esta visão tecnocrática onde o população em geral é colocada à parte das discussões, subjugando-a a meros coadjuvantes do processo. Assim sendo, no decorrer das questões subsequentes, desejamos extrair alguns valores e concepções determinantes desta forma de ver o mundo, os quais nossos estudantes reproduzem de forma consciente ou não, e alçá-los à discussão em momentos adequados à aplicação do material didático e debates no cine nuclear.

As duas primeiras afirmações deste subeixo ocupam-se de uma primeira subcategoria de análise, ou seja, fazem alusão ao imperativo daqueles que estariam mais aptos, logo a eles pertenceriam, a tomada de decisões acerca de assuntos referentes à ciência e tecnologia, mesmo quando em questões polêmicas e de repercussão na vida da população em geral.

Neste sentido, a questão dezenove afirma que as decisões referentes à implementação ou não de usinas nucleares no Brasil cabem ser discutidas apenas pela comunidade científica, pois são aqueles que possuem conhecimento para tomar decisões melhor do que as pessoas comuns. Dos respondentes, conforme podemos observar no gráfico da figura 19, aproximadamente 42% discordaram, total ou parcialmente desta afirmação. Cerca de 32,6% concordaram em maior ou menor grau e, em torno de 25,6% foram indiferentes a quem deve, ou não, decidir sobre a implementação de novas usinas nucleares no país.

Os resultados obtidos pelo posicionamento dos estudantes nesta afirmação aponta para a existência de uma divisão entre as opiniões. Todavia, a nosso ver, é positivo o fato de uma parcela significativa, isto é, cerca de 42%, reclamarem a oportunidade de serem parte destes debates. O que nos surpreendeu foi o alto índice de estudantes, cerca de 25,6%, que acreditam ser indiferente quem decide ou não, ou melhor, quem participa ou não dos debates sobre a implementação de novas usinas nucleares em território nacional. Em relação a este último grupo, compreendemos aqui uma postura pouco crítica frente às implicações da ciência e tecnologia na sociedade, assim como um processo de complacência política e descolamento da dinâmica social à qual eles são parte, querendo ou não. Este modo de agir do grupo, caracteriza o que Winner (1987) e Bazzo (1998) apontam enquanto um estado de

“sonambulismo tecnológico”, isto é, um comportamento conformado e de aceitação passiva em nome do “progresso”, no qual inexistente uma reflexão crítica em relação aos aspectos positivos e negativos diante das novas tecnologias em desenvolvimento.

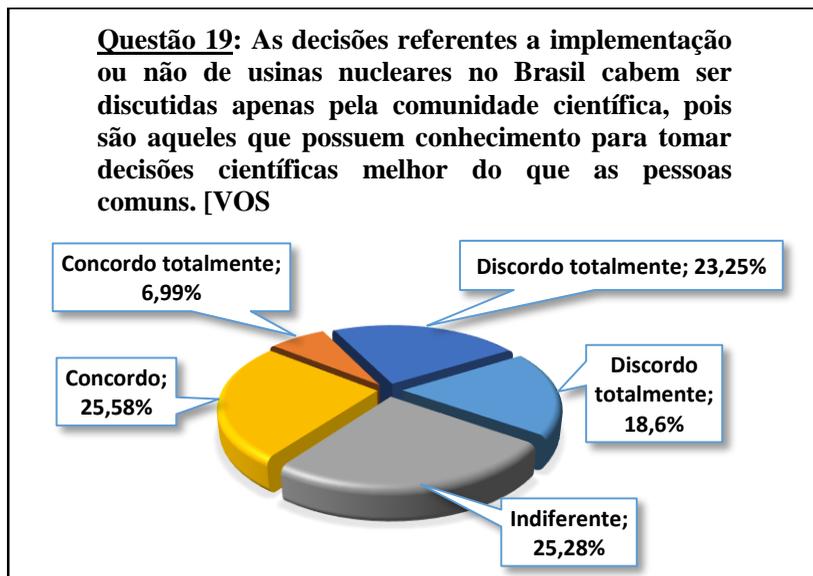


Figura 19: Gráfico referente à afirmação 19 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Na questão 20, afirmamos que as políticas públicas são melhores quando decididas por especialistas. Conforme nos mostra o gráfico da figura 20, daqueles que se posicionaram, tivemos em torno de 44% de discordância, total ou parcialmente, com a asserção. Aproximadamente 16,3% acreditam que seja indiferente quem toma, ou não, tais decisões. Além de 39,5% terem concordado, em maior ou menor grau, com o fato de que especialistas são aqueles que devem se ocupar das políticas públicas.

Neste sentido, acreditamos que os resultados obtidos nesta afirmação, convergem com os indicados na questão anterior, isto é, apontam a necessidade de ampliarmos o processo democrático de discussões e decisões no que tange às problemáticas político-sociais da atualidade. Queremos ressaltar que ao questionarmos esta visão absolutista em torno do poder de decisão por parte dos especialistas, de forma alguma desprezamos sua contribuição, mas sim, uma concepção

enquanto condição necessária à participação nos debates e por si, suficiente. Além disso, no que tange as relações de poder e as imposições do capital, reconhecemos as subjetividades implícitas no processo de tomadas de decisões na sociedade contemporânea, além da necessidade de evocarmos, mesmo que em um horizonte distante, uma radicalização no processo democrático e sua efetiva participação da população em geral.

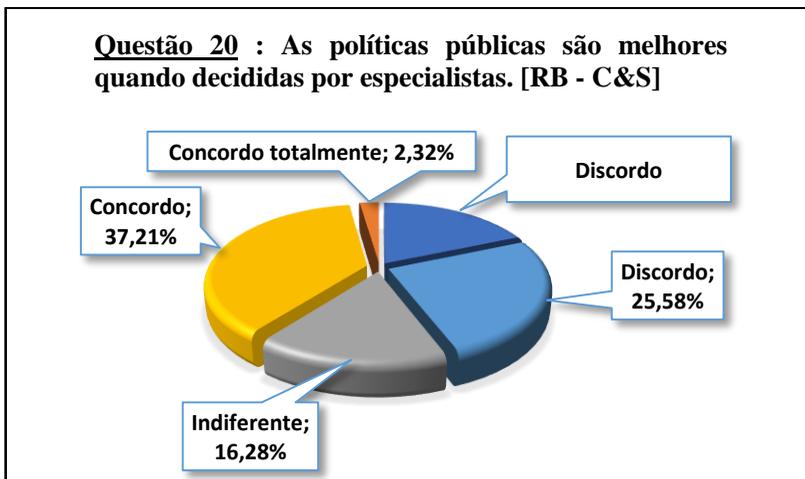


Figura 20: Gráfico referente à afirmação 20 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

As duas questões seguintes partilham daquilo que consideramos uma segunda subcategoria de análise em torno do mito sobre a superioridade do modelo tecnocrático de decisões. Trata-se de um questionamento à lógica científica construída na forma como nossos educandos percebem o mundo, e como estas refletem sobre as suas interações com a realidade, isto é, visamos investigar o papel ao qual o discurso tecnológico, por diversas vezes, cumpre na legitimação e confiabilidade da resolubilidade de todos os problemas e decisões da humanidade.

Na afirmação 21, em contrapartida à questão 8, adicionamos a retórica científica, de acordo com estudos da Organização Mundial da Saúde (OMS), para justificar o uso da tecnologia de irradiação de alimentos com objetivo de aumentar o seu período de conservação. Pedimos que se posicionassem frente à possibilidade de passarem a, ou continuarem a consumir tais alimentos. De acordo com os dados no

gráfico da figura 21, cerca de 27,3% dos respondentes, seguiram afirmando em maior ou menor grau, que não consumiriam tais alimentos. Em torno 36,3% talvez o consumissem, sendo que outros 36,4% afirmam que consumi-lo-iam.

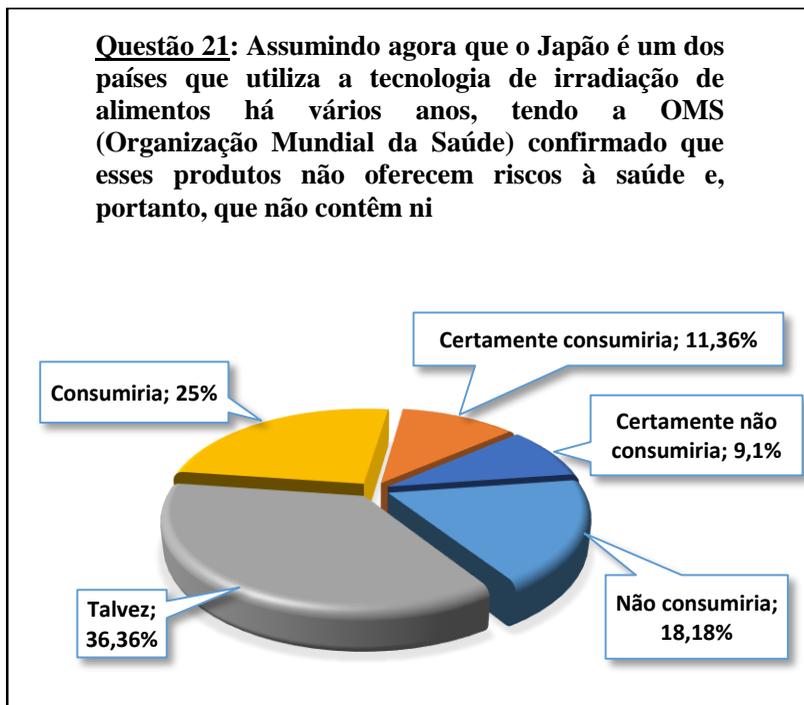


Figura 21: Gráfico referente à afirmação 21 do questionário aplicado.

Comparando os posicionamentos apresentados em ambas afirmações, questão 21 e questão 8, é possível observarmos um deslocamento na postura dos respondentes no sentido do volume de consumo destes alimentos. Enquanto inicialmente, na questão 8, cerca de 13% dos estudantes afirmavam que “certamente não consumiriam” estes produtos após terem sido irradiados, na questão 21 temos um montante menor, em torno de 9%, além do que 18%, em menor grau, continuam afirmando que não consumi-lo-iam, em detrimento dos 26% na situação anterior. Dos 17,4% que estariam dispostos a consumirem estes produtos na questão 8, na questão 21, após uma justificação primeira embasada no

ideário do “cientificamente comprovado”, temos cerca de 36,3% afirmando que o fariam. O montante de pessoas que talvez o fizessem permaneceu, dentro de uma pequena margem de incerteza, constante nas duas afirmações.

Faz-se pertinente aqui enfatizarmos que não fazemos um juízo de valor frente ao consumo destes alimentos, assim como da veracidade ou não da pesquisa apontada pela OMS, mas sim no teor e subjetividade ao qual o discurso científico e tecnológico atua na construção do posicionamento dos diversos sujeitos sociais, isto é, na legitimação de uma prática social. Em outro contexto de discurso, quando o especialista evoca a ciência enquanto mecanismo de comprovação e afirma que a tecnologia nuclear, como geradora de eletricidade, não apresenta riscos à população devido ao patamar de conhecimentos na área e aos constantes avanços do setor, muitos decorrentes de acidentes nucleares anteriores, a nosso ver, mascara a falibilidade, tanto nos aspectos técnicos quanto humanos, imbuídas no processo, além do que, o próprio resultado a longo prazo desta opção energética. Portanto, é necessário problematizarmos, no decorrer deste planejamento didático, os discursos científicos que geralmente agem enquanto juízes, supostamente inquestionáveis, da ação humana. De forma alguma devemos refutar a ciência enquanto elemento que auxilie na sinalização de uma posição comum, mas questionar uma indiscutível passividade do sujeito histórico contemporâneo frente ao bordão do “cientificamente comprovado”.

Na questão 22, afirmamos que a ciência explica o verdadeiro funcionamento da natureza. Podemos observar, conforme o gráfico da figura 22, que cerca de 37% discordaram, total ou parcialmente, da afirmação. Aproximadamente 32,5% dos respondentes concordaram, em maior ou menor grau, sendo que quase 28% acredita que a ciência e o funcionamento da natureza sejam questões indiferentes.

Novamente podemos observar uma divisão no que tange a um questionamento da lógica científica enquanto mantenedora da verdade, o que a nosso ver é positivo em um horizonte de estudos que apontam uma ampla maioria de concordância com a proposição. No entanto, o alto índice de indiferença no que concerne à relação intrínseca do fazer científico e os fenômenos da natureza, volta a preocupar. Isto posto, um olhar mais apropriado a esta demanda se apresenta enquanto oportuno na construção do plano de ensino.

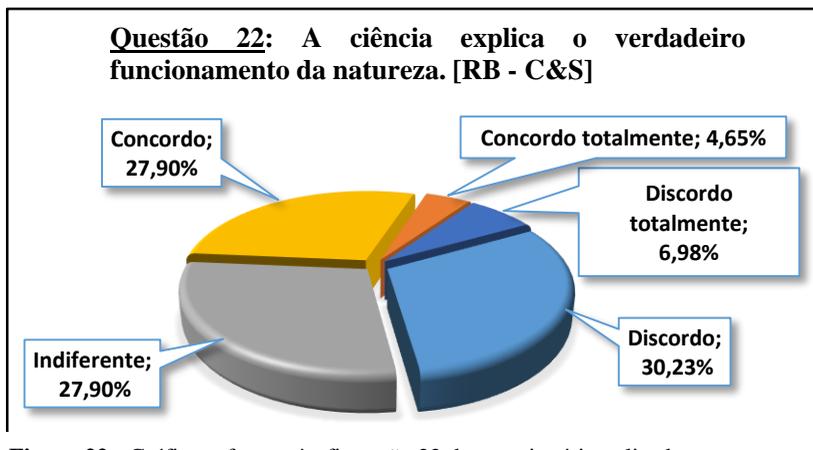


Figura 22: Gráfico referente à afirmação 22 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

3.4.2 *Perspectiva Salvacionista da C&T.*

O segundo subeixo de investigação, nesta categoria de análise, isto é, os mitos envolvendo uma suposta neutralidade da C&T, dá conta de discutir a perspectiva salvacionista atribuída ao desenvolvimento científico e tecnológico. Subdividimo-lo em duas visões subjacentes: *A ciência sempre benéfica*; e o *questionamento das soluções científicas para problemas sociais*.

Segundo os autores Auler e Delizoicov (2006, p. 343), a perspectiva salvacionista da C&T sintetiza seus pressupostos em 2 aspectos: “Os problemas hoje existentes e os que vierem a surgir, serão necessariamente resolvidos com o desenvolvimento cada vez maior da CT¹³; (...) Com mais e mais CT teremos um final feliz para a humanidade”. Tendo em vista tais pressupostos, é perceptível a visão de progresso atrelada a estas conjecturas, além do que, atrelado a esta interpretação do fazer científico, a CT assume um viés redentor dos males que assolam a humanidade.

Deste modo, argumentamos que em contrapartida a este famigerado determinismo, é indispensável que façamos uma reflexão sobre a função social impregnada no fazer científico, em consonância com os valores, necessidades e problemas a serem resolvidos pela ciência e

¹³ Os autores trabalham a sigla CT de maneira análoga à qual usamos C&T, isto é, enquanto abreviação do termo Ciência & Tecnologia.

tecnologia no sistema social vigente. Para isto, é fundamental percebermos que a C&T está diretamente vinculada ao processo produtivo e não obedece, portanto, a valores que deem prioridade às soluções de problemas que agiriam diretamente na vida da população em geral, mas sim, às necessidades do mercado. A C&T não é neutra e, conseqüentemente, não pode ser compreendida em sua totalidade de maneira distante do projeto político de sociedade ao qual sustenta.

Desta forma, as questões 23 a 25, dão conta de tentar compreender a forma como estes alunos irão se posicionar frente a esta visão salvacionista da ciência e tecnologia. Para isto, nas questões 23 e 24 pedimos que se posicionassem diante de afirmações que dialogavam com o ideário da ciência sempre enquanto algo benéfico ao contexto social, assim como, na questão 25, o panorama de resolução dos problemas da sociedade na lógica de produção científica contemporânea.

Na questão 23 afirmamos que uma nova tecnologia só é utilizada se for segura. Dentre os posicionamentos, conforme o gráfico da figura 23, aproximadamente 22,7% discordaram, total ou parcialmente da asserção. Em torno de 11,36% se posicionaram de maneira indiferente ao questionamento, enquanto cerca de 66% concordaram, em maior ou menor grau, com a assertiva.

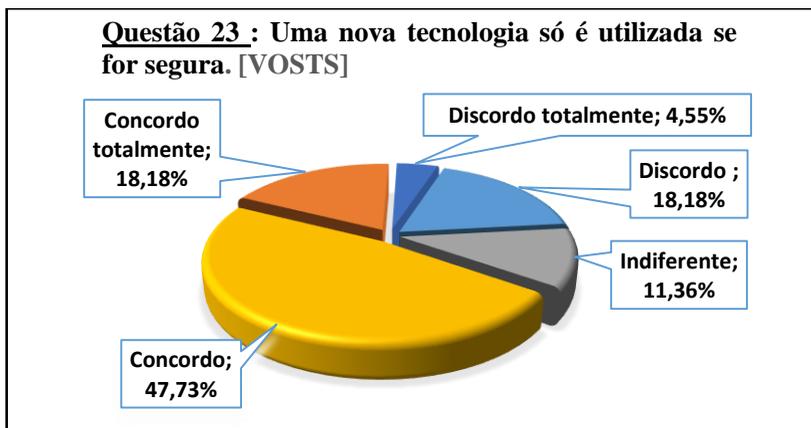


Figura 23: Gráfico referente à afirmação 23 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

No questionamento de número 24, onde afirmamos que nenhuma tecnologia é maléfica a priori, dependendo apenas do uso que a ele for dado, conforme o gráfico da figura 24, em torno de 16% dos respondentes discordaram, total ou parcialmente. Cerca de 29,5% foram indiferentes e

aproximadamente 55% concordaram, em maior ou menor grau, com a declaração.

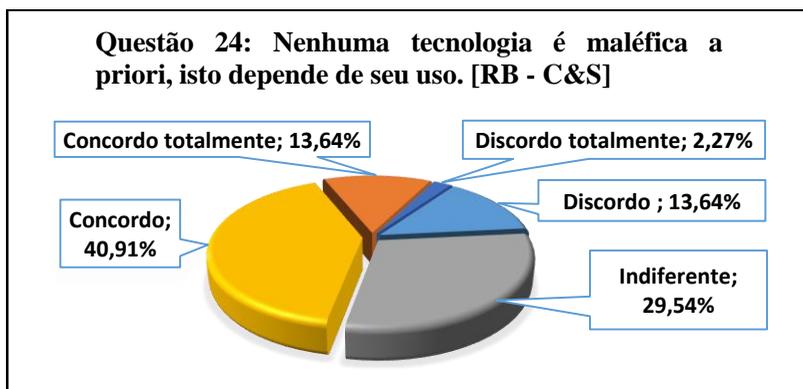


Figura 24: Gráfico referente à afirmação 24 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor

Nestes resultados, isto é, das duas afirmações que precedem este parágrafo, é passível de observarmos a relação de confiança, de via única, estabelecida entre o indivíduo com a ciência. Há aqui, deliberadamente, uma manifestação de ciência enquanto ente benevolente, seguro. Uma sensação de indulgência frente à sua utilização por pessoas mal intencionadas. É preciso dizer que todo e qualquer produto oportunizado no processo de produção do conhecimento científico, nas suas entranhas, carregam valores e necessidades impostas por aqueles que o financiam. Talvez em tempos remotos o conhecimento tenha se dado pelo simples fato da curiosidade daquele que o pesquisa, desprovido de interesses externos, entretanto, hoje, toda e qualquer linha de pesquisa carrega consigo um processo de legitimação da comunidade científica, que infelizmente provém de um arcabouço de necessidades, na grande maioria das vezes, impostas pelo mercado. A partir do momento que discutimos a origem das necessidades que geram o processo de produção do conhecimento científico, é possível dizermos que em qualquer sistema de sociedade, seja ele capitalista ou comunista, não há, ou haverá, conhecimento sendo produzido de maneira neutra. Isto significa que sempre existirão valores e concepções de mundo os impulsionando. A discussão, portanto, deve ocorrer em torno do que representam estes valores e regras sociais, e o que, ou a quem, eles favorecem.

Ainda neste subeixo, mas agora sob um ponto de vista onde questiona-se o “progresso científico”, tangenciando-o a soluções dos

problemas sociais vigentes, na questão 25, afirmamos que a ciência e a tecnologia certamente, no futuro, resolverão problemas sociais relacionados com a poluição, fome, pobreza. Daqueles que se posicionaram, conforme o gráfico da figura 25, tivemos 25% discordando, total ou parcialmente desta afirmação, enquanto cerca de 56,8% concordaram, em maior ou menor grau. Além disso, aproximadamente 18,2% se posicionaram de forma indiferente à relação entre o “progresso” científico e tecnológico e a solução de determinados problemas sociais.

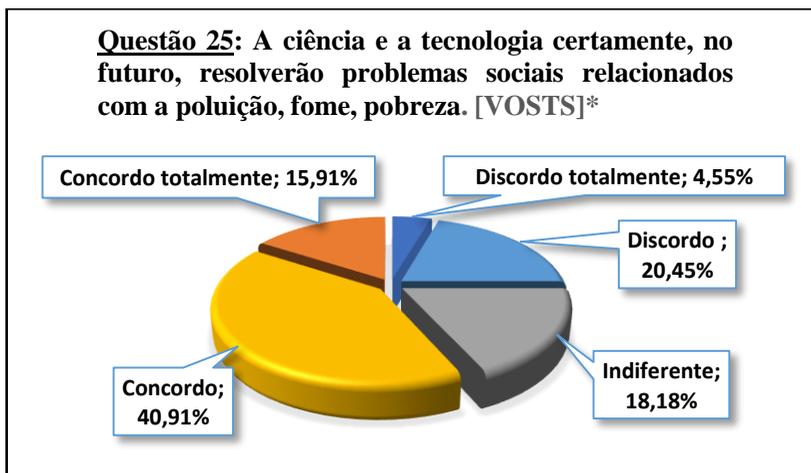


Figura 25: Gráfico referente à afirmação 25 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Com estes resultados, mais uma vez, percebemos uma postura de consonância com o ideário salvacionista da ciência. Se faz pertinente destacarmos que sim, a ciência e o processo de desenvolvimento científico e tecnológico podem cumprir um papel determinante nestas mazelas que assolam grande parte da sociedade, no entanto, na lógica produtiva atual, os valores que, a partir de uma dada concepção de mundo, têm impulsionado a maior parte das pesquisas, não dão conta de tais prioridades. Nunca se produziu tanta comida como nos dias atuais, e mesmo assim, enquanto a fome é uma constante axiomática nos diversos cantos do planeta, toneladas de comidas são queimadas, ou estocadas, para controlar o preço destas comédites no mercado nacional e internacional. À pobreza constrói-se muros visíveis e invisíveis. À poluição, na lógica do capital, se terceiriza a responsabilidade.

Talvez esta última pergunta, em um momento posterior, deva ser reconstruída em função de uma análise no discurso de alguns estudiosos da corrente pró-nuclear, onde concernem a problemática dos rejeitos radioativos à confiança nos avanços tecnológicos em um período futuro.

Isto posto, em conformidade com os resultados deste subeixo de análise, fica evidente por parte dos respondentes, uma concepção de neutralidade da C&T em relação ao projeto político de sociedade que a mantém. Nesta visão, a ciência responde enquanto um veículo condutor ao bem estar social, tendo como princípio o objetivo de facilitar a vida das pessoas. A ciência parece encarnar um ente sempre benevolente, amiga e aliada do homem, distante dos valores que definem o seu papel na sociedade em que vivemos. Neste sentido, no decorrer das discussões que sucedem o plano de ensino, é preciso questionar e problematizar este ponto de vista sem negar o papel da ciência e a sua relação comum com o sujeito social, mas apontar a fragilidade de uma postura de que não admite contestação entre a lógica no fazer científico vigente e as necessidades fundamentais da humanidade.

3.4.3 *Determinismo Tecnológico*

As questões 26 a 30, cumprem nestes trabalho a etapa final de investigação sobre os mitos da neutralidade científica. Fundamentam-se no mito do determinismo tecnológico, subdividindo-o em três subcategorias de análise: “A linearidade do desenvolvimento em C&T”; “Influência externa na C&T”; e “O desenvolvimento científico e tecnológico como caminho único possível”.

De acordo com Auler e Delizoicov (2001, p.5), para Gómes (1997) há duas teses definidoras do Determinismo Tecnológico: “a) A mudança tecnológica é a causa da mudança social. (...) b) A Tecnologia é autônoma e independente das influências sociais”. De acordo com os autores, na concepção de Sanmartín (1990), o determinismo se configura no âmbito de uma superteoria do progresso, isto é, “caminhamos em direção ao futuro, em direção ao progresso, não há mais volta” (p.5). Dentre as características desta superteoria do progresso, o autor aponta:

(...) - A sociedade e o ser humano são considerados produtos de uma tecnologia autônoma em seu desenvolvimento; - A sociedade e o ser humano serão cada vez melhores graças ao acúmulo de inovações tecnológicas. O progresso social é consequência do progresso tecnológico; - Toda

inovação tecnológica é boa por si mesma, contribuindo para a geração de riqueza, para o bem-viver, havendo uma relação causal perfeita entre inovação tecnológica e avanço humano; - Da tecnologia espera-se a construção científica de um mundo sucessivamente melhor. (AULER e DELIZOICOV, 2001, p.5)

O mito do Determinismo Tecnológico também partilha de uma visão linear da ciência, onde segundo Luján (1996) pode ser estruturado da seguinte forma:



Figura 26 – Modelo Tradicional/Linear de progresso

Fonte: Lujan et al., (1996) apud Auler e Delizoicov (2001, p.4)

A afirmação 26 aborda justamente esta categoria de análise, ou seja, a linearidade do desenvolvimento em ciência e tecnologia. Quando questionados se desenvolvimento científico gera desenvolvimento social, de acordo com os dados no gráfico da figura 27, aproximadamente 61% daqueles que se posicionaram, concordam total ou parcialmente com a afirmativa, enquanto que, em torno de 19,5%, discordam em maior ou menor grau. Ainda houveram cerca de 15% dos respondentes que se apoiaram na perspectiva de que desenvolvimento tecnológico e desenvolvimento social são indiferentes um ao outro.

Os dados obtidos nesta questão apontam para uma concepção onde tecnologia atua enquanto elemento facilitador e promotor de bem estar social, negando, a nosso ver, sua função social no sistema que a impulsiona. Embora possamos pontuar diversos elementos que respaldem esta afirmação, como a própria eletricidade, mote de discussões neste projeto, esta linha supostamente incontornável na visão de mundo dos positivistas, pode facilmente ser desmantelada por meio de uma análise crítica entre o que, e para que(m), se produz tecnologia.

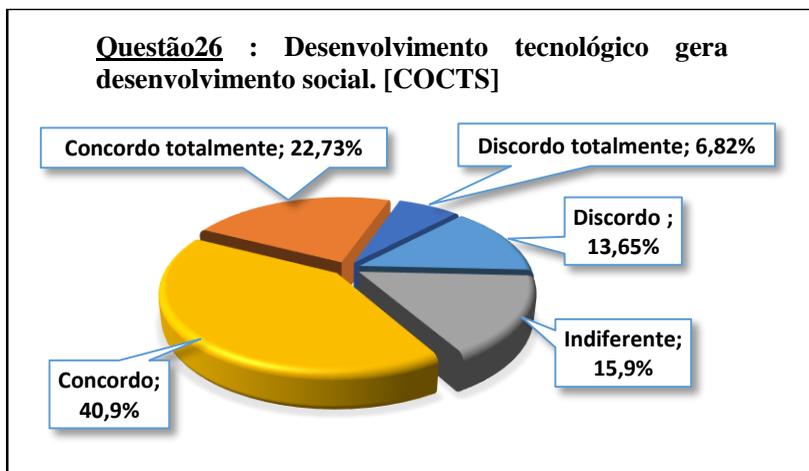


Figura 27: Gráfico referente à afirmação 26 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

Na questão 27, analisamos o mito do determinismo tecnológico por meio de uma subcategoria que incide nas influências externas para as quais estão submetidas a produção em ciência e tecnologia. Pedimos para que os alunos se posicionassem a partir da afirmação de que nenhum grupo social exerce influência nas decisões científicas e tecnológicas, portanto deveríamos desprezar os componentes econômicos na prática científica. Dos respondentes, conforme o gráfico da figura 28, em torno de 41% discordaram, total ou parcialmente, da afirmativa. Cerca de 18% concordaram, em maior ou menor grau com a alegação, sendo que, outros 41%, aproximadamente se posicionaram de forma onde haveria indiferença entre tais indicativos, ou seja, a prática científica nada tem a ver com as relações de poder e influência de determinados grupos sociais por meio do componente econômico.

De acordo com o observado nos resultados da questão, chama a atenção o alto índice de estudantes que se posicionaram de forma indiferente à afirmação. A nosso ver, esta idiossincrasia trata-se, indubitavelmente, da manifestação de uma postura de neutralidade no que tange ao processo de produção do conhecimento científico e tecnológico, onde o fator econômico, elemento determinante e propulsor de um determinado ramo científico em detrimento de outro, passa despercebido. Novamente o estado de sonambulismo tecnológico se encaixa no perfil de atitudes e comportamento deste grupo. Para mais, vale destacar que 41% dos respondentes parecem reconhecer as relações de poder intrínsecas à

produção científica e tecnológica, no entanto, não é possível aqui mensurarmos o nível de consciência destes em função destas características subjetivas e objetivas à manutenção social do processo produtivo em si.

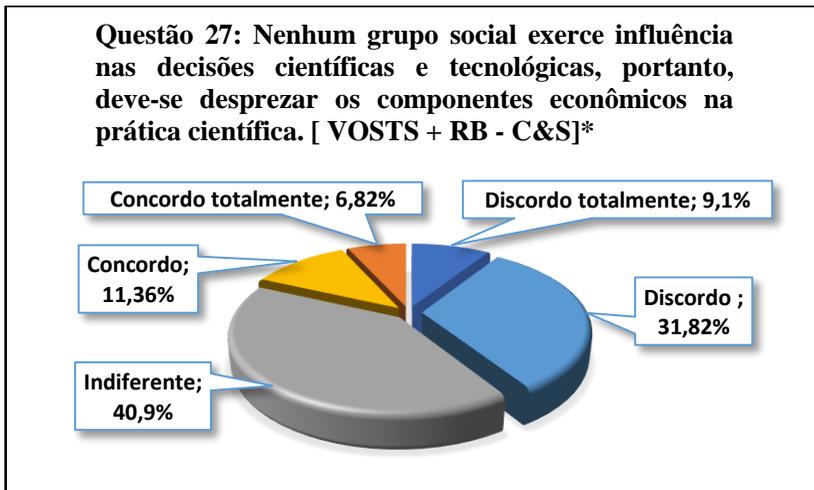


Figura 28: Gráfico referente à afirmação 27 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

As três questões subsequentes buscam dialogar em torno de uma terceira subcategoria da visão determinista, onde a ciência e a tecnologia perfazem um caminho único possível, isto é, trilham a estrada para a verdade e solução de todos os problemas da humanidade rumo ao progresso. Desta forma, na questão 28 do questionário, afirmamos que diferentes disciplinas científicas observam da mesma forma um fenômeno científico. Conforme podemos ver no gráfico da figura 29, aproximadamente 42% dos respondentes concordaram com a afirmação, enquanto cerca de 32,5% discordaram, total ou parcialmente, e em torno de 26% se posicionaram na opção indiferente. Cabe ressaltar que nenhum dos participantes concordou totalmente com a afirmativa.

De acordo com os resultados, uma ampla parcela concordou com a afirmativa, o que nos leva à necessidade de tentarmos contornar esta visão única do saber científico, onde as diferentes áreas do saber científico sempre atuam dentro de um paradigma comum. No entanto, nos preocupam aqueles que assumiram a opinião onde a observação do conjunto das diversas disciplinas em função de um mesmo fenômeno são

indiferentes. Compreendemos aqui uma fragilidade que vai além das interpretações distorcidas da C&T, sinalizando merecer uma discussão acurada nos debates paralelos à aplicação do projeto.

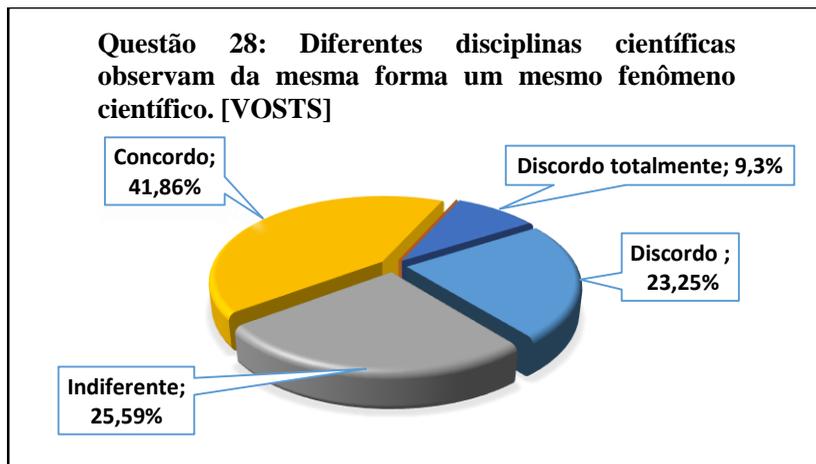


Figura 29: Gráfico referente à afirmação 28 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”.

Na questão 29, afirmamos que a produção de energia elétrica, via matriz nuclear, é o caminho natural do desenvolvimento científico. Conforme o gráfico da figura 30, discordaram cerca de 18,6 % dos res -

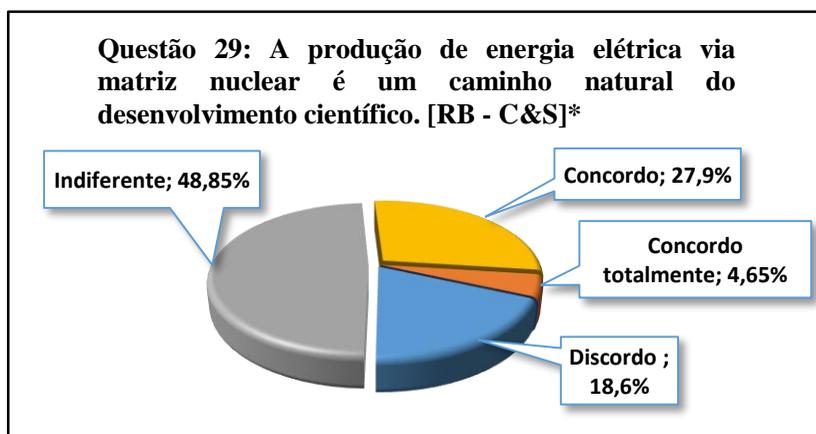


Figura 30: Gráfico referente à afirmação 29 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

pondentes, assim como em torno de 32,5% concordaram, total ou parcialmente. Destes, nenhum discordou totalmente da afirmativa, além de aproximadamente 48,85% terem dito que são questões indiferentes.

Cada vez mais ao longo deste questionário, torna-se importante tentarmos compreender o alto índice de indiferença por parte dos seus respondentes frente aos pontos que discutem ciência e tecnologia de forma entrelaçada às afirmações. A nosso ver, duas suposições são possíveis, ou até mesmo, um misto de ambas. A primeira, parte da falta de interesse na parte final da pesquisa, decorrente de um suposto e possível cansaço referente ao número de questões para as quais solicitamos que se posicionassem (trinta no total). Em seguida, uma sensível ausência de postura crítica, reflexo do sistema de ensino, frente a tais questões. O fato é que, independentemente da suposição que tenha prevalecido nestes resultados, existe de maneira indubitável um descolamento destes estudantes em relação à dimensão do papel ao qual deveriam desempenhar na tarefa de debater a ampliação da matriz nuclear enquanto opção, ou não, na produção de eletricidade do país.

Na última asserção do questionário, a de número trinta, afirmamos que a ciência deve pesquisar sobre energia nuclear para conseguir progredir. Dos participantes que responderam o item, conforme o gráfico da figura 31, tivemos cerca de 11,5% discordando, total ou parcialmente, enquanto em torno de 63,6% concordando, em maior ou menor grau, com a afirmação. Destes, cerca de 21% mantiveram uma posição de indiferença entre os assuntos inter-relacionados pela questão.

Esta última questão assume papel singular no conjunto de afirmações deste projeto, pois, ao nosso ver, é inegável a importância da continuidade na produção de conhecimentos sobre energia nuclear. De forma alguma faz-se aqui uma defesa da suspensão das pesquisas na área nuclear. No entanto, buscamos problematizar o discurso em voga, pela grande maioria dos especialistas na área, atrelado a uma determinada concepção de progresso, onde a única solução dos problemas da humanidade frente à crise energética que vivemos, e que vai se acentuar nas próximas décadas, está no aumento da oferta de energia elétrica por meio da ampliação do contingente de usinas nucleares das quais dispomos. Apresenta-se aqui um caminho único possível, onde aqueles que ousam contestá-lo, caminhariam no sentido inverso ao progresso, ao desenvolvimento natural da ciência.

Segundo Auler e Delizoicov (2001 p.5), na compreensão de Sanmartín, esta forma de ver o mundo trata-se de uma superideologia que

nutre-se de expressões propagandistas do tipo: “ou a revolução tecnológica, que nos trará um mundo melhor, ou o estancamento e o retorno às cavernas”. Para aqueles que reproduzem esta visão, toda inovação tecnológica é boa por si mesma, marchando rumo a uma sociedade mais humana e eficaz. Deste modo, não há uma reflexão crítica sobre os valores e consequências, sociais e ambientais, com a qual o objeto de pesquisa está associado.

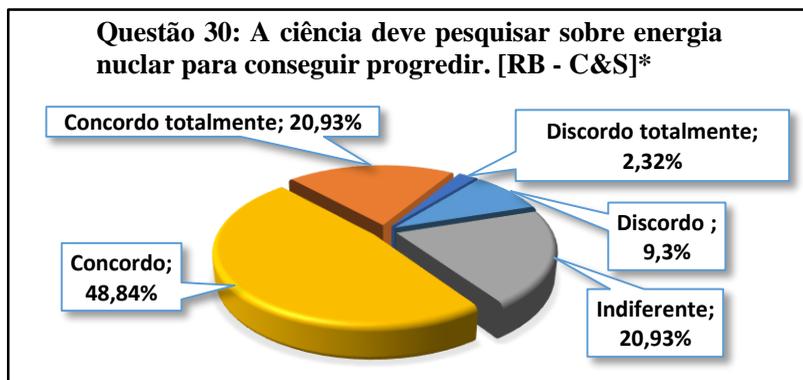


Figura 31: Gráfico referente à afirmação 30 do questionário aplicado.

Fonte: “Elaborado pelo próprio autor”

3.5 Análises Complementares:

Ao final desta etapa, por meio da análise do conjunto de dados obtidos no questionário e reflexões desenvolvidas ao longo de todos os tópicos até aqui, podemos verificar que faz-se necessário um conjunto amplo de saberes na área, com dimensões tanto específicas quanto gerais, na construção coesa da argumentação dos nossos estudantes diante do debate nuclear. Além do que, este debate deve estar conectado ao modo de produção de energia elétrica do país, isto é, suas matrizes elétricas preponderantes diante das potencialidades naturais e tecnológicas que temos em mãos.

Somando-se a isso, o questionário nos possibilitou verificar que entremeadado às discussões que serão abordadas no projeto, há fundamentos de mero caráter informativo sobre a dinâmica do programa nuclear brasileiro, assim como alguns saberes físicos, e porque não, de

outras áreas do conhecimento, que alcançam dimensões estratégicas na construção didática do plano de ensino.

Conforme aponta a pesquisa, a formação dos nossos alunos indica uma fragilidade nas suas concepções em torno da temática radiação. A palavra radiação continua a assombrar os desinformados. Além do que, faz-se relevante conter no material didático, uma distinção entre as características físicas que levem a compreender radiação e radioatividade, em patamares comuns, porém com especificidades diferentes, tanto no que se refere ao seu poder de ionização, quanto à sua origem.

Das concepções e saberes prévios envolvendo a energia nuclear e os rejeitos radioativos pós produção de eletricidade, observamos um desconhecimento das principais atividades do setor, além de alguns incidentes importantes no que se refere ao domínio dos principais eventos envolvendo a temática. Episódios como o acidente radiológico ocorrido no Brasil, em Goiânia, no ano 1987, sobressaíram-se como não contemplados na formação e discussões travadas pela maior parte destes estudantes ao longo das suas experiências de vida. Além do mais, uma discussão mais profunda em torno do que significa exposição e contaminação radioativa deve ser abarcada, impreterivelmente, no decorrer do planejamento e construção do material didático.

No que diz respeito ao eixo de discussões sobre a produção de energia elétrica no Brasil, uma parcela substancial de estudantes mostrou desconhecimento do panorama energético do país. Isto implica a responsabilidade de pontuarmos e discutirmos a ampliação prevista na oferta de eletricidade por meio das term nucleares, em contrapartida à crise energética que se aproxima, assim como, instigarmos uma reflexão crítica frente aos padrões de consumo elétrico “ideais” ao desenvolvimento humano no sistema do capital, diante das necessidades cada vez maiores impostas pelo fetichismo da eletricidade enquanto mercadoria.

Ademais, percebemos a inevitabilidade de problematizarmos algumas concepções do conhecimento científico e tecnológico atreladas à perspectiva de sua neutralidade. Na tentativa deste plano de ensino não incorrer em uma visão reducionista do ensino em ciências, buscaremos desvelar algumas posturas implícitas ao discurso científico, as quais resultam na legitimação de uma suposta superioridade do modelo de decisões tecnocráticas à questão nuclear, além de uma perspectiva salvacionista à qual se impõe diante da atual crise energética no planeta. Este determinismo, ao nosso ver, precisa ser combatido.

Em geral, compreendemos que as atitudes reveladas pelo grupo de estudantes respondentes do questionário, convergem à reclamarem para si, participação no debate sobre a construção de novas usinas nucleares na atual dinâmica brasileira. Por conseguinte, além da necessidade de ampliarmos as pesquisas de ensino existentes na área e sabermos que este é um debate que vai além dos muros da escola, é notável o fato de que o sistema de ensino brasileiro precisa investir fortemente na formação, desta e das próximas gerações de estudantes, para que enfim estejam melhor preparados para herdar uma controvérsia de tal magnitude.

CAPÍTULO 4: DA CONSTRUÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

O estímulo ao diálogo, o respeito aos interesses e a compreensão entre os diferentes estágios cognitivos e sociopolíticos dos nossos estudantes, são elementos fundamentais ao pensarmos a produção e sistematização de um material didático que venha a favorecer o processo de ensino e aprendizagem. No contexto contemporâneo, a subjetividade ao ato de educar, nas entrelinhas deste material, deve estar muito além do “aprender a fazer”, e sim, diante da velocidade nas mudanças tecnológicas e no acesso à informação, centrado no “aprender a aprender”. De acordo com o Livro Verde (2000, p.45), disponibilizado pela Sociedade da Informação do Brasil (SIB),

(...) educar em uma sociedade da informação significa muito mais que treinar as pessoas para o uso das tecnologias de informação e comunicação: trata-se de investir na criação de competências suficientemente amplas que lhes permitam ter uma atuação efetiva na produção de bens e serviços, tomar decisões fundamentadas no conhecimento, operar com fluência os novos meios e ferramentas em seu trabalho, (...) trata-se também de formar os indivíduos para “aprender a aprender”, de modo a serem capazes de lidar positivamente com a contínua e acelerada transformação da base tecnológica.

Neste sentido, damos início a um trabalho que tem por objetivo fomentar a curiosidade sobre a temática nuclear e mediar a ascensão dos nossos alunos a patamares iniciais que os permitam, de forma autônoma, aprender a conhecer e conhecer para aprender.

4.1 Aspectos Gerais

O processo de construção do material didático envolveu fases distintas, dentre elas: (I) Estudo dos materiais didáticos preexistentes¹⁴;

¹⁴ Entre os materiais estudados vale ressaltar a relevância das apostilas didáticas disponibilizadas pela CNEN para a organização de ideias, curiosidades e definição de pontos relevantes a serem aprofundados nas pesquisas posteriores.

(II) Aprofundamento teórico nos principais conhecimentos específicos da área de interesse; (III) Investigação e análise de dados, obtidos via questionário, de alguns mitos, saberes e atitudes dos alunos frente à questões inerentes aos temas radioatividade e produção de energia elétrica por meio de uma usina nuclear; (IV) Estudo da proposta do MEC, referente ao ensino das ciências naturais, na proposta preliminar à Base Nacional Curricular Comum (BNCC); (V) Organização do conteúdo em conformidade à construção de um plano de ensino e aprendizagem (Apêndice 3); (VI) Domínio da ferramenta Adobe Indesign CS6, utilizada na diagramação do material.

De acordo com Lucius Annaeus Seneca (04a.C - 65), um dos mais célebres advogados, escritores e filósofos do antigo império romano, “não existe vento favorável a quem não sabe onde deseja ir”. Neste sentido, nos propusemos a construir um material didático, na área da Física, que viesse a dar suporte àqueles que desejam conhecer mais sobre o processo de produção de energia nucleoeleétrica no Brasil, assim como, se apropriar de alguns aspectos importantes de um debate que, ao nosso ver, a todos pertence.

Faz-se pertinente dizer que este material não tem a pretensão de dar vazão a todas as discussões e demandas do debate nuclear na atual conjuntura brasileira, mas sim, dentro do contexto de sala de aula, auxiliar no processo de mediação entre professor e aluno, diante da construção de um conjunto de conhecimentos, habilidades e atitudes que qualifiquem as intervenções dos nossos jovens em alguns pontos específicos do debate.

Somando-se a isso, por questões pedagógicas, buscamos não sufocar as discussões diante da dicotomia entre o sim, ou o não, à opção nucleoeleétrica na matriz energética brasileira. Vale dizer que isto não significa reclamarmos a nós uma postura de neutralidade ao escrever o material instrucional, pelo contrário, assumimos as subjetividades implícitas à nossa forma de ver o mundo. Entretanto, não acreditamos que as respostas a este debate já estejam dadas, desta forma, buscamos um debate aberto, sincero e radicalmente democrático, onde as diversas posições sejam respeitadas e o produto final seja um constructo coletivo. Assim sendo, os textos educacionais desenvolvem-se em conjunto a uma proposta de ensino que, além de desmistificar algumas questões relacionadas à energia nuclear, visa instigar o estudante a reivindicar sua participação no processo de discussões e decisões que venham a ser tomadas no setor elétrico brasileiro.

4.2 Da organização didática do conteúdo

Embora o material didático não esteja dividido em capítulos, é possível perceber a existência, mesmo que oculta, de uma estrutura norteadora à temática nuclear. Podemos dizer que o trabalho de produção textual se dividiu em pelos menos três momentos distintos: (1) Carta ao estudante, enquanto elemento motivacional; (2) Conhecimentos específicos da Física, os quais possibilitariam/possibilitarão uma melhor compreensão dos fundamentos fenomenológicos envolvidos no funcionamento de uma usina nuclear; (3) A produção de energia nucleoe elétrica na central nuclear de Angra dos Reis. Neste item, além de discutirmos parcialmente a estrutura de abastecimento na matriz elétrica brasileira, pormenorizamos detalhes da engenharia dos reatores de 2º geração. Os assuntos relacionados a Física abordados no material didático, ao longo dos três momentos supracitados, são resultados de um estudo prévio da temática, realizados por esta equipe, mestrando e professor orientador, e constam no conteúdo programático do plano de ensino e aprendizagem construído por nós e disponível no apêndice 3.

A priori, sob o título “*Carta ao estudante: Precisamos falar sobre nossa opção nuclear*”, procuramos incitar a curiosidade do aluno sobre o tema, fomentamos dúvidas e discussões que a ele, geralmente, passam despercebidas. Contextualizamos alguns pontos do setor energético brasileiro, assim como, uma crise energética eminente às próximas décadas. Apresentamos dados relativos aos planos nacionais de energia¹⁵ que preveem uma alteração significativa do setor nuclear na matriz elétrica brasileira, onde, além de Angra 1 e 2 em funcionamento, e Angra 3 em fase final de construção, apontam a intenção do governo brasileiro em construir outras 12 usinas nucleares em território nacional nos próximos 33 anos. Desta forma, a nosso ver, justificamos a necessidade e o porquê o debate nuclear deve ocupar lugar substancial no horizonte de discussões da nossa juventude, assim como o seu empoderamento¹⁶, e a indispensabilidade de ampliação na participação dos jovens, e população em geral, nestas discussões.

¹⁵ Os dados referem-se aos documentos disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) para o Plano Nacional de Energia (PNE) até o ano de 2030, PNE-2030, e até 2050, o PNE-2050.

¹⁶ O ato de empoderar é considerado uma atitude social que consiste na conscientização dos variados grupos sociais, principalmente as minorias, sobre a importância do seu posicionamento e visibilidade como meio para lutar por seus direitos.

Em seguida, com o auxílio da análise dos dados obtidos na aplicação do questionário, identificamos alguns pontos específicos do saber a serem melhor desenvolvidos junto aos alunos. Além disso, operamos um estudo mais aprofundado em questões específicas da área, assim como dos materiais instrucionais já existentes, o que ajudou a nortear a construção do esqueleto do nosso trabalho. Assim sendo, tendo estabelecido um programa de conteúdos programáticos a serem abordados (Apêndice 3), construímos uma espécie de linhas de transição à transposição didática dos assuntos a serem estudados que, a nosso ver, facilitaríamos, junto aos alunos, o desenvolvimento de alguns conhecimentos fundamentais à compreensão do funcionamento de uma usina nuclear. Dentre estes: – Uma introdução ao modelo atômico; – A existência de outras partículas elementares a matéria, isto é, o modelo padrão de partículas; – O espectro eletromagnético e suas radiações; – Radiações ionizantes e não ionizantes; – A origem da radioatividade; – Os tipos de radioatividade; – Os princípios envolvidos na desintegração dos átomos; – O conceito de meia vida; – A origem da energia contida no núcleo atômico; – A fissão nuclear; – A sustentabilidade, ou não, de sucessivas fissões do núcleo atômico (Reação em Cadeia); – A diferença entre um material físsil e fissionável; – Arquitetura simplificada de uma bomba atômica; – Fusão nuclear; e – Desafios a serem vencidos na construção dos reatores de fusão. A ideia foi que a partir desta sequência conseguiríamos encaixar os demais conhecimentos físicos, tidos como importantes e necessários, à construção textual deste projeto.

Tendo feito isto, a partir deste ponto na construção do material, chegamos, enfim, às discussões que envolveram a produção de eletricidade na matriz energética brasileira. Introduzimos esta questão por meio de um comparativo entre os processos de obtenção de energia hidroelétrica e nucleoeletrônica, nos aprofundando, posteriormente, na arquitetura e funcionamento dos reatores nucleares encontrados na central nuclear de Angra dos Reis. Passamos, portanto, a conhecer um pouco mais sobre: – as usinas nucleares brasileiras; – a tecnologia de seus reatores; – a capacidade de produção e abastecimento de Angra 1 e Angra 2, além do que é previsto para Angra 3; – o ciclo do urânio; – a arquitetura, funcionamento e segurança dos reatores nucleares; – o plano de emergência da Eletronuclear em caso de acidentes e; – os tipos de rejeitos radioativos, assim como, mecanismos de armazenamento destes por períodos determinados. Finalizamos as discussões, apontando os motivos pelos quais acidentes como o ocorrido em Chernobyl e Fukushima poderiam ter sido evitados caso a tecnologia dos reatores fosse a mesma utilizada nas centrais nucleares brasileiras.

4.3 Ideias centrais

Na elaboração deste trabalho, em conformidade ao conteúdo abordado e quando consideramos mais conveniente, tivemos o cuidado de tentarmos desconstruir algumas concepções alternativas reproduzidas pelo senso comum e seguidamente divulgadas, de maneira errônea, pelos meios de comunicação ao abordarem a temática nuclear. A partir das discussões incutidas nos textos didáticos, tentamos frisar algumas ideias, dentre elas estão: – Alguns tipos de radiações são comuns e indispensáveis à manutenção da vida humana; – A energia nuclear não é algo necessariamente nocivo ao homem; – Um corpo, ou objeto, quando exposto à radioatividade não está obrigatoriamente contaminado; – Não existe energia limpa, mas padrões de comparação entre as diferentes matrizes energéticas, diante de diferentes aspectos e seus impactos ambientais; – Uma usina nuclear, mesmo quando fora de controle, não tornar-se-á uma bomba atômica; – As circunstâncias e erros que levaram aos acidentes nucleares de Chernobyl e Fukushima não são reproduzíveis nos reatores do tipo PWR utilizados em Angra dos Reis; – Embora o Brasil esteja longe de fazê-lo, devido aos altos custos, a maior parte dos rejeitos nucleares, se houver planejamento, podem sim serem reaproveitados; – Os rejeitos de uma usina nuclear permanecerão em atividade por milhões de anos, tornando-se um problema e desafio a ser resolvido pela humanidade, caso possível, em gerações futuras; – Não existem usinas nucleares à prova de falhas; – O debate nuclear é técnico mas, indubitavelmente, também político, pertencendo, portanto, a todo o povo brasileiro; – Não existe neutralidade quando a discussão envolve ciência e tecnologia; – As pesquisas na área nuclear vão muito além da construção de bombas e produção de eletricidade e, desta forma, devem e irão continuar.

4.4 Análises complementares à construção do material didático

A transposição didática de um assunto de tamanha relevância carrega consigo algumas escolhas, dentre as mais difíceis, a decisão entre o que incluir, ou não, no corpo textual que chegaria até os alunos. O tema exige discussões que extrapolam o campo físico, o que não nos assustou, mas impôs algumas limitações diante da proposta inicial a ser construída, um material didático para o ensino de Física. Acreditamos que uma abordagem interdisciplinar do assunto, junto a um grupo de professores, sob diferentes perspectivas, proporcionaria um debate de maior riqueza,

harmônico e condizente aos desafios impostos a esta juventude nos anos que seguem a sua vida escolar.

Enfim, este material didático conta com uma série de conhecimentos relacionados à temática, buscando, de maneira pedagógica, motivar e possibilitar ao estudante, momentos de aprendizagem e reflexão diante de assuntos de relevância singular no contexto científico e tecnológico brasileiro. Além disso, seguimos o script de um plano de ensino passível de ser aplicado, durante o período de um bimestre letivo (20 aulas), em turmas do terceiro ano do ensino médio da rede pública de Santa Catarina.

CAPÍTULO 5: DESENVOLVENDO A TEMÁTICA EM SALA DE AULA

5.1 Introdução: Das subjetividades construídas no ambiente da sala de aula.

O trabalho realizado em sala de aula partiu da tentativa de construirmos uma abordagem crítica e reflexiva sobre alguns aspectos envolvendo o processo de produção de energia nucleoeletrônica no Brasil. Acreditando e defendendo tratar-se de um tema controverso, trazemo-los aos alunos na tentativa de criar condições que ampliem um movimento de reivindicação da juventude em nome do direito a tornarem-se parte de tais discussões e decisões na sociedade brasileira. O slogan no topo de cada página do material didático construído para este trabalho, define bastante daquilo que ele busca representar, isto é, *“Usinas nucleares, o debate também é nosso!”*

Compreendendo a educação como um direito humano, de caráter individual e coletivo, o qual tem a função de habilitar o estudante ao exercício de outros direitos, assim como capacitar ao exercício pleno da cidadania (BNCC, 2016), buscamos problematizar um falso consenso construído sob a argumentação de que as discussões sobre as demandas do setor nuclear brasileiro pertencem “apenas” àqueles que possuem conhecimento para fazê-lo, no caso, os especialistas da área. Como já dito, supomos a existência de uma relação dialética entre os horizontes técnico e político nesta discussão, tornando ambos os pontos de vista indissociáveis ao realizar este debate. É preciso democratizar a discussão e as decisões. No entanto, por tratar-se de um tema que carrega consigo uma carga emocional imensa, acreditamos que seja necessário tomarmos alguns cuidados. Veiga (2011, p. 9), alerta que quando o assunto envolve energia nuclear, é preciso “lutar para que a retórica afetiva não sufoque a fria análise dos fatos”.

Não é raro presenciarmos discussões, ou mesmo informações nos diversos meios de comunicação, que ignoram conhecimentos básicos fundamentais à argumentação, propalando medo, preconceito e construindo mistificações comuns e errôneas à forma como nos relacionamos com os temas “radiação e energia nuclear”. Reconstruir alguns destes conhecimentos é uma das tarefas deste trabalho, por exemplo: – As explosões no interior do reator de Fukushima, Chernobyl, ou outros exemplos que venham a lembrar, não foram explosões nucleares. Isto porque, mesmo fora de controle, é impossível uma usina

nuclear tornar-se uma bomba atômica; –A radiação não é necessariamente nociva ao ser humano, pelo contrário, sem ela, provavelmente, não haveria vida no planeta Terra. Ademais, todo corpo emite radiação; – O conhecimento em energia nuclear de forma alguma é dispensável à humanidade. Utilizo enquanto exemplo a radioterapia, que salva a vida de milhares de pessoas todos os anos; – A energia nuclear - como gostam de falar os especialistas - não se configura, nem de perto, enquanto uma energia limpa, ou seja, sem impactos ambientais¹⁷. Para desconstruir isto, basta lembrar que parte dos seus rejeitos permanecerão em atividade por milhões de anos e que até o momento não existe, em local algum do planeta, um depósito definitivo para estes. Além do que, os impactos ambientais de acidentes envolvendo esta tecnologia, podem perdurar por décadas, séculos, ou até mesmo, milênios.

Neste sentido, por meio da temática nuclear e alguns conhecimentos em áreas que vão além da Física, ousamos propor possibilidades de um desenvolvimento pedagógico que buscasse oportunizar situações de ensino e aprendizagem, as quais estes jovens viessem a: (i) despertar a curiosidade sobre o assunto; (ii) capacitá-los ao exercício do diálogo e análise de posições divergentes; (iii) fazerem valer suas reivindicações afim de se inserirem plenamente nos debates e decisões sobre o tema; (iv) desenvolver valores e atitudes de modo a contribuir nesta e nas demais discussões e decisões a serem tomadas na nossa sociedade.

Tendo isto em vista, talvez seja possível perceber algumas das subjetividades às quais ousamos tentar incorporar ao espaço de sala de aula durante as discussões e tarefas propostas à turma ao longo do bimestre letivo. Por conseguinte, apresentaremos a seguir alguns elementos do passo a passo à aplicação da sequência didática junto ao grupo de alunos escolhidos por nós.

5.2 Do método:

¹⁷ É sabido por nós que ao mencionarem o termo “*energia limpa*”, os especialistas se referem ao processo de produção energética, isto é, aferem à fatores relacionados a não emissão de gases poluentes e geradores de um agravamento no efeito estufa. Nós, entretanto, acreditamos que este termo leva a uma falsa ideia do processo como um todo, fazendo alusão a um sentimento de confiabilidade e segurança à produção energética que pode vir a ser contraditório quando levamos em conta os demais etapas envolvidas. Ao nosso ver, é necessário compartimentalizar estas etapas, o que, em sua totalidade, atuaria enquanto elemento determinante na depuração desta suposta limpeza energética.

Optamos por um plano pedagógico que não se restringiu ao período formal de sala de aula. Parte das discussões, geralmente as mais técnicas e específicas, foram realizadas durante um espaço de tempo de 20 horas-aulas¹⁸, no período matutino, com o auxílio do material didático previamente construindo, seguindo o pleno andamento do planejamento escolar. No contraturno, como atividade paralela ao horário de aula habitual, realizamos a exibição e o debate de quatro documentários envolvendo a temática nuclear. Com sessões, em média, de 2 horas-aulas, totalizando, 8 horas-aulas ao final do projeto. As sessões, assim como o debate, foram abertos a quem mais quisesse participar e tiveram grande repercussão entre os terceiros anos e grêmio estudantil na escola. A turma do projeto o batizou como Cine Simão-Nuclear

Aos alunos da turma 3º3, já no início do curso, foi solicitado a leitura prévia do material didático. Devido à complexidade de algumas passagens envolvendo o tema, em grande medida, nossas aulas no período matutino foram de caráter expositivo. No entanto, as discussões e curiosidades, em maior ou menor medida, conforme o conteúdo trabalhado, serviram enquanto elementos de conquista, e reconquista, ao diálogo e motivação dos alunos ao longo da aplicação deste projeto.

A aplicação do material de ensino, logo, a construção dos planos de aula, seguiram três momentos peculiares. No primeiro momento discutimos elementos que justificassem a necessidade de estudarmos o tema. Este, pode ser caracterizado por meio de sua atuação nos aspectos motivacionais dos estudantes, gerando dúvida, desconforto e “fome” por conhecimento na área. Em seguida, desenvolvemos os conteúdos específicos da Física que podem auxiliar uma melhor compreensão de algumas particularidades sobre o tema. Finalizamos discutindo o processo de produção de energia elétrica nas usinas nucleares de Angra dos Reis, socializando pontos referentes à sua tecnologia, arquitetura e funcionamento dos reatores e segurança nuclear.

Nos tópicos a seguir descrevemos um pouco daquilo que foi realizado a cada aula do projeto, assim como dos debates no cine nuclear e avaliações da turma ao longo do bimestre letivo.

5.3 Da apresentação da sequência didática aos estudantes:

A partir de agora iremos apresentar os roteiros e dinâmicas desenvolvidos no decorrer das 20 horas/aulas que marcaram o estudo do material instrucional construído para o projeto. Da mesma forma o

¹⁸ O período de uma hora-aula nas escolas da rede pública do estado de Santa Catarina, é de 45 min;

faremos com os quatro documentários exibidos no período contraturno, comentando os pontos relevantes à construção do debate. Para isto, seguiremos os planos de aula construídos para a disciplina e disponíveis nos apêndices deste trabalho.

5.3.1 Da motivação:

As quatro primeiras aulas em sala tinham papel fundamental na motivação da turma. Ao nosso ver a tarefa teve êxito, trazendo os alunos à discussão e efervescência de dúvidas referentes ao tema. O índice de participação da turma superou as expectativas iniciais. Divididas em duas semanas, geralmente com aulas duplas, isto é, consecutivas, preparamos um plano de aula, disponível no apêndice 4, que viesse a integrá-las dentro de uma perspectiva única de continuidade nas discussões.

5.3.2 Aulas 1 e 2

As duas primeiras aulas do projeto foram destinadas ao trabalho conjunto da turma e apresentação do primeiro tópico do material didático, isto é, “Carta ao Estudante: Precisamos debater nossa opção nuclear”.

A turma, que no momento contava com 26 alunos, foi dividida em 6 grupos. Cópias do texto educacional em questão, foram distribuídas a cada um dos alunos. A eles foi pedida a leitura individual e posterior discussão junto aos colegas, sendo que, no final, cada grupo, por meio de um ou mais integrantes, iria comentar sobre aquilo que leu.

Ao final dos primeiros 15 minutos de atividade, foi possível observar o início das discussões entre a maior parte dos grupos. Alguns integrantes já sublinhavam os pontos de maior relevância sobre quais fariam seus comentários. Transcorridos 40 minutos da primeira aula iniciamos a socialização entre os pontos sublinhados.

Já o primeiro grupo frisou não saber da intenção de construção de 12 usinas nucleares no país até 2050. Demonstrou certa preocupação e afirmou que precisaria conhecer mais para conseguir debater. Os demais, quase que como um consenso, compartilharam acreditar na hipótese de que uma usina nuclear poderia transformar-se em uma bomba atômica. Além disso, demonstraram interesse em conhecer mais sobre os acidentes de Chernobyl e Fukushima. Mas o que chamou a atenção, conforme já era esperado, foi o discurso de medo quando o tema envolvia energia nuclear e radioatividade, além de uma aversão, quase que generalizada, às usinas nucleares. Apenas um grupo de alunos defendeu a energia nuclear utilizando um discurso de que este era um caminho sem volta e menor

impacto ambiental. Quando indagados pelos colegas sobre o que fazer com os rejeitos radioativos, adotaram um discurso que me pareceu, em linhas gerais, o de “menor dano”.

Nos 25 minutos restantes, assumimos o papel de comentar melhor alguns dos pontos que ali estavam, dentre eles: o papel do Plano Nacional de Energia e suas perspectivas no setor nuclear; Alguns dos mitos comuns envolvendo a radioatividade e energia nuclear e finalizamos contextualizando a iminência de uma crise energética, no Brasil e no mundo, e as limitações naturais à qual o setor hidroelétrico teria para suprir a demanda de energia no país. Neste sentido, encaminhamos o final da aula expondo a necessidade da juventude apropriar-se uma discussão que, segundo eles mesmos, não se sentem parte, reivindicando sua participação nos debates e decisões do setor.

5.3.2 Aulas 3 e 4

Atuando enquanto segunda parte da aula anterior e também em conformidade com o plano de aula nº 01, disponível no apêndice 4, iniciamos as aulas desta segunda semana com um vídeo disponibilizado pela Eletronuclear e que se propunha apresentar a energia nuclear em cerca de dois minutos.



Figura 32: Imagem capturada do vídeo exibido.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=OzxiOdmTD58>

O vídeo, em pouco tempo, de maneira simplificada e coesa, apresentou a ideia de densidade energética de uma pastilha de combustível de urânio; a fissão do núcleo de urânio e liberação de energia e; o funcionamento de um reator nuclear até gerar energia e chegar nas suas casas. Foi tida com incredulidade, a priori, a afirmação de que uma única pastilha de combustível nuclear seria capaz de produzir um montante de eletricidade

equivalente à produzida por 22 caminhões tanques de óleo diesel com capacidade para 25 mil litros de combustível cada. Este comparativo agitou a parte inicial das aulas.

Em seguida, por meio daquilo que já havia sido mostrado no vídeo, enfatizamos os princípios de funcionamento de um reator nuclear. Para isto, utilizamos uma imagem animada (GIF) de um reator do tipo PWR, comentando os processos de transferência de energia em andamento nos circuitos primários, secundário e terciário dos reatores de 2º geração, isto é, os mesmos utilizados nas usinas nucleares brasileiras.

No momento seguinte, iniciamos um processo de caracterização na oferta e demanda da energia elétrica no Brasil e no mundo. Nos utilizamos dos gráficos da figura 33, disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), para introduzir esta discussão.

Continuamos nesta linha, abrindo espaço para a discussão em torno da crise energética que promete se acentuar nas próximas três décadas. Desta forma, conforme informações do livro “Energia nuclear: do anátema ao diálogo” (2011, p.39), fizemos um comparativo do crescimento exponencial da população nos últimos séculos e a demanda energética necessária a atender o atual modelo de consumo imposto pelo sistema. Além disso, foi considerado nas discussões os prognósticos de aumento per capita no uso de eletricidade pelos próximos 30 anos. É possível observar esta transição por meio das imagens na figura 34.

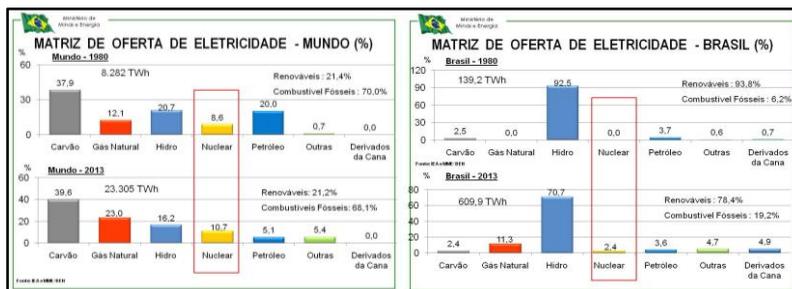


Figura 33: A oferta de energia e eletricidade no Brasil e no mundo.

Fonte: IEA e MME/Balanco Energético Nacional (BEN)

Foi interessante a linha de discussões que sucederam-se as imagens dos slides contidos na figura 34, onde pôde-se perceber a relação que os alunos fizeram com as revoluções industriais e, nas minhas palavras, o êxodo rural no século passado. Da mesma forma, ao serem confrontados com a crise energética, alguns já tratavam de apontar para a energia nuclear como única salvação, outros, passavam a questionar o

modelo de consumo no sistema e as reais necessidades à manutenção da vida. Talvez por esta ser uma turma com bastante integrantes do grêmio estudantil, algumas discussões tenham acontecido de maneira mais crítica ao sistema capitalista.

Crescimento Populacional X Demanda Energética

Praticamente - durante todos os 50 mil anos desde que os primeiros humanos apareceram -, a população mundial nunca excedeu 10 milhões. Então, em algum ponto nos últimos 2 mil anos, alguma coisa ocorreu.

- Levou 50 mil anos para que a população chegasse a 1 bilhão.
- Um pouco mais de um século para chegar a 2 bilhões.
- Em torno de 33 anos para chegar a 4 bilhões.
- Quatorze anos para chegar a 5 bilhões.
- Treze anos para chegar a 6 bilhões de anos.
- Doze anos para chegar a 6 bilhões.
- Hoje somos 6,6 bilhões de pessoas e em 2050 seremos aproximadamente 9 bilhões.

Crescimento Populacional X Demanda Energética

Entre hoje e 2050, enquanto a população mundial vai passar de 6,6 bilhões para 9 bilhões, a humanidade há de consumir mais energia do que o total utilizado em toda a história passada.

Segundo os padrões predominantes de uso de energia, os resultados vão mostrar-se calamitosos. Além da poluição, a concentração intensificada de gases de efeito estufa vai chegar a um ponto sem retorno, em direção a uma catástrofe climática.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Figura 34: Slides construídos para a apresentação das discussões em sala.

Fonte: Feitas pelo próprio autor.

Nos encaminhamos para o final da aula iniciando um processo de conversas diante de algumas das vantagens e desvantagens na energia nuclear. Encerramos a aula com a exibição de um debate, no formato de vídeo, entre Stewart Brand, defensor da expansão da energia nuclear



Figura 35: Imagem de apresentação do vídeo exibido em sala.

Fonte: TED - <http://migre.me/u5Rab>

enquanto matriz elétrica e Mark Z. Jacobson, contrário. Vale dizer que o tempo de 90 minutos, duas horas-aulas não foi suficiente, tendo os alunos pedido espaço ao professor de filosofia, aula depois da nossa, para “terminarem” de assistir o vídeo de 25 min. Segundo relato do colega de trabalho, permaneceram durante todo o período de sua aula discutindo

questões ali levantadas e a relação de dominação entre homem e natureza, além de um determinado padrão de valores que dá norte ao modelo de vida e as necessidades das pessoas neste sistema.

5.3.3 Aulas 5 e 6

Na terceira semana de projeto, isto é, nas aulas 5 e 6, adentrávamos às dimensões específicas envolvendo a área de Física e o tema. Conforme o plano de aula nº 02, disponível no apêndice 5, discutimos um trecho do conteúdo que se estendeu da página 4 a 8 no material didático (Apêndice 2). Desta forma, iniciamos as discussões físicas fazendo uma revisão de alguns conceitos já trabalhados pelos alunos em outras disciplinas. Dentre eles, o ideário envolvendo os modelos atômicos.

Para esta discussão, de maneira bastante superficial, fizemos um apanhado cronológico entre alguns modelos atômicos até chegarmos no modelo de nucleons, onde o átomo se constitui por um núcleo, região composta de prótons e nêutrons, e a eletrosfera, onde orbitam os elétrons. Fizemos questão de caracterizar a provisoriidade no conhecimento referente aos modelos atômicos, querendo com isso, apresentar a Física não como uma ciência pronta e acabada, mas como parte do conhecimento humano, evoluindo com o tempo. Enfatizamos ainda que o modelo de nucleons, embora apropriado para as discussões que teríamos frente à energia nuclear, não era o mais detalhado que até então possuíamos. Em seguida, apresentamos à turma as características de prótons, nêutrons e elétrons, os quais eles mesmos apontaram já terem estudado com a professora de Química (embora afirmassem não lembrar bem do assunto).

Todavia se fazia necessário apresentarmos algumas partículas que fugiam ao modelo atômico de nucleons. Estas teriam importância fundamental quando fôssemos discutir os processos de decaimento radioativo. Em especial, queríamos denotar a existência do neutrino do elétron e dos fótons. Para isto, nos utilizamos da figura 36, que contém uma ilustração dos blocos básicos da matéria, de acordo com o modelo padrão das partículas elementares, e iniciamos uma discussão sobre o quão bem a estrutura de um átomo pode ser observada dependendo da ordem de grandeza da energia de uma partícula usada como ponta de prova, ao colidir com o núcleo atômico.

Após apresentarmos algumas características relacionadas aos quarks, léptons e bósons, mencionamos a existência de uma força

fundamental da natureza, a força forte. Delimitamos sua função de confinar os nucleons à região do raio nuclear.

Enfim, voltamos às discussões envolvendo o modelo atômico de nucleons e demonstramos como os elementos químicos são representados simbolicamente. Finalizamos a aula discutindo o que são elementos isótopos e apresentando os três isótopos mais comuns do urânio, ou seja, U-234, U-235 e U-238.

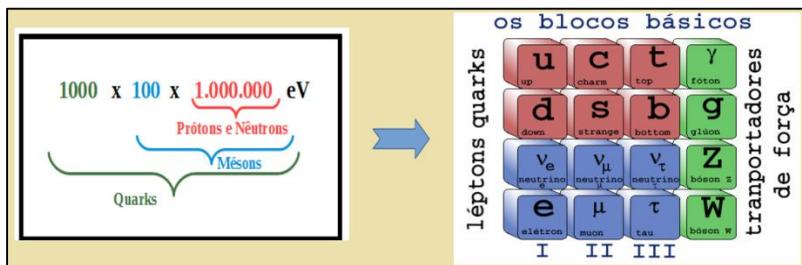


Figura 36: Quadro “Curiosidades”, encontrado no material didático, p.6.

Fonte: Material instrucional feito por nós.

5.3.4 Aulas 7 e 8

As aulas que se seguiram, conforme o plano de aula nº 03, disponível no apêndice 6, compartilharam de uma tentativa em desconstruirmos algumas mistificações reproduzidas, no que concerne as informações levantadas na aplicação do questionário, frente ao ideário dos estudantes sobre as radiações. Além disso, permiti-los conhece-las a partir de um espectro de radiações, discriminando a sua interação, de maneira inquestionável, com diversos tipos de radiação na sua vida cotidiana. Somando-se a isso, discutimos as diferenças entre as radiações ionizantes e não ionizantes, definindo, posteriormente, o que é radioatividade e quais os tipos de decaimento radioativos.

Tendo isto em vista, iniciamos a aula com a pergunta: “— *E se tu soubesses que diariamente estás exposto(a) a radiações? Qual de fato é a natureza destas radiações e o quão perigosas podem ser aos seres humanos?*”. Com algumas intervenções surgiram alunos que já apontavam a existência de radiações comuns ao nosso dia a dia. Apoiado nisso, iniciamos a exposição dos slides, onde, por meio do espectro eletromagnético, evidenciamos uma série de radiações à qual eles estão diretamente em contato. Observe a figura 37:

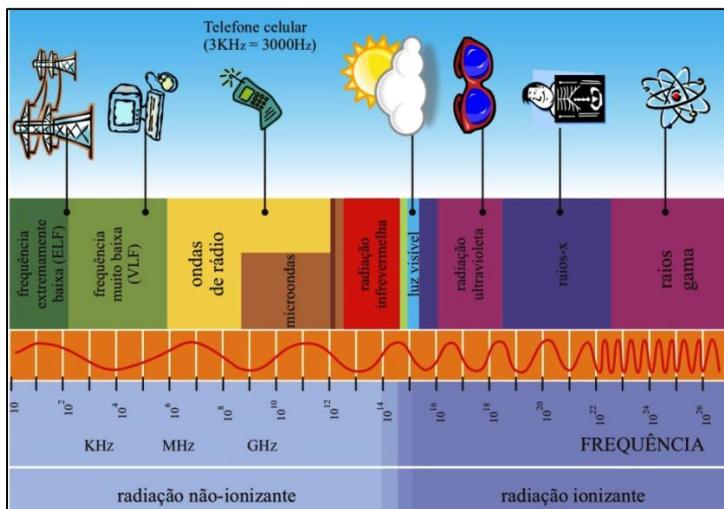


Figura 37: Imagem do espectro eletromagnético e suas radiações.

Fonte: Wikimedia.

A aula, a partir deste momento, ganhou um contexto interessante, pois embora tivessem alguns conhecimentos, a maioria, não compreendia algumas das relações ali presentes com o contexto de ondas eletromagnéticas, neste caso, radiações eletromagnéticas. Enfatizamos a divisão do espectro eletromagnético de acordo com a frequência destas ondas, lembrando-os da relação entre frequência e comprimento de onda, isto é, uma segunda possibilidade de caracterização desta imagem. A imagem, sobretudo, nos ajudou a traçar uma linha entre o que entendemos por radiação ionizante e não ionizante, diferenciando-as a partir da quantidade de energia que carregam consigo e sua capacidade de ionizar átomos e moléculas, podendo danificar, ou não, as células e estrutura genética dos seres vivos.

Para começarmos a discutir a origem da radioatividade, a priori, nos preocupamos em definir a existência dos raios-X enquanto radiação ionizante, no entanto, com origem em interações ocorridas na eletrosfera a partir da mudança da energia dos elétrons e consequente emissão energética. Mesmo que tenhamos a compreensão da dificuldade do aluno em assimilar e acomodar esta ideia, acreditamos ser fundamental à caracterização da radioatividade, pois esta será discutida, sempre, a partir da instabilidade do núcleo atômico. Evidenciando tais diferenças, talvez, e este era o propósito, os alunos comessem a perceber a radioatividade de maneira singular às demais radiações ionizantes.

Nos últimos 45 minutos de aula, nos dispusemos a discutir a instabilidade do núcleo atômico e sua necessária reorganização energética através da emissão de partículas e/ou energia, isto é, o fenômeno da radioatividade. Para isto, através de uma carta de núclídeos, relacionamos o aumento da massa atômica à curva de estabilidade do núcleo dos átomos, conforme a proporcionalidade entre os números de prótons e nêutrons contidos dentro do núcleo. Buscamos demonstrar a concorrência, no núcleo, entre as forças coulombianas, repulsivas e a força forte, atrativa, que em núcleos estáveis é mais intensa. A partir de um desbalanço entre elas, o elemento pode atingir condições críticas de instabilidade, emitindo partículas e/ou energia, para voltar a uma situação de maior estabilidade. Definimos com os alunos o fenômeno da radioatividade a partir deste contexto, isto é, resultado de um desbalanceamento entre a força forte e coulombiana no interior dos núcleos, vencendo as forças de repulsão, e, portanto, emitindo de forma espontânea algum tipo de partícula e/ou energia.

Tendo feito isto, terminamos a aula apresentando as características dos decaimentos alfa, beta e gama, assim como, a reestruturação do núcleo, enquanto outro elemento químico, a partir da emissão destas partículas. Vale dizer, que o decaimento beta foi apresentado a partir dos dois tipos de transformações possíveis no núcleo, isto é, quando um próton se transforma em um nêutron, emitindo um pósitron (e^+) e neutrino do elétron (ν_e), decaimento Beta⁺ (β^+); e quando um nêutron se transforma em próton, emitindo um elétron (e^-) e um antineutrino ($\bar{\nu}_e$), decaimento Beta⁻ (β^-). Neste contexto apresentamos rapidamente a ideia de antipartículas.

5.3.5 Aula 9

A aula nove todavia faz parte do plano de aula nº 03, contido no apêndice 6, e teve caráter predominantemente expositivo. Nesta quinta semana de aula tivemos apenas um encontro, devido a uma assembleia estadual dos professores no magistério catarinense e reorganização, por parte da escola, do calendário de aulas da semana conforme avaliações já previstas por algumas disciplinas. Neste sentido, foi utilizada para “encerrarmos” algumas particularidades no conhecimento sobre as radiações alfa, beta e gama, preparando o terreno à discussão sobre as aplicações da energia nuclear.

Iniciamos a aula recapitulando elementos característicos sobre os decaimentos alfa, beta e gama, além de utilizarmos o aplicativo computacional disponibilizado pelo grupo Phet, da Universidade do

Colorado, que demonstra o decaimento radioativo alfa e beta, assim como suas relações energéticas diante da instabilidade nuclear. A figura 38 reproduz situações desenvolvidas a partir do aplicativo e detalhadas no plano de aula nº 03.

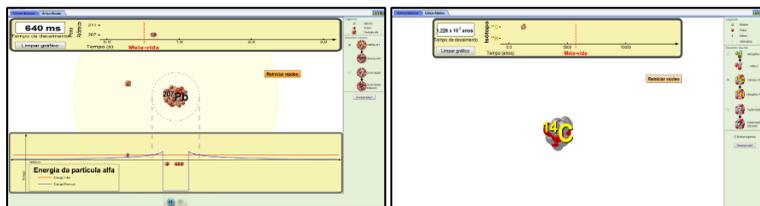


Figura 38: Imagens relacionadas aos aplicativos computacionais referentes aos decaimentos alfa e beta.

Fonte: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/light-and->

A partir disso, matematizamos o número de desintegrações do núcleo atômico por meio da lei do decaimento radioativo, enfatizando seu caráter exponencial. Tendo feito isto, apresentamos o ideário relacionado à atividade atômica de um elemento radioativo, conseguindo estabelecer um vínculo com o conceito de meia vida de um átomo.

O tempo de meia vida foi um dos pontos fortes desta aula, pois foi possível evidenciar o tempo médio de permanência em atividade de diversos elementos atômicos. Aqui, já introduzindo a ideia de radioisótopos utilizados na investigação clínica de determinadas enfermidades, plotamos uma tabela demonstrando o tempo de meia vida de alguns destes e mostrando o quão efêmero ele será quando em pequenas quantidades no organismo humano. Em contraste a isto, não necessariamente nesta ordem, enfatizamos o tempo para que metade da atividade atômica decaia em elementos como o Urânio-238 e seu isótopo, Urânio-235. Alguns alunos, inclusive do grupo que na primeira aula fez a defesa das usinas nucleoeletricas, se surpreenderam com o tamanho do desafio que iremos herdar no que condiz ao armazenamento dos dejetos do setor nuclear.

A seguir, apresentamos três principais séries naturais de decaimento radioativo, dando ênfase à do Urânio-238. Para isto, representamos esquematicamente a formação de um novo elemento químico a partir de cada tipo de decaimento ocorrido.

Terminamos a aula apresentando algumas unidades de medidas radiológicas comumente utilizadas no setor nuclear, mas que serão bastante utilizadas nos documentários exibidos. Neste contexto,

estabelecemos os limites primários anuais à dose equivalente recebida em radiação, pelos trabalhadores da área, assim como, do público em geral.

Esta aula previa ainda a discussão entre as diferenças entre exposição à radioatividade e contaminação radioativa, conforme o plano apresentado. No entanto, o tempo se mostrou inferior ao necessário, ficando o tópico para o início da aula seguinte. Vale ainda dizer, que talvez por ser uma aula bastante específica e possivelmente erro metodológico nosso, foi possível observar que a turma, em geral, encarou esta como uma aula maçante, cansativa e sem a mesma empolgação nas discussões anteriores. Talvez, avaliando momentos ímpares de interação com os alunos nestes 45 minutos, devêssemos ter explorado mais o aplicativo computacional e o ideário da meia vida de um elemento químico, realizando a maior parte destas discussões a partir destes pontos do plano. Acreditamos que erramos na quantidade de conteúdo para ser apresentado em 45 minutos, o que tornou os espaços de discussões bastante escassos diante da preocupação de finalizar o plano de aula.

5.3.6 Aulas 10 e 11

A 6ª semana de projeto, conforme o plano de aula nº 04, disponível no apêndice 7, além de encerrarmos discussões pendentes da aula anterior, enfatizamos as aplicações da energia nuclear em diversos setores tecnológicos do Brasil, dentre eles, sua relação direta com a medicina nuclear, a agricultura e a indústria.

A priori, conforme análise do questionário, nos preocupamos em desconstruir alguns preconceitos relacionados a uma diferença básica e fundamental quando se trata de conhecimento sobre radiação, isto é, a diferença entre um corpo ser exposto à radiação e ser contaminado por partículas radioativas. Em conformidade às discussões realizadas anteriormente, quando abordamos algumas características da radiação e sua interação cotidiana com o ser humano, houve uma facilidade maior no posicionamento da turma à esta compreensão. No entanto, várias dúvidas ocorreram, inclusive este foi um dos temas de debate mais extenso durante as sessões do cine nuclear. O preconceito, o medo e as consequências nas relações sociais em situações específicas da nossa história, conforme as discussões realizadas pela turma, serão discutidos posteriormente ao analisarmos a dinâmica das sessões de documentários realizadas na escola.

Em seguida, contextualizamos a energia nuclear e iniciamos as discussões através do processo de determinação da idade cronológica de artefatos históricos e fósseis, por meio do método de datação do carbono-14. Para isto, conforme ilustra a figura 39, apresentamos um vídeo, com 8 minutos de duração, que além de explicar o processo, relaciona-o a

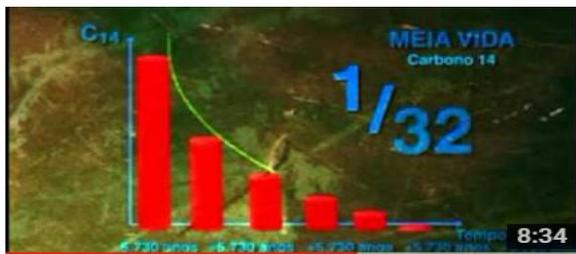


Figura 39: Vídeo - “Datação por Carbono-14”

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=pcKGpBgS8PQ>

alguns conhecimentos específicos estudados nas aulas anteriores, dentre eles, a ideia de meia vida e o decaimento exponencial da atividade atômica. Vale dizer que a datação do carbono-14 foi tema de uma das questões da prova do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) do ano de aplicação do projeto, 2016.

Continuando, mais uma vez por meio de um vídeo¹⁹ com quatro minutos de duração, apresentamos algumas relações entre a energia nuclear e o campo da medicina. No intuito de desconstruir este ideário onde a energia nuclear é sempre ruim, enfatizamos o quão necessário ela pode vir a ser na investigação e tratamento precoce de enfermidades às quais estamos sujeitos. Por infelicidade da vida, houve uma situação que marcou esta semana de aulas. Ocorreu que uma das nossas alunas se emocionou bastante com esta passagem nas discussões, pois lembrou da luta que o pai travou contra o câncer, vindo a falecer quando ela tinha 9 anos de idade. Relatou sobre as sessões de radioterapia periódicas à qual o pai foi submetido.

Tratamos de começar as discussões sobre as aplicações da energia nuclear na área da agricultura. Dentre as principais polêmicas esteve o consumo, ou não, de alimentos submetidos à radiação gama para sua melhor conservação. A pergunta central foi: “*Você comeria ou não um alimento que sabidamente foi irradiado?*”. Esta questão consta no

¹⁹ O vídeo sob título “O que é medicina nuclear”, pode ser encontrado no link a seguir: <https://www.youtube.com/watch?v=aJ4zYDonh4>

questionário aplicado à turma anteriormente. Mais uma vez pudemos perceber o quão reticentes o são quando trata-se da temática. Alguns, já conscientes da diferença entre exposição e contaminação radioativa, afirmavam que consumi-lo-iam, outros afirmavam que não, pois a longo prazo não haviam garantias. No entanto, o mais interessante eram aqueles que compreendiam não se tratar de um material contaminado, mas que ao mesmo tempo não conseguiam afirmar se, sabendo disto, o comeriam. Revela-se aqui o sentimento de medo que insiste em permanecer escondido nas subjetividades de como estes se relacionam com o mundo concreto. As discussões ainda ganharam um momento particular quando eu afirmei: “– *E se eu disser que está cientificamente comprovado que não faz mal à saúde consumi-los?*” Foi interessante ver que parte dos indecisos vieram a se posicionar positivamente à possibilidade, o que permitiu discutirmos o papel coercitivo no discurso do “cientificamente comprovado” e como este pode vir a ser utilizado, em algumas situações apenas para legitimar o consumo de produto A em detrimento de B, no processo de construção social de opiniões e atitudes frente a diversas questões do seu dia a dia.

Com poucos minutos de aula restando, findamos apresentando a importância da energia nuclear quando aplicada ao setor industrial. De forma rápida, apresentamos a dependência das indústrias aéreas da tecnologia de gamagrafia, uma espécie de radiografia das partes metálicas que sustentam um avião. Tendo pouco tempo, foi pedido aos alunos que refizessem a leitura do tópico no material e, por escrito, pesquisassem ao menos um outro exemplo de aplicação da energia nuclear na área industrial que não tenha sido abordado no material instrucional.

5.3.7 Aulas 12 e 13

Na 7^o semana, como parte de um planejamento de três horas-aulas, conforme o plano de aula nº 05, disponível no apêndice 8, abordamos as discussões que tratam da fissão de um núcleo atômico, assim como, questões a este tema relacionadas.

Já no começo da 12^o aula iniciamos uma discussão a fim de compreendermos a origem da energia contida no núcleo atômico. Para isto, precisávamos apresentar aos alunos algumas limitações da teoria newtoniana, no que se refere à conservação de massa, e a importância da relatividade de Einstein no contexto da Física Nuclear. Com dados já fornecidos nos primórdios do material didático, isto é, as massas individuais para cada próton e nêutron, em unidades atômicas (u), conforme mostram os slides na figura 40, propusemos a contagem da

massa total do carbono-12. Sabemos que por definição o Carbono-12 possui massa equivalente a 12u. O resultado, conforme já esperávamos, mostrou uma incoerência entre o somatório da massa de cada um dos elementos, individualmente, e o total definido, isto é, o resultado variou aproximadamente 0,096 unidades atômicas. *Para onde foi o restante da massa?*

Por conseguinte, a partir desta discrepância de massa, pudemos afirmar que no interior de um núcleo atômico, não há conservação de massa, sendo esta transformada em energia de ligação entre os nucleons. Além de introduzir a ideia de energia de ligação, conseguimos, a partir deste pressuposto, relaciona-la com a estabilidade nuclear de um átomo.

FISSÃO E FUSÃO NUCLEAR!
Qual a origem da energia contida em um núcleo atômico?

MASSA

A massa é uma grandeza absoluta em qualquer referencial.

A massa é relativa, podendo variar, devido apenas ao movimento com velocidades comparáveis à da luz.

A Relatividade Restrita e o Princípio de Equivalência Massa-Energia.

O princípio relativístico massa-energia, em suma, nos diz que, sob determinadas condições, massa pode ser convertida em energia, assim como energia pode ser convertida em massa.

No núcleo atômico há uma conversão de massa em energia de ligação. Sendo que, esta energia está diretamente relacionada com a estabilidade do núcleo.

$E=mc^2$

A velocidade da luz (c) é uma constante k , de acordo com o que até então sabíamos, a maior velocidade possível de ser atingida.

$c = 3.10^8 \text{ m/s}$ ou $c = 300.000 \text{ km/s}$

Para onde foi a massa do Carbono-12?

Por definição, o Carbono 12, ^{12}C , tem massa equivalente a 12 unidades atômicas, isto é, 12 u. Sabemos que ele é composto por 6 prótons e 6 nêutrons.

As massas atômicas do próton e do nêutron, em termos de unidade atômica, respectivamente, são:

$m_{\text{próton}} = 1,00728 \text{ u}$
 $m_{\text{nêutron}} = 1,00867 \text{ u}$

Somando as massas individuais de cada próton e nêutron no interior do núcleo do Carbono-12 obtemos:

$M_{\text{total}} = 6 \cdot m_p + 6 \cdot m_n$
 $M_{\text{total}} = 6 \cdot (1,00728) + 6 \cdot (1,00867)$
 $M_{\text{total}} = 12,09957 \text{ u}$

Se a massa do Carbono-12, por definição, equivale a 12 u, e a soma individual dos prótons e nêutrons que compõe o núcleo indica uma massa de 12,099u, para onde foi essa diferença de energia?

ENERGIA DE LIGAÇÃO

De acordo com o princípio de equivalência massa-energia, houve uma transformação de 0,099 unidades de massa atômica dos elementos constituintes do Carbono-12 em energia, sendo esta responsável pela ligação nuclear. Chamaremos este montante, portanto, de **energia de ligação** do núcleo.

Figura 40: Slides utilizados para contextualizar a não conservação da massa.

Fonte: Feitos pelo próprio autor.

Assim sendo, quanto menor a razão entre a massa atômica e a quantidade de nucleons, maior terá sido a quantidade de massa convertida em energia de ligação entre os nucleons. Terminamos esta discussão apontando o ferro enquanto elemento natural conhecido de maior estabilidade e, utilizando um gráfico que mostrava a variação da massa por partícula nuclear em relação à massa atômica dos elementos, sugerimos a fissão ou fusão nuclear, enquanto processos naturais de busca dos demais elementos químicos pela condição de estabilidade do ferro.

A seguir, conforme mostra a figura 41, iniciamos as discussões sobre alguns dos desdobramentos históricos da fissão nuclear e os princípios físicos deste fenômeno, utilizando o modelo da gota líquida como passo inicial à explicação dos estados coletivos de excitação de um núcleo, ao ser bombardeado por nêutrons, até sua possível cisão em dois outros elementos, mais energia.

Utilizamos como elemento central a essa aula, o aplicativo computacional, disponibilizado pelo grupo Phet, da Universidade do Colorado, que apanha alguns dos elementos fundamentais a serem discutidos. Dentre eles, conforme a figura 42, a fissão do núcleo atômico à partir das barreiras de energia potencial e a energia total envolvida no processo de fissão nuclear de um único elemento de U-235. Além disso, nos permitiu observar e discutir sucessivas fissões nucleares (reação em

Alguns desdobramentos históricos sobre o estudo nuclear:

Em 1938, Otto Hahn e Fritz Strassmann, ao bombardearem átomos de urânio utilizando nêutrons, para produção dos transurânicos (átomos ainda mais pesados que o urânio), começaram a produzir um núcleo de urânio em elementos mais leves, como o Bário ($Ba-141$) e o Criptônio ($Kr-92$).

Embora tenham atingido a fissão, experimentalmente, foi Lise Meitner, que descreveu este fenômeno, a fissão nuclear.

O Projeto Manhattan

BOMBA ATÔMICA

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Princípios da Fissão Nuclear!

A fissão nuclear, basicamente, pode ser caracterizada pela quebra/divisão do núcleo original (núcleo pai) em dois núcleos menores (núcleos filhos), de tamanhos comparáveis, seguido da emissão de nêutrons.

Este fenômeno envolve uma quantidade violenta de emissão de energia subsequente à quebra do núcleo. Esta energia liberada, como já vimos, tem origem na ligação dos prótons e nêutrons no interior da região nuclear.

$${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{56}^{142}\text{Ba} + {}_{36}^{91}\text{Kr} + 3({}_0^1n)$$

Interpretação!

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Figura 41: Imagem de slides utilizados durante as aulas.

Fonte: Feito pelo próprio autor.

cadeia) em um processo autossustentável. Somando-se a isso, o aplicativo nos possibilitou compreender a função das barras de controle, enquanto moderadoras de nêutrons, em um determinado de reator nuclear lá disponível.

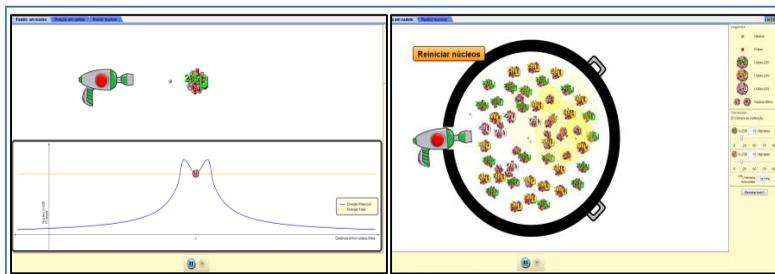


Figura 42: Aplicativo disponível para estudo da fissão nuclear pelo grupo Phet.

Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission

Enfim, no compartimento do aplicativo referente à simulação de reações nucleares em cadeia, discutimos a diferença entre um material físsil e fissionável, introduzindo em momentos distintos partículas únicas de U-235 (físsil) e U-238 (fissionável), observando o que ocorria quando um nêutron colidia com seus núcleos. Em seguida, através do controle das partículas de urânio inseridas à fissão, utilizando uma câmara de contenção, foi possível avaliarmos o que vem a ser o processo do enriquecimento do urânio e comparar os níveis de enriquecimento necessários à construção de uma bomba atômica ($\geq 90\%$ de U-235) e o utilizado nas pastilhas de combustível nuclear das usinas na central em Angra dos Reis (entre 3 e 7% de U-235). Desta forma, verificamos que é impossível gerar um processo de reações nucleares em cadeia, autossustentáveis, com os níveis de enriquecimento de urânio nas pastilhas contidas no interior de um reator nuclear.

Finalizamos a aula com algumas curiosidades a respeito da engenharia utilizada na construção da bomba nuclear lançada em Hiroshima, a little boy.

Vale dizer que esta aula partilhou de grande participação da turma. O aplicativo computacional fez a diferença na compreensão deste fenômeno, mas infelizmente, durante o espaço de aula, os alunos não puderam interagir individualmente com o aplicativo, tendo sido este apenas apresentado, por nós, em seus princípios. Isto decorre das péssimas condições da sala de informática na escola, à falta de profissionais específicos neste ambiente, sendo que dos 30 computadores lá disponíveis, apenas seis estão funcionando, parcialmente.

5.3.8 Aula 14

Por questões de ordem pessoal, a oitava semana de projeto, novamente, foi marcada por termos uma única aula junto à turma. Ainda conforme o planejamento de nº 05, disponível no apêndice 8, tratamos de discutir a fusão nuclear e os desafios impostos à tecnologia dos seus reatores.

Iniciamos as discussões apresentando um vídeo com título “*A Energia a Fusão Nuclear*²⁰”, produzido pela Discovery Channel. O vídeo apresenta desde um comparativo entre as fissões e fusões do núcleo, como comenta as vantagens da fusão em relação à fissão, apresentando passos e condições ao funcionamento destes reatores.

Em seguida, comentamos trechos abordados no vídeo e salientamos as reações de fusão nuclear no interior da nossa estrela mãe, o Sol, e sua importância à manutenção da vida na terra. Conversamos, a partir dessa perspectiva, sobre a composição dos átomos presentes na atmosfera solar, basicamente elementos com baixo número de prótons, como o hidrogênio, o deutério, o trítio e o hélio, o que favoreceria a fusão dos núcleos atômicos, assim como a importância das altas temperaturas para que tais processos ocorram. Discutimos os princípios envolvidos na fusão nuclear e elencamos algumas representações simbólicas destes.

Enfim, apresentamos o reator nuclear de fusão, o Tokamak. Analisamos as condições para reproduzir uma reação de fusão nuclear no interior destes reatores, assim como as linhas gerais no seu funcionamento. Discorremos sobre as limitações tecnológicas enfrentadas pela comunidade científica frente à eficiência energética destes, isto é, frisamos que, até então, o reator nuclear de fusão exige uma quantidade maior de energia para reproduzir as condições necessárias à fusão do núcleo, do que a quantidade de energia extraída no processo como um todo. Terminamos a aula discutindo as vantagens de um sistema de produção de energia elétrica via a fusão de núcleo atômicos, ou seja, enfatizamos que o produto final de um reator à fusão não são elementos instáveis/ radioativos, como os produzidos pelo reator de fissão, mas sim, elementos ainda mais estáveis do que os originais.

5.3.9 Aulas 15 e 16

As aulas da décima semana foram marcadas por enfim adentrarmos nas discussões sobre o processo de produção elétrica e o

²⁰ O vídeo “Energia a Fusão Nuclear, produzido pela Discovery Channel, pode ser encontrado no link https://www.youtube.com/watch?v=AmKfL_ixWPY.

setor nuclear no Brasil. A organização didática deste momento pedagógico pode ser encontrada no plano de aula nº 06, disponível no apêndice 9 deste trabalho e compreendida no material didático pelo conteúdo entre as páginas 32 e 37 dos textos educacionais.

Neste momento, discorremos sobre o assunto a partir de um recorte entre as principais fontes de abastecimento da matriz elétrica brasileira. Devido à importância da matriz hidroelétrica no Brasil, fizemos um comparativo entre seu funcionamento no processo de produção de energia até chegarmos aos princípios de funcionamento de uma usina nuclear. Para isto, apresentamos ao grupo um vídeo inicial de título: “*Como funciona uma hidrelétrica*”²¹. Discutimos os pontos mais relevantes e em seguida apresentamos, novamente, o vídeo disponibilizado pela Eletronuclear, “*Energia Nuclear em 2 minutos*”²², o qual aborda algumas questões fundamentais aos princípios de funcionamento de uma usina nuclear de 2ª geração. Com o auxílio de duas imagens animadas, do tipo GIF, referentes à dinâmica funcional de uma hidrelétrica e de um reator nuclear do tipo PWR, recapitulamos o passo a passo apresentado nos vídeos, especificando os processos de produção de energia elétrica em ambas as matrizes e, estabelecendo como ponto comum a estes, o gerador elétrico.

Como a turma ainda não havia estudado os conteúdos do tópico eletromagnetismo, apresentamos de forma sucinta alguns conceitos relacionados ao fluxo magnético e o ideário de corrente induzida a partir da lei de indução eletromagnética proposta por Faraday. Para isto, utilizamos o aplicativo computacional “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday”²³, disponibilizado pelo grupo Phet, da Universidade do Colorado. Conforme mostra a figura 43, o simulador possibilita, dentre outras coisas, reproduzirmos a variação de um fluxo magnético no interior de um solenóide, observando assim uma corrente induzida que acende a lâmpada, assim como, de maneira simplificada e bastante

²¹ O vídeo “*Como funciona uma hidrelétrica?*” possui 3min e 47 segundos e pode ser encontrado no link a seguir:

<https://www.youtube.com/watch?v=3xshEp2AIBY#t=159.541505>

²² O vídeo “*Energia Nuclear em 2 minutos*”, divulgado pela Eletronuclear, possui aproximadamente dois minutos de duração e pode ser encontrado no link <https://www.youtube.com/watch?v=OzxiQdmTD58>.

²³ O aplicativo pode ser encontrado no link:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/faraday.

compreensível, os princípios de funcionamento de um gerador elétrico, no caso, movimentado a partir de pás sujeitas a um fio d'água de uma torneira ligada.

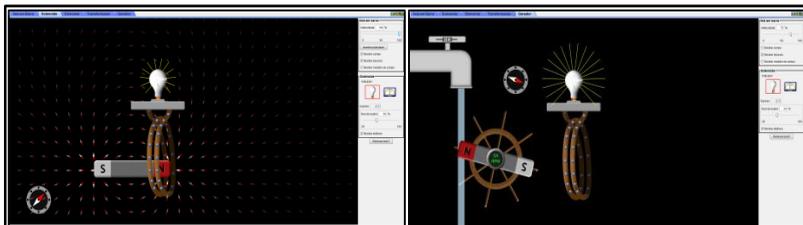


Figura 43: Imagem do aplicativo “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday”.
Fonte: Phet Colorado.

Continuamos a nossa aula a partir da socialização de informações comuns às usinas nucleares brasileiras (muitas destas já comentadas ao longo do projeto), ou seja, a tecnologia dos reatores nucleares no Brasil (PWR); tempo de operação comercial de Angra 1 e 2; o território ocupado por cada uma das usinas na central nuclear de Angra dos Reis e a capacidade de abastecimento destas.

A partir deste panorama do Brasil nuclear, apontamos o porquê o nosso país é considerado uma potência nuclear, ou seja, as reservas de urânio existentes em território nacional com apenas 25% de prospecção já realizada. Findamos a aula discutindo o ciclo do urânio e as empresas responsáveis por cada uma das fases relativas a este. Neste sentido, o vídeo divulgado pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB), sob título “Ciclo do Urânio²⁴”, foi exibido ao final da aula. As discussões sobre o passo a passo até a fabricação de uma pastilha nuclear, retomadas.

Vale dizer que esta aula foi bastante proveitosa, embora tenha dominado o caráter expositivo, reforçou alguns conhecimentos que viemos pouco a pouco construindo, além de novamente ter tido seu ponto alto com a aplicação do simulador computacional. Estes aplicativos se mostraram ao longo do projeto enquanto facilitadores na compreensão de alguns conceitos, em modelos físicos a priori um pouco complexos, e teve função fundamental no trabalho realizado junto à turma, tanto no que se refere aos aspectos de desenvolvimento dos saberes físicos, quanto como elemento pedagógico motivador à participação do grupo.

²⁴ O vídeo “Ciclo do Urânio”, disponibilizado pela INB, pode ser encontrado no link https://www.youtube.com/watch?v=eWV1JvR_oU.

5.3.10 Aulas 17 e 18

As aulas realizadas na 11ª semana de projeto, conforme o plano de aula nº 07, disponível no apêndice 10, foram direcionadas a compreender, de forma melhor detalhada, a arquitetura de um reator nuclear do tipo PWR, suas barreiras de contenção e o seu funcionamento diante dos circuitos primário, secundário e terciário.

Por meio da figura 44, pudemos observar cada um dos circuitos e lembrar, em linhas gerais, o seu ciclo de funcionamento, isto é: a) as reações ocorrem no núcleo do reator; b) a água circula, mantendo-se no seu estado líquido devido à ação do pressurizador. C) A água, entre 600°C e 700°C, passa pelo gerador de vapor. D) No gerador de vapor, independente dos demais componentes do circuito primário e parte que integra os circuitos primário e secundário concomitantemente, parte da sua água transformada em vapor; E) Devido às correntes convectivas e uma diferença de pressão no circuito secundário, este vapor é acelerado em direção às pás de um turbina; F) A turbina, transfere energia mecânica ao gerador elétrico, que por sua vez, a transforma em energia elétrica; G) O

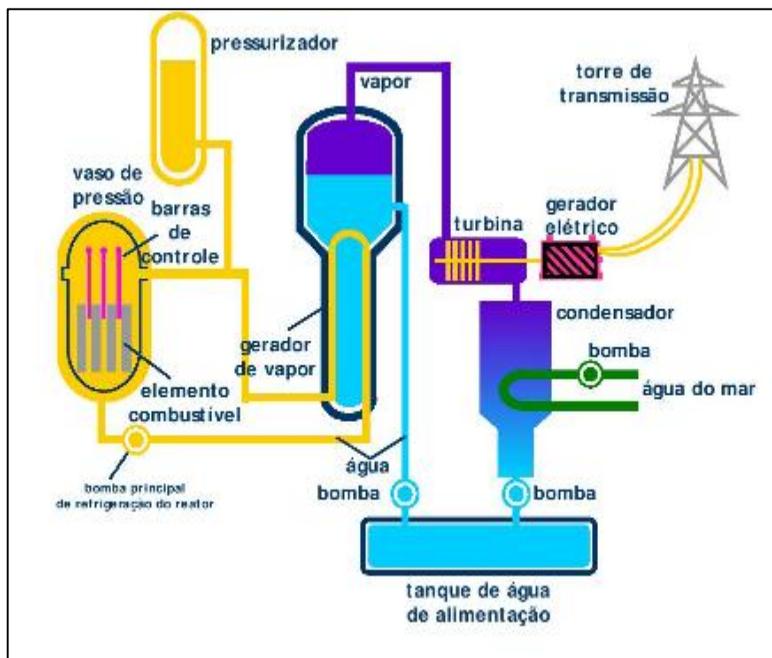


Figura 44: Imagem simplificada de um reator nuclear do tipo PWR.

Fonte: Apostilas didáticas da CNEN.

vapor de água que passou pelas turbinas chega ao condensador; H) O condensador tem sua refrigeração efetivada a partir de um sistema terciário, independente, que bombeia água do mar e a faz circular no seu interior; I) A água volta ao mar com uma temperatura maior, variando de 3°C ou 4°C em relação à sua temperatura inicial. J) O vapor de água, no condensador, transforma-se em água líquida novamente e volta ao tanque de água de alimentação; K) A água é bombeada e novamente enviada ao gerador de vapor, iniciando um novo ciclo; Tendo minuciosamente descrito o processo, passamos a um ponto chave das discussões, isto é, conhecer um pouco mais sobre os componentes que compõe o núcleo do reator e as barreiras de contenção às partículas radioativas no sistema de funcionamento de uma usina como a de Angra dos Reis.

Iniciamos o debate lembrando os processos envolvidos até a fabricação da pastilha de combustível nuclear. Por conseguinte, apresentamos as varetas de combustível, feitas de um material chamado zircaloy (ou zircônio), e entendida como a primeira barreira de contenção às partículas radioativas, isto porque ela é lacrada e encerra no seu interior o material de urânio; Assim sendo, passamos a vislumbrar alguns dos aspectos da montagem do elemento combustível em Angra 1 e 2, além de suas diferenças específicas em cada uma das usinas nucleares brasileiras. A partir da montagem do elemento combustível, pudemos falar sobre a função e localização no interior dos reatores, das barras de controle, responsáveis pela moderação de nêutrons das reações nucleares no interior do reator, isto é, elas regulam a potência de operação no sistema. As barras de controle são alocadas em varetas de combustível, originalmente vazias, e intercaladas simetricamente em várias partes do elemento combustível.

Em seguida, passamos a conversar sobre o vaso de pressão, ou seja, a estrutura externa do núcleo do reator. No interior do vaso de pressão estão os elementos combustíveis e componentes até então citados. Este é considerado, caso haja uma falha no sistema, a segunda barreira de contenção à radioatividade. Ainda discutindo componentes do circuito primário, voltamos à discussão sobre o pressurizador enquanto principal diferença tecnológica em relação aos reatores de 1º geração (BWR).

Continuando, expusemos como terceira barreira de contenção a carcaça de aço (figura 45), com espessura de 4 centímetros, que protege os vasos de pressão e geradores de vapor de um reator PWR.

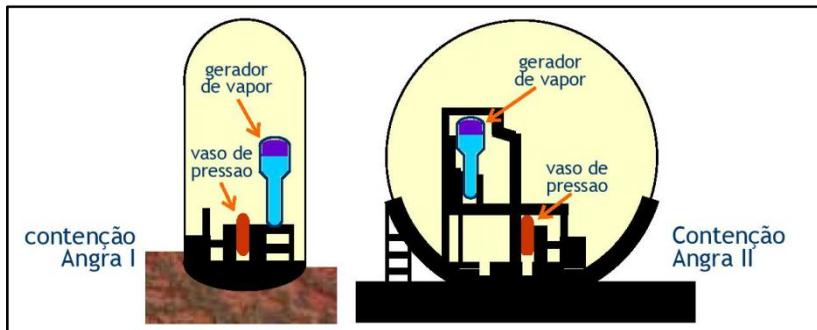


Figura 45: A carcaça de aço que protege o circuito primário de um reator nuclear. É a terceira barreira de contenção às partículas radioativas em caso de falha no sistema.
Fonte: Apostilas didáticas da CNEN.

Encaminhando-nos ao final das discussões no que tange as barreiras de contenção nas usinas nucleares de Angra dos Reis, apresentamos o edifício do reator como quarta barreira de contenção. Este prédio possui paredes de puro concreto com até 1 metro de espessura, sendo capaz de suportar o impacto de um boing-747 durante possíveis ataques terroristas. Vale lembrar que todo reator, como medida de segurança, possui geradores elétricos sobressalentes, caso ocorra uma pane de energia no sistema elétrico principal do reator.

Em um momento final da aula, tendo visto nos documentários do cine nuclear o total despreparo e falta de planejamento prévio diante de acidentes nucleares passados, nos perguntamos: Qual o plano de emergência, em caso de acidente, para atender a comunidade no entorno das usinas nucleares de Angra dos Reis? Além da existência de algumas cartilhas, apresentadas à turma, exibimos um vídeo²⁵, com 7 minutos, divulgado pela Eletronuclear, que detalha o que fazer em uma situação de emergência, assim como as situações de treinamento (mensal) da comunidade.

5.3.11 Aulas 19 e 20

²⁵ O vídeo, divulgado pela Eletronuclear, e exibido durante as aulas 17 e 18, pode ser encontrado no link a seguir:
<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/PlanodeEmerg%C3%A2ncia.aspx>.

A décima segunda semana de aulas, devido a uma surpresa preparada pela turma, foi adiada à semana seguinte. Confraternizamos o “quase fim” do projeto e meu aniversário. Admito que o sentimento de reciprocidade ao tempo dedicado a esta turma prevaleceu. Já na décima terceira semana, de acordo com o plano de aula nº 08, disponível no apêndice 11, dialogamos sobre os rejeitos radioativos, suas classificações e, como ponto alto da aula, os acidentes de Chernobyl e Fukushima, relacionando-os à tecnologia utilizada na central nuclear de Angra dos Reis.



Figura 46: Confraternização surpresa preparada pela turma.

Fonte: Feita pelo próprio autor.

Neste sentido, partimos de uma reflexão sobre a meia-vida de um elemento químico. Com o auxílio da tabela utilizada no material didático, refletimos sobre o tamanho do problema que poderá vir a ser o destino dos dejetos radioativos de uma usina nuclear para o futuro da humanidade. Classificamo-los em: Rejeitos de Baixa Radioatividade (RBA); Rejeitos de Média Radioatividade (RMA); e Rejeitos de Alta Radioatividade (RAA). A partir de sua classificação, mostramos a possibilidade de reaproveitamento de parte destes, assim como, a necessidade de um depósito, de longo prazo, para o armazenamento daquilo que não for reaproveitável. Salientamos que, infelizmente, o Brasil, devido aos altos custos, não reaproveita seus rejeitos atômicos, armazenando-os em depósitos provisórios na própria central nuclear de Angra dos Reis. Assim sendo, ressaltamos não haver no Brasil e no

planeta, um depósito final para estes elementos. No entanto, exploramos alguns projetos em andamento, ou mesmo parados, como o de Yucca Mountain, nos EUA, que previa a construção de dutos, túneis, no interior de uma montanha de pedra, localizada no deserto, para armazenar por até dez mil anos o material produzido por suas centrais nucleares.

Em seguida, para discutirmos o acidente de Chernobyl, o qual a turma já havia debatido em um dos documentários, exibimos uma um vídeo²⁶, lúdico, de aproximadamente 10 minutos, que relata o passo a passo das violações das normas de segurança da usina, assim como debilidades no próprio projeto, que levaram ao evento. Entre os instante 2 min e 20s e 3 min 32 s, a tecnologia destes reatores é discutida de forma simplificada. Fazendo um comparativo entre a tecnologia de um reator do tipo PWR, foi simples evidenciar o porque este tipo de acidente, sob estas condições, não virá a ocorrer nos reatores de Angra I, II e III. Da mesma forma, tendo a turma já assistido e debatido no cine nuclear um documentário sobre o acidente de Fukushima e sabendo tratar-se de um reator de 1º geração, fizemos um comparativo entre o funcionamento dos reatores do tipo BWR (1º geração) e PWR (2º geração), mostrando o porque, sob mesmas condições, a explosão de gás no núcleo do reator de Fukushima não teria ocorrido caso a tecnologia fosse do tipo PWR.

5.4 Do Cine Nuclear:

As sessões do cine nuclear contaram com quatro documentários, exibidos a cada 15 dias, durante um período médio de 2 horas-aula por sessão. Ao todo foram aproximadamente 8 horas-aulas, no período contraturno, e realizadas na quinta, sétima, nona e décima primeira semana do projeto. Os documentários exibidos, diante de uma série de títulos disponibilizados para os alunos, foram: 1º) Hiroshima, o dia seguinte; 2º) O Desastre de Chernobyl; 3º) Segundos Fatais: A Usina Nuclear de Fukushima; 4º) Linha Direta Justiça: O Acidente Radiológico com Césio 137 em Goiânia.

A exibição dos cines ocorreram na sala do laboratório de Física da escola e, como regra, eram espaços de caráter aberto, permitindo a participação de alunos de outras turmas e anos escolares. Ao final de cada sessão, para a semana seguinte, pedimos aos alunos da turma do projeto para que escrevessem um pequeno texto contendo suas impressões sobre questões a eles relevantes durante o documentário e debates junto ao

²⁶ O vídeo sob título “*Chernobyl: o que deu errado?*”, pode ser encontrado no youtube no link a seguir: <https://www.youtube.com/watch?v=9-uDPiNVBIA>.

grupo. Os alunos que, por motivos diversos, não podiam participar das sessões, acordaram assisti-los quando possível, produzindo também, um texto contendo suas impressões sobre o filme.

Vale dizer que nos apêndices deste trabalho (A.12; A.13; A.14; A.15) há o fichamento de alguns aspectos referentes aos documentários exibidos, com o intuito de auxiliar outros professores, ou até mesmo este professor, quando oportuno, em exibições posteriores. Dentre as informações arquivadas de cada documentário, temos: 1) Ficha técnica; 2) Síntese; 3) Ideia/mensagem central do filme; 4) Questões para aproveitamento pedagógico; 5) Frases de impacto; 6) Comentários finais e/ou sugestões.

5.4.1 Cine 1 - Hiroshima: O Dia Seguinte.

No apêndice 12 deste trabalho pode ser encontrada a ficha deste primeiro documentário²⁷ exibido junto à turma (Ficha nº 01). Esta, contém as características analisadas no processo de planejamento das discussões a serem feitas junto ao grupo participante. O vídeo, na íntegra, possui 40 minutos de duração, tendo sido planejada uma hora-aula para sua exibição e outra para o debate. Vale dizer, que dos 26 alunos matriculados na turma, naquele momento, aproximadamente 16 deles participaram da sessão, o que podemos considerar um bom índice de adesão à proposta. Um registro desta sessão inaugural poder ser visto na figura 47.

Em suma, o documentário exibido valoriza a dimensão emotiva, a imaginação e a sensibilidade do seu espectador frente ao poder de devastação de uma arma de destruição em massa, como a bomba lançada em Hiroshima. Demonstra a preocupação em delimitar os vários estágios envolvidos em uma explosão atômica, do impacto às mazelas da radioatividade. Além disso, mostra a resposta de parte do povo japonês ao evento, assim como sua preocupação com o futuro da humanidade: — “Uma única bomba modificou tudo. Nós precisamos aprender. Não podemos cometer o mesmo erro”.

Embora o tema seja de conhecimento público, o documentário trouxe à tona o espanto diante do sofrimento causado ao povo japonês neste episódio. Nunca antes na história da humanidade, uma arma com tamanho poder de destruição em massa havia sido utilizada contra outro

²⁷ O vídeo/documentário “*Hiroshima: o dia seguinte*” está disponível no youtube e pode ser encontrado no link: <https://www.youtube.com/watch?v= 0Lc4kmd6uM>.

ser humano. É possível caracterizarmos este momento como o instante onde uma decisão política deu início a era da barbárie nuclear.



Figura 47: Foto dos alunos presentes na primeira sessão do “Cine Simão Nuclear”.

Fonte: Feita pelo próprio autor.

Durante o espaço de debates, o sofrimento humano foi a questão de maior relevância diante das intervenções, além disso, questionamentos sobre a radioatividade dispersada em uma explosão nuclear foram bastante questionados. Situações específicas descritas no filme geraram dúvidas, logo, foram melhor discutidas, conforme a turma pedia.

Neste sentido, foi possível levantar um debate que percorreu diversas frentes, dentre elas: – O papel de uma guerra enquanto elemento de legitimação nos conhecimentos científicos a serem produzidos pela comunidade científica; – A tecnologia diante da relação de poder entre os estados; – O início de uma corrida armamentista que se desenrolaria durante as próximas décadas, a guerra fria, onde àquele que estivesse à frente na produção científica e tecnológica, certamente ocuparia posição hegemônica em relação aos seus opositores. Desta forma, de maneira implícita, foi possível fazer uma crítica à postura positivista em uma suposta neutralidade na produção do conhecimento científico.

Dentre os textos produzidos pelos alunos sobre o documentário, vale destacar algumas passagens passíveis de analisarmos pontos de vista com relação a como a tecnologia se manifesta no horizonte de compreensão destes alunos. Observe que na figura 48 uma aluna escreve sobre a tristeza que sente vendo o homem se utilizar de uma tecnologia, a priori, útil e com função de “dar comodidade ao ser humano”. Aqui, mesmo com as discussões, é possível enxergar uma visão de neutralidade ao processo de produção do conhecimento científico, onde o conhecimento científico em questão, quando produzido, viria de uma necessidade humana, e não, diferente do que vimos, da legitimação de uma necessidade a partir da guerra e a disputa, incondicional, pelo poder.

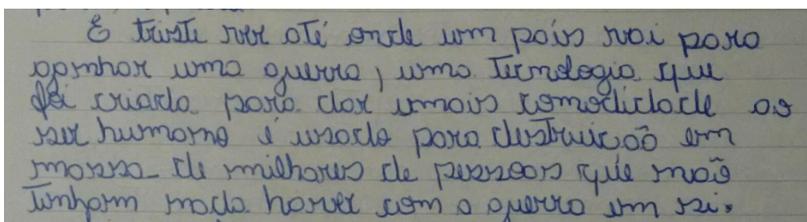


Figura 48: Texto de um aluno sobre o documentário Hiroshima: O dia Seguinte.

Fonte: Aluna da turma 3º3.

Na figura 49 é possível observar que a mesma aluna todavia compartilha sua indignação diante da produção de uma bomba atômica com tamanho poder de devastação, além do que, a mensagem não foi compreendida pelo mundo após o episódio, isto é, continuamos a produzir armas, ainda mais devastadoras do que a utilizada em Hiroshima.

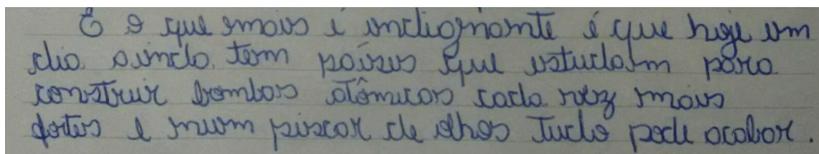


Figura 49: Texto de um aluno sobre o documentário Hiroshima: O dia Seguinte.

Fonte: Aluna da turma 3º3.

Mas, dentre as várias passagens que me chamaram a atenção no texto escrito, está a que uma outra aluna, integrante da turma e militante do movimento estudantil da escola, escreveu sobre o episódio, observe na figura 50:

O ataque nuclear às cidades japonesas, para mim, representa o terrorismo dos países capitalistas desmoldados contra civis por questões econômicas e ideológica, representa o ponto alto da barbárie humana e uma desvalorização generalizada dos direitos humanos universais (propostos pela ONU tempos depois) e da vida

Figura 50: Trecho do trabalho escrito de uma aluna sobre o documentário Hiroshima: O dia Seguinte.

Fonte: Aluna da turma 3º3.

O que me chamou a atenção no comentário desta aluna foi o nível de abstração das relações de poder impostas pelo sistema e como isto se reproduz nas relações sociais e disputas hegemônicas a partir de uma demonstração bélica como a ocorrida no Japão.

Enfim, foi uma tarde de trabalho bastante participativa e que levou a momentos ímpares nas possibilidades de uma aula de Física, isto é, a discussões que extrapolam o caráter específico da Física no contexto nuclear, algo enriquecedor à prática pedagógica no ensino de ciências.

5.4.2 Cine 2: *O Desastre de Chernobyl*

O 2º vídeo exibido no espaço do cine nuclear, durante a 7ª semana de projeto, tem seu planejamento disposto no apêndice 13, sob o título ficha nº 02. O vídeo possui 95 minutos de duração, isto é, aproximadamente 2 horas-aulas, o que nos levou a exibi-lo em duas partes, com um intervalo de 15 minutos entre elas. É válido salientar que esta sessão foi um pouco mais longa do que as demais.

O documentário²⁸ valoriza o acesso à informação a seus espectadores. Com uma grande riqueza nos detalhes, relata os fatos e curiosidades que levaram ao incidente, assim como, dos momentos que o

²⁸ O vídeo/documentário “*O Desastre de Chernobyl*” está disponível no youtube e pode ser encontrado no link:

<https://www.youtube.com/watch?v=bv4AogZsfHs>.

procederam. Neste contexto, frisa a manipulação por parte do governo soviético e a barbárie protagonizada pelo inimigo invisível, a radioatividade, partilhando um sentimento de perplexidade sobre os rumos que a energia nuclear pode assumir em mãos humanas. Além disso, reflete sobre os cuidados e a necessidade de mais informações sobre os riscos implicados às sociedades que trilham o caminho nuclear enquanto alternativa à crise energética.

A riqueza de informações e discussões neste vídeo nos permitiu uma grande quantidade de ramificações no debate posterior à sua exibição. Dentre eles, a falta de planejamento e conhecimento técnico sobre o que de fato ocorria em Prypiat. Neste evento, trabalhadores, engenheiros, físicos, todos eles cometeram erros inconcebíveis, no que se sabe hoje, à manutenção e preservação de suas vidas.

Neste sentido, enfatizamos sobre alguns conhecimentos que deveriam ser comuns à comunidade no entorno de uma usina nuclear. Dentre eles, sintomas que poderiam leva-los a perceber um inimigo invisível como a radioatividade, isto é, o gosto estranho na boca; as náuseas; os enjoos/vômitos; o conjunto destes deveria ser como um sinal de alerta, mas não o foi, passou despercebido pela população em geral, mantendo-os em uma área contaminada por um tempo muito maior do que o necessário.

Além disso, pudemos reeditar a frase de um engenheiro local dizendo que as usinas eram tão seguras que um reator poderia ser instalado em praça pública e não haveria consequências maiores ao conjunto da população. Esta passagem nos permitiu problematizar um dos aspectos no mito envolvendo a perspectiva salvacionista da ciência, onde uma nova tecnologia apenas é utilizada se for segura, benéfica. Problematizamos também, o discurso científico em seus aspectos absolutistas, isto é, enquanto verdade absoluta, o jargão do “cientificamente comprovado”.

O tema radioatividade ganhou contornos interessantíssimos, pois o vídeo dialoga sobre vários de seus aspectos. Dentre eles: – Quantidade limite de radiação que pode levar à morte de uma pessoa (diante das unidades radiológicas); – Equipamento eletrônicos passam a apresentar problemas; – As fotos captadas pelos jornalistas e impressionadas pela radioatividade; – Os sintomas frente a este inimigo invisível; – As consequências de sua ação em grandes quantidades no corpo humano; – A contaminação radioativa dos alimentos, solo, árvores, água, pessoas; – O resultado a longo prazo da ingestão de alimentos contaminados; – As anomalias genéticas desencadeadas em grupos de pessoas que ainda vivem e se alimentam, de produtos oriundos desta área contaminada; –

Os trabalhadores, com suas roupas de chumbo, expostos durante a “limpeza” de parte dos elementos do reator na usina.

A seguir, alguns questionamentos (usando as palavras dos estudantes) que marcaram os debates a partir do vídeo: – O que é Roentgen?; – Qual o nível de radiação máximo a qual o corpo humano suporta?; – Qual a distância máxima que a radiação pode percorrer?; – Quanto tempo leva para a radiação se extinguir?; – Existe forma de tirar a radiação do corpo?; – Como a radiação afeta o solo, as árvores?; – Qual a diferença entre ser exposto e contaminado à radiação?; – Por que as pessoas não podem comer e beber nada? Como elas fazem para se alimentar? No entanto, uma dentre as questões, feita por um participante do cine, mas que não fazia parte da turma do projeto, muito me chamou a atenção (ver figura 51), não pela pergunta em si, mas pelo resultado da discussão. Como é possível ler na figura, a radiação era por ele concebida como uma espécie de doença, algo que pudesse “pegar”, contrair. Aspectos mínimos relacionados ao fenômeno eram totalmente ignorados. Entretanto, o grupo, quase de imediato, começou a lhe explicar que não fazia sentido a ideia de “pegar” radiação, da sua maneira, nossos alunos expuseram exemplos de radiação comuns ao cotidiano e argumentaram sobre a preocupação com determinados tipos deste fenômeno quando em demasia (Raios-X, Raios-UV). Ressaltaram discussões que haviam acabado de acontecer entre as diferenças da exposição à radioatividade e contaminação radioativa. Admito que senti orgulho de perceber alguns pontos em nossas discussões transparecendo na forma como eles encaminhavam seus argumentos.

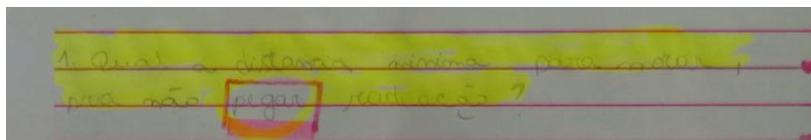


Figura 51: Pergunta sobre radiação feita durante o cine nuclear (grifada por nós).

Fonte: Participante externo ao projeto.

Além destes, outros momentos do vídeo geraram algumas discussões interessantes. Recortei e rerepresentei a eles a parte do vídeo onde um general falava:

— Chernobyl nos mostrou o que realmente acontece com a energia nuclear em mãos humanas. Calculamos que o nosso míssil mais poderoso, o SS-18 era tão poderoso quanto cem Chernobyls.

(...) O SS-18 era a ogiva que os americanos mais temiam e tínhamos dois mil e setecentos deles (mísseis) todos apontados para os Estados Unidos. Dois mil e setecentos, imagine a destruição que eles causariam. (...) Chernobyl convenceu a todos. Tanto soviéticos como americanos, perceberam a magnitude dos vulcões atômicos sobre os quais os dois países estavam sentados. Não só esses dois países, mas o mundo inteiro.” (Discovery Channel; 2006 ; *O Desastre de Chernobyl*)

A discussão diante do poderio bélico no setor nuclear ganhou contornos interessantes, além do que, ao meu ver, foi construída sobre uma contestação das relações de poder e valores que legitimam a produção do conhecimento científico nestas áreas específicas da engenharia nuclear.

Vale dizer também que, dentre os textos de opinião produzidos pelos alunos sobre suas impressões a respeito do documentário, a questão

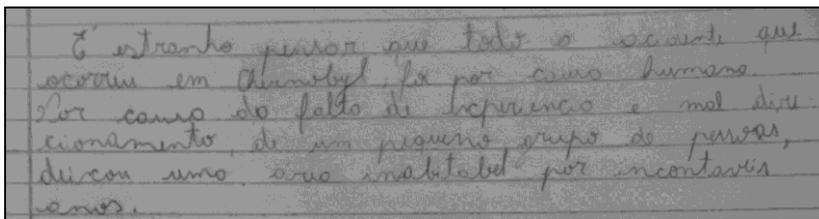


Figura 52: Texto de um aluno ao expor suas impressões sobre o documentário de Chernobyl.

Fonte: Aluno da turma 3º3.

da falha humana no acidente foi predominante. A figura 52 mostra a passagem de um destes alunos, que reforça mais uma vez a ideia de que os problemas que levaram ao acidente de Chernobyl foram humanos e não técnicos. Hoje compreendemos este episódio como um misto de situações, técnicas e humanas, responsáveis por tal evento. Desde situações relacionadas ao projeto do reator, assim como, a falta de planejamento frente a situações de emergência envolvendo a usina.

Enfim, foi uma tarde longa, mas proveitosa. Talvez o filme, diante de sua extensão, tenha tornado cansativa as primeiras partes da aula. Era possível perceber que alguns perderam a concentração na segunda metade do vídeo. No entanto, o debate posterior foi extremamente rico e cheio de possibilidades e caminhos a serem trilhados.

5.4.3 Cine 3: O Acidente Radiológico com Césio-137 em Goiânia

A nona semana de projeto foi coroada com a exibição do documentário produzido pelo programa “*Linha Direta Justiça*” e que abordou “O Acidente Radiológico com Césio-137 em Goiânia²⁹”. A ficha desde documentário, com os pontos de maior relevância, síntese e trechos importantes do vídeo, pode ser encontrada no apêndice 14 deste trabalho. O vídeo teve aproximadamente 38 minutos de duração.

Dentre as características do documentário, ele valoriza a historicidade do ocorrido. Estimula a discussão e curiosidade sobre o assunto, ocorrido em território nacional, mas também denuncia o despreparo da CNEN para lidar com o caso, assim como a falta de informação e consequente preconceito com as vítimas do acidente. A dimensão emotiva, por meio da reconstituição de alguns momentos decisivos neste incidente, dialoga de maneira incisiva com o espectador sobre os perigos da radioatividade.

Mais uma vez, o vídeo foi rico em detalhes e abriu inúmeras possibilidades à discussão. Acreditamos que a discussão de maior relevância está na responsabilidade da CNEN no controle e descarte dos rejeitos radioativos, pontuando como era antes do incidente em Goiânia e como é feito hoje, cerca de 30 anos após o maior acidente radiológico que já enfrentamos no país. A negligência neste quesito foi a palavra de ordem durante praticamente todo o debate. A turma explorou este contexto questionando o que poderia vir a acontecer caso os rejeitos de uma usina nuclear viessem a ser violados, de forma planejada, por determinados grupos terroristas. Pois, argumentavam que a dispersão da radioatividade, em certa medida, parecia ser tão aterrorizante quando a explosão de um artefato nuclear.

Entre as questões físicas abordadas no debate, o conceito de meia-vida e o tempo de atividade radioativa do césio-137 foi questão de dúvidas e alvo de bastante questionamento. A partir desta informação, com o auxílio do grupo, construímos uma estimativa de quantas décadas permanecerão em atividade as 19,26 gramas césio-137 que contaminaram a cidade e produziram toneladas de lixo contaminado a serem armazenados em local isolado à população.

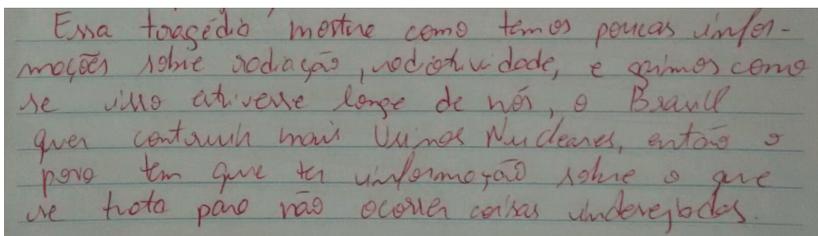
Vale dizer que a grande maioria da turma, pouco ou nada sabia sobre o acidente. Houve uma sensibilização imediata e coletiva em diversos momentos da reportagem. Dentre as partes do vídeo que geraram

²⁹ O vídeo/documentário está disponível no link: <http://www.poderjuridico.com.br/linha-direta-justica-cesio-137/>.

maior emoção, estão as cenas onde um pai de família, sem saber o que fazia, contamina sua filha com césio-137, acarretando a sua morte nas cenas seguintes. A passagem que simula o lado emocional e psicológico deste pai, sentindo-se culpado pela morte da filha, foi, sem dúvida, um momento singular da sessão.

Outro momento relevante, bastante comentado entre os participantes, foi quando os moradores da cidade tentaram impedir o enterro de algumas das vítimas do acidente. A total falta de conhecimento da população sobre o assunto radioatividade mostrou-se uma constante no episódio em questão.

Além disso, o medo e o preconceito amplamente difundidos no contexto daquele episódio, não passou despercebido no conjunto das discussões. Conforme mostra a figura 53, em um trecho nas impressões remanescentes à exibição e debate sobre o documentário, uma aluna salienta a necessidade da população ter acesso a uma melhor compreensão sobre a radioatividade, pois trata-se de um assunto que está mais perto de nós do que, no geral, imaginamos.



Essa tragédia mostra como temos poucas informações sobre radiação, radioatividade, e quisemos como se isso estivesse longe de nós, o Beaulieu quer controlar mais Usinas Nucleares, então o povo tem que ter informação sobre o que se trata para não ocorrer coisas indesejadas.

Figura 53: Parágrafo construído por um aluno ao expor suas impressões sobre o acidente com césio-137.

Fonte: Aluno da turma 3º3.

Em linhas gerais, o constrangimento vivido pelas pessoas da cidade, a falta de informações por parte das pessoas e trabalhadores envolvidos no desenvolver deste acidente, além, da negligência técnica e humana neste evento, foram os principais pontos abordados no textos de opiniões produzidos pelos alunos da turma de projeto. Foi perceptível também, que questões relacionadas à radioatividade, perfizeram uma quantidade consideravelmente menor de dúvidas dentre os desdobramentos durante a discussão. Acreditamos que isto seja decorrente das aulas e debates até então travados.

5.4.4 Cine 4: *Segundos Fatais – A Usina Nuclear de Fukushima*

O último vídeo exibido na série de documentários sobre a temática da radioatividade e acidentes nucleares, foi sobre o ocorrido na usina nuclear de Fukushima, em 2011. A ficha que norteou a apresentação deste documentário pode ser encontrada no apêndice 15 deste trabalho (Ficha nº 04). O vídeo é uma produção da National Geographic, para a série “Segundos Fatais” e conta com 46 minutos de duração. A figura 54 mostra a galera do fundão e o índice de atenção na última sessão do Cine Simão-Nuclear.



Figura 54: A galera do fundão concentrada no documentário sobre o acidente nuclear de Fukushima.

Fonte: Feita pelo próprio autor.

O documentário valoriza a informação, dentro de um quadro esquemático, diante dos motivos que levaram à explosão dos reatores 1 e 3 em Fukushima, além do incêndio nas piscinas do reator 4, assim como, revela questões inerentes ao funcionamento destes reatores nucleares, do tipo BWR (1º geração) e o que deu errado naquele dia.

O documentário nos permitiu explicar as explosões ocorridas no interior dos reatores de Fukushima como resultado da interação entre gases altamente inflamáveis, o hidrogênio e o óxido de zircônio, ambos resultantes das reações químicas decorrentes do processo falho. Esta discussão nos ajudou mais uma vez a destacar que uma usina nuclear fora de controle não se torna, em hipótese alguma, uma bomba nuclear, isto é, não gera explosões nucleares.

Além disso, pudemos assentir à fragilidade dos estudos estatísticos para antever um evento extremo como o ocorrido no Japão. Dados produzidos pela TEPKO, empresa responsável pelo gerenciamento da usina nuclear de Fukushima, em estudos estatísticos realizados sobre Tsunamis, no ano de 2002, havia concluído ser de 0% a chance de, em 30 anos, ocorrer um terremoto grande o bastante que desse origem a um tsunami que pudesse afetar a usina de Fukushima. “Estavam errados!” Um Tsunami de 8.9 graus na escala Richter atingiu o Japão, simplesmente o maior já registrado no país. A TEPKO afirma que, levando em conta todas as informações conhecidas, ter tomado as precauções apropriadas. Dizem que a escala do tsunami foi além do que pudessem ter previsto e que desde o acidente, eles fizeram tudo para estabilizar os reatores.

Jhon Casti (2011), no seu livro “O colapso de tudo”, já apontava para a fragilidade que nossos sistemas estatísticos carregam em cálculos envolvendo eventos extremos. Diz que a janela de tempos pela qual coletamos dados é muito pequena para presumir tais possibilidades. Assim sendo, o discurso do cientificamente impossível de acontecer, é frágil e assume contornos de negligência quando aplicados de modo leviano e simplesmente com o intuito de justificar necessidades do mercado.

Um ponto interessante das discussões se deu, também, sobre uma análise do discurso dos cientistas envolvidos em tentar achar respostas ao ocorrido, mas principalmente prever o que vinha pela frente logo após o incidente em Fukushima:

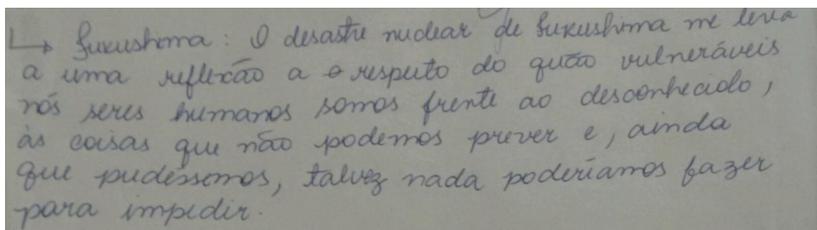
Imediatamente após o incidente o primeiro ministro perguntou aos especialistas — o que acham que vai acontecer a Fukushima agora? Nenhum deles deu uma resposta clara. A única coisa que disseram foi que uma explosão de hidrogênio não iria acontecer devido ao projeto da usinas. E pensamos: Se não acreditarmos nos que eles dizem, em quem acreditaremos? (National Geographic; 2014; Segundos Fatais: A Usina Nuclear de Fukushima)

Dentre as questões levantadas, foi possível problematizar o preparo, desta vez muito maior, do povo japonês diante de um planejamento em caso de acidente. Discutimos que os erros cometidos no passado, dentre eles o de Chernobyl, levaram a este ponto. Além disso, frisamos que embora tenha havido uma grande quantidade de mortos neste episódio, apenas 4 foram em decorrência do incidente na usina de

Fukushima, tendo os demais sido devido ao terremoto e tsunami que assolaram o país.

Todavia problematizamos a grande quantidade de radioatividade liberada na água do mar e na atmosfera para tentar controlar os reatores da usina. Os níveis de radiação foram os maiores desde o acidente de Chernobyl. Os órgãos governamentais negam informações divulgadas sobre os níveis de contaminação da área de Fukushima Daishi. Estudiosos afirmam que o governo tenta fazer parecer menor um acidente que vem se consolidando como um dos maiores desastres da humanidade.

Faz-se pertinente destacar, no que tange aos textos de opiniões posteriores aos debates, a visão de uma aluna frente ao processo de vulnerabilidade do homem diante de alguns dos desdobramentos que podem estar por vir no setor nuclear. Conforme a figura 55, ela reflete as inconstâncias diante da previsibilidade de determinadas situações, assim como, as limitações do homem em lidar com elas caso ocorram. Nas minhas palavras, é como tentar impedir o naufrágio de uma embarcação utilizando um copo para retirar a água que avança sobre a proa.



↳ Fukushima: O desastre nuclear de Fukushima me leva a uma reflexão a respeito do quão vulneráveis nós seres humanos somos frente ao descontrolado, às coisas que não podemos prever e, ainda que pudéssemos, talvez nada poderíamos fazer para impedir.

Figura 55: Parágrafo construído por uma aluna ao expor suas impressões sobre o documentário de Fukushima.

Fonte: Aluna da turma 3º3.

Vale ainda dizer que as discussões levaram a um elevado nível de contestação, por parte dos alunos, quanto às certezas que a comunidade científica afirma sobre o evento, assim como os dados que o governo japonês disponibiliza ao público. Ao fim desta quarta sessão, um tom questionador, em maior medida, parece perfazer o horizonte de aceitação às informações de diversos personagens envolvidos no discurso nuclear.

Enfim, talvez estas sessões tenham sido, para mim, enquanto professor, um dos momentos mais gratificantes da profissão. Alunos que geralmente se mantêm à parte nas aulas de Física, muito em decorrência de dificuldades na matemática básica, foram os mais assíduos nestas quatro semanas de contraturno escolar. As perguntas, o diálogo, o embate, as brincadeiras, foram a tônica deste espaço.

5.5 Da Avaliação:

Entendemos que a escolha dos caminhos a serem seguidos no processo avaliativo parte das premissas subjetivas a intencionalidade no ato de ensino. Neste sentido, um ensino de ciências que se proponha enquanto ponte de ligação entre o contexto científico e as transformações nas relações sociais e políticas na sociedade em que vivemos, carece de um processo avaliativo que se construa a partir da consolidação de competências estratégicas à luta pela sobrevivência em um mundo repleto de conflitos, incertezas e oportunidades sem precedentes.

De acordo com Silva & Moradillo (2002, p.6),

(...) a avaliação deve ter como perspectiva a procura de soluções para o problema maior a ser enfrentado na aprendizagem, que é o da superação – permanente e incessante – da realidade social. (...) O objetivo da avaliação não é a atribuição de notas, mas, a facilitação da aprendizagem dos alunos e a orientação do ensino do professor: avaliação, ensino e aprendizagem tornam-se facetas de um único processo educativo.

Assim sendo, o processo avaliativo neste trabalho se deu de forma processual, instigando a participação criativa do estudante enquanto indivíduo, e como parte de um coletivo, onde a transformação das relações sociais deste grupo de estudantes com o meio em que vivem, foi edificada através do empoderamento do grupo frente à necessidade da democratização do debate nuclear ao conjunto da sociedade.

Desta forma, ao longo do projeto, a participação dos alunos, assim como as evoluções nas intervenções em sala, foram parte contínua do ato avaliativo. Além disso, ao final dos debates no cine nuclear, pedimos aos estudantes que construíssem alguns textos, nos quais compartilhassem suas críticas e opiniões, diante de suas impressões sobre o documentário exibido nos encontros do turno vespertino e as discussões feitas com o conjunto de participantes do cine nuclear. Como atividade coletiva, orientada pelo professor, buscamos também alguns temas específicos do campo dos conceitos Físicos discutidos em sala e pedimos aos alunos que produzissem um vídeo sobre o assunto. De acordo com o segundo quadro na figura 56, dentre os temas estão: [*Tema 1*] – Porque um reator nuclear não pode se transformar em uma bomba atômica? [*Tema 2*] – Explique o funcionamento dos reatores nucleares de Angra

dos Reis, do tipo PWR. Fale sobre a capacidade de produção destas usinas e as medidas de segurança caso ocorra um acidente nuclear na região; [Tema 3] – Porque não há possibilidades de um acidente nuclear como o ocorrido em Chernobyl se repetir nos reatores nucleares de Angra dos Reis? [Tema 4] – Porque as explosões na usina nuclear de Fukushima não teriam ocorrido caso a tecnologia dos seus reatores fossem iguais à utilizada nas usinas nucleoeletricas de Angra dos Reis? [Tema 5] – O que torna um rejeito nuclear perigoso? Como eles são classificados, reaproveitados e armazenados nos dias de hoje?

Somando-se a isso, decorrente de algumas conversas junto à turma e um planejamento escolar, para o mês de agosto, que previa a realização de uma “Mostra Cultural” na escola Simão José Hess, foi deliberada pelos estudantes a construção de uma “Tenda Nuclear”. A ideia parte da premissa de que todos os alunos da turma, sob temática única, construiriam uma apresentação de alguns dos tópicos discutidos ao longo do projeto e relacionados aos seus trabalhos de vídeo, a serem apresentados naquele espaço.

5.5.1 Avaliando a produção do vídeo.

Os temas disponibilizados e sorteados entre os cinco grupos, logo na primeira aula do projeto, conforme aponta a figura 56, foram escolhidos sob a premissa de corroborar em uma melhor compreensão, e superação, de alguns aspectos específicos do conhecimento na área nuclear. Vale frisar, que as mistificações desconstruídas aqui, são de caráter técnico, e não, necessariamente, ligadas aos mitos da neutralidade científica já discutidos neste trabalho.

Figura 56: Slides utilizados para determinar o processo avaliativo junto à turma.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Diante da proposta, no diálogo com a turma já prevíamos algumas dificuldades à realização de tal tarefa, exigindo do grupo um processo de pesquisa ao longo da aplicação do projeto, o domínio de ferramentas de edição de vídeo, além de noções sobre a construção de roteiros para a abordagem dos seus temas. Reuniões periódicas para tratar da construção do vídeo foram previstas, no entanto, muito pouco procuradas pelo grupo de estudantes. Como o projeto já contava com encontros extraclasse, a ideia era que os próprios grupos, a partir de seus estudos coletivos, sentissem a necessidade de realização destas orientações, marcando-as com o professor. Apenas os grupos responsáveis pelos temas 1 e 4 o fizeram, ambos em 2 oportunidades.

Dentre os cinco grupos, apenas os vídeos referentes aos temas 1, 4 e 5, foram entregues ao final do projeto³⁰. Sem exceção, todos os grupos deixaram a produção dos vídeos para as últimas duas semanas de aulas do bimestre. Ganharam duas semanas extras, mesmo assim, apenas três deles completaram o trabalho. Alegaram ter subestimado o processo de construção do vídeo, além de terem pecado quanto a responsabilidade com a tarefa. No entanto, algo era visível, mesmo aqueles que não conseguiram efetivar o trabalho, praticamente todos dominavam, em maior ou menor grau, suas discussões. A evidência disto, se dará na apresentação dos trabalhos da mostra cultural, onde seus temas foram seccionados e discutidos conforme a composição dos trabalhos. Ao nosso ver, o processo avaliativo está focado não apenas na entrega do trabalho final, mas na apropriação dos conhecimentos ali empregados. Neste sentido, embora tivéssemos uma expectativa maior com esta atividade, avaliamos ter sido fundamental ao corpo deste trabalho.

5.5.2 Avaliando o Cine Nuclear.

As sessões referentes ao Cine Simão Nuclear foram um dos pontos altos nas discussões neste período de estudos. Nos permitiu transcender as relações específicas da disciplina de Física, onde, com discussões muitas vezes interdisciplinares, tivemos a possibilidade de construir um espaço de crítica ao positivismo incutido em uma perspectiva de neutralidade da ciência e tecnologia. Ali, diante de um

³⁰ Os vídeos produzidos ao longo do projeto podem ser encontrados youtube, no link :

https://www.youtube.com/playlist?list=PLtx47b2U5nCVRpjKr_Sk2RU_rnnZ_poJH

furacão de informações, os valores, atitudes e modelo de consumo do nosso sistema foram colocados em pauta, amplamente discutidos entre o grupo e compreendidos como elementos onipresentes à temática. Além disso, a indissociabilidade entre o técnico e político nesta discussão, foi incontestável. Com um debate aberto aos diferentes pontos de vista apresentados pelo grupo, muitas vezes conflitantes diante de uma determinada maneira de ver o mundo, nos permitimos conhecer, tirar dúvidas, mas principalmente, qualificar as intervenções no que concerne os temas da radioatividade, o funcionamento das usinas nucleares brasileiras e a necessidade de democratizarmos o debate ao restante do corpo social de cidadãos no nosso país.

As sessões contaram com um índice médio de participação da turma que variou entre 50% e 70% dos alunos matriculados. O restante da turma, geralmente, eram de alunos que ou trabalhavam, ou faziam curso técnico à tarde, ou ainda, cursinhos pré-vestibular. Todos foram incumbidos de assistir os vídeos e entregarem textos produzidos a partir das impressões sobre os respectivos documentários e debates entre o grupo. Vale ressaltar a dificuldade que a turma teve em compreender o que era para ser feito nestas atividades, isto é, textos com caráter de opinião, críticos, que compartilhassem seus pontos de vista ao final dos documentários. Grande parte desta produção textual se apresentou sob as especificidades de uma resenha do que foi visto no vídeo, o que, embora já fosse esperado, não era o que foi pedido à turma.

Enfim, não temos dúvida que o plano de ensino referente ao espaço de sala de aula no período matutino não teria atingido os objetivos deste projeto sem a concomitante exibição dos documentários à turma. Talvez, quando aplicado o projeto novamente, seria interessante aumentar uma ou duas sessões do cine e debate. Neste sentido, a priori, exibiríamos algum(uns) vídeo(s) relacionado(s) às demais matrizes energéticas no setor elétrico do país, discutindo suas vantagens, desvantagens, além de sua função e capacidade bruta no processo de abastecimento às demandas por eletricidade no Brasil.

5.5.3 Avaliando a participação na Mostra Cultural.

A mostra cultural serviu enquanto elemento de socialização dos conhecimentos e discussões realizados ao longo do projeto. A turma foi dividida em 7 grupos e os temas, a partir da produção dos vídeos, divididos entre os alunos. O primeiro grupo ficou responsável por desmistificar questões relacionadas à radiação e radioatividade, além de apontar a origem da instabilidade do núcleo e características das emissões

alfa, beta e gama. O segundo grupo teve a tarefa de apresentar as questões relacionadas ao ciclo do urânio no Brasil; a origem da energia no núcleo atômico a partir da não conservação de massa, além das características físicas da fissão nuclear. Este grupo ainda explicitou os porquês de uma usina nuclear, em um processo falho, não desencadear explosões nucleares como as de uma bomba atômica. Os integrantes do grupo três, proporcionaram ao público presente algumas informações sobre as usinas nucleares em Angra dos Reis, assim como, os princípios no funcionamento do reator do tipo PWR. O quarto grupo, atentou sobre a meia vida dos elementos radioativos, a classificação dos rejeitos e as formas de armazenamento destes resíduos, no Brasil e no mundo. O quinto trabalho falou sobre as particularidades do acidente nuclear ocorrido em Fukushima Daishi, os princípios de funcionamento de seus reatores nucleares, do tipo BWR, e o porquê, nas mesmas condições, o reator PWR não teria ocasionado as explosões vistas neste episódio. Os integrantes do grupo 6 ficaram responsáveis de apresentar alguns aspectos relacionados ao acidente nuclear de Chernobyl, assim como algumas diferenças fundamentais entre o seu reator e o utilizado em Angra dos Reis, o que inviabilizaria tecnologicamente a repetição das circunstâncias que levaram a este episódio, nas usinas nucleares brasileiras. O último grupo, sete, publicizou o episódio ocorrido em Goiânia, no ano de 1987, onde houve a contaminação de dezenas de pessoas por meio de partículas de Césio-137.

Vale dizer que a mostra cultural foi preparada a partir do contexto de sala de aula, onde a democratização do debate nuclear foi colocada sob uma perspectiva aberta, cabendo aos estudantes posicionarem-se e fazerem parte do debate. Este fator é fundamental para compreendermos como se deu a relação dos estudantes com o público presente, mas também a aceitação destes aos trabalhos apresentados. Segundo a turma, parte das pessoas esperavam uma ideia mais fechada à não utilização da energia nuclear, mas que no entanto não conseguiam dialogar sobre diversas questões relacionadas ao tema. Quando sob esta situação, eles explicaram que ali o debate não se tratava de firmar uma posição favorável ou contrária à questão, mas sim, de discutir e conhecer o tema, qualificando as discussões e exigindo participação nos debates vigentes em território nacional, assim como no seu processo de decisões. Foram visíveis as posições conflitantes entre os grupos durante a apresentação, até porque, refletem as subjetividades na forma como veem o tema. No entanto, ao nosso ver, embora não ajude na coesão das discussões na “tenda nuclear da turma 3º3”, foi um dos objetivos do projeto, isto é, permitir-lhes, de forma autônoma, opinar sobre a temática e

posicionarem-se, caso possível, a partir destes debates. Vale dizer que ampla maioria do grupo acredita precisar conhecer ainda mais sobre o assunto, tanto no que se refere às especificidades técnicas como políticas, se o objetivo principal estiver na formalização de um debate sério e consistente junto à sociedade, quanto à adesão ou não ao sistema nucleoeletrício no Brasil.



Figura 57: Apresentação dos trabalhos da turma na Mostra Cultural da escola SJH.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.6 Análises complementares à aplicação do projeto:

A aplicação do projeto teve algumas modificações ao longo das atividades em sala. A concomitância entre as aulas em sala, no contexto do material didático, e os espaços de discussão referentes ao cine nuclear, se mostraram fundamentais na tentativa de atingirmos os objetivos traçados no início do projeto. Além do que, a escolha da turma a ser aplicado o projeto, assim como, os elementos motivacionais que tais discussões desencadeariam no grupo, foram importantes à manutenção e

interesse nos debates. Houveram momentos de maior ou menor participação, mas, na nossa visão, superou as expectativas iniciais.

Da mesma forma, o processo avaliativo talvez tenha sido um pouco grande. Atividades permanentes ao projeto como um todo, assim como decorrentes das sessões do cine nuclear, tanto no que tange à participação como a produção textual, segundo o grupo, exigiram uma quantidade de tempo considerável dos seus estudos extraclasse. No entanto, segundo os alunos, não abririam mão das sessões e debates ocorridos ao final dos documentários. Inclusive disseram que isto poderia ser uma prática contínua na escola.

Enfim, foram treze semanas de aulas e debates que vieram a se complementar e dar sentido ao ensino de Física. Os textos contendo as impressões produzidas ao final do projeto, em boa parte, deram a entender que as aulas de Física “pareciam ter mais sentido” quando construídas sobre este formato, isto é, utilizando temáticas. Por conseguinte, a sentimento de apropriação do debate nuclear, em maior ou menor grau, ficou evidente ao avaliarmos o contexto geral deste trabalho e o crescimento no nível das intervenções realizadas pelos estudantes durante os debates estabelecidos ao longo destas semanas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação é resultado de uma relação construída entre a Sociedade Brasileira de Física (SBF) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com o intuito de aproximar a produção acadêmica para o ensino de Física à prática docente nas escolas da rede pública de ensino. Neste sentido, tendo em posse documentos oficiais do governo brasileiro³¹ que apontam para uma política de expansão significativa do setor nuclear nas próximas três décadas³², tivemos como objetivo central deste trabalho, a democratização do debate nuclear à nossa juventude e as contribuições do ensino de Física na qualificação das intervenções dos nossos educandos.

Com o objetivo de nortear esta proposta de ensino, desenvolvemos uma abordagem temática, pautada na relação entre a ciência, a tecnologia e a sociedade, que viesse a discutir a radioatividade e os princípios de funcionamento das usinas nucleares brasileiras. Reforçamos que, na contramão do respaldo de uma visão científica positivista e tecnocrática, onde a tarefa de discutir sobre a matriz nuclear é reservada apenas aos especialistas da área, construímos um horizonte de reflexões que atenta sim a necessidade de alguns conhecimentos técnicos à realização do debate, no entanto, reafirmamos aqui também, indubitavelmente, a existência de uma discussão política, com opiniões conflitantes e que, portanto, necessita de um amplo debate junto à sociedade.

Neste sentido, almejando justificar a necessidade da democratização do debate nuclear, mas também, admitindo a dialeticidade entre os saberes técnico e político envolvidos na questão, nos dedicamos, inicialmente, a tentar compreender quais os

³¹ Plano Nacional de Energia 2030 (PNE-2030) e Plano Nacional de Energia 2050 (PNE-2050). Disponíveis no endereço: <<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.asp>> Acessados em: Maio/2017.

³² Conforme já exposto no corpo deste trabalho, de acordo com o PNE-2030 e o PNE-2050, além de Angra I e II, já em funcionamento em território nacional, e Angra III em fase final de construção, o governo brasileiro aponta para um projeto energético no país que passaria pela construção de mais quatro termonucleares até 2030 e outras oito até o ano de 2050, totalizando, ao final deste período, quinze usinas nucleares em operação no Brasil.

conhecimentos específicos da Física à serem abordados no material didático, assim como, os mecanismos pedagógicos pertinentes na construção e implementação de um plano de ensino condizente à proposta. Para isto, foi fundamental a aplicação prévia do questionário junto à turma participante do projeto – analisado no capítulo 3 e disponível no apêndice 1 –, pois com este, pudemos compreender alguns pontos referentes ao nível de conhecimento comum da turma no que afere a temática, assim como, posturas coletivas assumidas diante de afirmações inerentes ao discurso científico positivista. Além disso, os dados obtidos tiveram peso significativo na decisão sobre o que seria incluído no material didático preparado para a turma.

As aulas em que desenvolvemos o material didático foram interessantes, com altos e baixos. Vale dizer que os simuladores computacionais foram elementos chave na decodificação de assuntos mais complexos relacionados ao tema, além do que, a atenção do grupo à exposição de ideias era maior. No entanto, avaliamos que com apenas estas “exposições” em sala de aula, não teríamos conseguido garantir a manutenção do elemento motivador da turma e assegurado momentos de discussão que podem vir a instigar o aluno a uma práxis política de participação popular nos debates e decisões da sociedade brasileira no que afere questões envolvendo ciência e tecnologia. Desta forma, as sessões de documentários e debates realizados no período do contraturno escolar (vespertino), isto é, durante o cine nuclear, foram essenciais ao êxito deste projeto. Os encontros foram marcados pelo grande número de participantes, da turma e de fora dela; pelo grande número de dúvidas relacionadas ao tema de cada documentário; pela visão humanista e crítica da maior parte destes alunos e o debate acalorado quando o pragmatismo de uma postura determinista dava a tônica de algumas intervenções; pelo envolvimento de alunos que devido à falta de pré-requisitos matemáticos para acompanhar determinadas relações físicas, mantinham-se apáticos durante as aulas convencionais; pelo domínio e crescimento na qualidade das intervenções ao longo do projeto.

Neste cenário, um trabalho futuro poderia contar com a exibição de um número maior de documentários, dando ênfase às demais matrizes elétricas no país, discutindo-as a partir de suas potencialidades técnicas e naturais, além de suas limitações, quando houver, em um processo de produção contínua em larga escala. Somando-se a isso, devemos explorar situações que nos levem a refletir, nos seus aspectos tecnopolíticos, o agravamento da crise energética nas próximas décadas.

Outro ponto observado no decorrer desta dissertação é a importância que uma abordagem temática no ensino de Física carrega no

processo de conciliação entre os saberes científicos a serem desenvolvidos e o envolvimento do educando. Relatos feitos pelo grupo, apontam que esta mediação entre o ensino e as necessárias soluções à problemas contemporâneos, parece dar sentido ao tempo de estudo investido no objeto de interesse. Cabe dizer que a temática requer uma abordagem interdisciplinar.

E por fim, reafirmamos nossa convicção de que o debate nuclear é indispensável à juventude, herdeiros das nossas escolhas e responsáveis por encontrar saídas aos problemas deixados pela nossa geração. A questão nuclear carece de novos correligionários, pessoas que abracem suas discussões, de maneira crítica e aberta aos diversos pontos de vista, e impulsionem um debate que não tem apenas uma verdade. Questões de ordem técnicas e políticas, que entrelaçam a maneira como reproduzimos nossa vida no sistema capitalista, também merecem ganhar espaço nesta discussão. Parafraseando Durkheim (1895), é preciso repensarmos nossos valores, hábitos, costumes, prioridades, de forma que consigamos superar os entraves ideológicos que condicionam nossas necessidades e respostas a formas padronizadas de conduta e pensamento, isto é, o debate nuclear nos exige a saída de uma zona de conforto, a superação de uma consciência coletiva com respostas pré-programadas. Debater energia é debater sociedade, a que temos e a que queremos. Enfim, quando o tema for energia nuclear, repetiremos, o debate também é nosso!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. B. & SILVA, M. A. D. **Ciência, Tecnologia e Sociedade; Trabalho e Educação: Possibilidades de integração no currículo da educação Profissional.** Revista Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências, v. 14, n. 1, p. 99, 2012.

AULER, Décio. **Novos Caminhos para a Educação CTS: ampliando a participação.** In: SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; AULER, Décio (Org.). CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa. Brasília – DF: Editora UnB, 2011.

_____. **Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no Contexto da Formação de Professores de Ciências.** Tese. Florianópolis: CED/UFSC; (2002).

AULER, D & BAZZO, W. A. **Reflexões para implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro.** *Ciência & Educação*, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001.

AULER, D & DELIZOICOV, D. (2001). **Alfabetização Científico-Tecnológica Para Quê?**, Revista Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências, v.3, n.1, junho

AVANCINI, Sidney S.; MARINELLI, Jose Ricardo. **Tópicos de Física Nuclear e Partículas Elementares;** Florianópolis, 2009.

BARRAGÁN, P.; MORTIMER, E. F.; LEAL, A. **Avaliação preliminar sobre o conceito de Radiação e algumas de suas tecnologias: ideias informais de estudantes do ensino médio.** Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis-SC, 2009.

BAZZO, Walter Antonio. **Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica.** Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.

BAZZO, W. A. **De Técnico e Humano: Questões Contemporâneas.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2015.

BAZZO, Walter Antonio; PEREIRA, LT do V.; BAZZO, JL dos S. **Conversando sobre educação tecnológica**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Curricular Comum: Proposta Preliminar – Segunda Versão – Revista**. Conselho Nacional de Educação; abril/2016.

_____. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Dezembro/1995.

_____. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN + Física**. Dezembro/1995.

BRASIL, Sociedade da Informação; **Livro verde (Cap. 4)**; Brasília, Set. de 2000; Disponível em:

<https://www.governoeletronico.gov.br/documentos-e-arquivos/livroverde.pdf> - Acessado em: Fev. 2017.

CACHAPUZ, et al; **Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: linhas de pesquisa e o caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”**. Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Florianópolis – SC. v. 1, n. 1, p. 27-49, 2008.

CARDOSO, E. de M. et al. Apostila Educativa Energia Nuclear. CNEN; 2010.

_____. **Apostila educativa–Radioatividade**. CNEN, Rio de Janeiro, 2011.

_____. **Programa de integração CNEN**. Módulo informação técnica. Brasília, 2003.

_____. **Aplicações da energia nuclear: apostila educativa**. CNEN, Rio de Janeiro,2010.

CASTI, J. L. **O colapso de tudo: os eventos extremos que podem destruir a civilização a qualquer momento**. Tradução de Ivo Korytowski e Bruno Alexandre. Intrínseca, Rio de janeiro, 2012.

CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. Unijuí, 2001.

CHUNG, K. C. **Introdução à física nuclear**. EdUERJ, 2001.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN. Dica de Leitura. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/>>. Acesso em: Maio de 2017.

CROALL, Stephen; SEMPLER, Kaianders; DOS REIS, Cardigos. Energia nuclear para principiantes. 1982.

CROALL, Stephen; SEMPLER, Kaianders. Conheça Energia Nuclear. Proposta Editorial Ltda, 1980.

CUNHA. M. & SILVA, D. **Construção e Validação de um questionário de atitudes frente as relações CTS**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências, VII Enpec, 2009. Florianópolis.

DELIZOICOV, Demétrio. "La educación en Ciencias y la perspectiva de Paulo Freire." Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia 1.2 (2008): 37-62

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. e PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DURKHEIM, Emile. **As regras do método sociológico**. [tradução: Paulo Neves; revisão da tradução Eduardo Brandão]. 1999.

ELETRONUCLEAR. Dica de Leitura. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/>> Acesso em: Maio 2017.

GALETTI, Diógenes; LIMA, Celso L. **Energia Nuclear com fissões e com fusões**. São Paulo: Editora Unesp, 2010.

HELENE, Maria Elisa Marcondes. **A radioatividade e o lixo nuclear**. Scipione, 2004.

FREIRE, Paulo. **Alfabetização: leitura do mundo, leitura da palavra**. Editora Paz e Terra, 2014.

FREIRE, Paulo; GADOTTI, Moacir; GUIMARÃES, Sérgio. **Pedagogia: diálogo e conflito**. Produção de terceiros sobre Paulo Freire; Série Livros, 1987.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 35. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2003. Pedagogia do oprimido, v. 17, 1983.

GADOTTI, Moacir. **Educação e poder: introdução à pedagogia do conflito**. 9. ed. São Paulo: Cortez, 1989.

KELECOM, Alphonse; GOUVEA, R. C. S. **A percepção da radioatividade por estudantes de nível superior**. Mundo & Vida, v. 3, n. 2, p. 78-89, 2002.

KHUN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Ed. 1996.

LIMA, Jéssica Cabral Araújo. **Radioatividade: uma proposta de abordagem CTS**. 2015.

OKUNO, Emico. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. 1988.

PALANDI J. et al; Física Nuclear; Grupo de Ensino de Física; Santa Maria, 2010.

PEREIRA, G. R.; BOUZADA FILHO, M. V.; NEVES, M. A. **Um estudo sobre a inserção do tema “energia nuclear” no ensino médio de municípios da Baixada Fluminense–RJ**. Encontro Nacional de Pesquisa em educação em ciências, , VII ENPEC, 2009.

POSTMAN, Neil; WEINGARTNER, Charles. **Contestação: nova fórmula de ensino**. Expressão e Cultura, 1971.

PRÄSS, Alberto Ricardo. **Energia Nuclear Hoje: Uma Análise Exploratória**. Porto Alegre, 2007.

RZYSKI, Barbara M.; SARTORI, Carla E. **Avaliação do conhecimento da população paulistana sobre a energia nuclear e os rejeitos**

radioativos – O acidente de Goiânia despertou o interesse?

In: Conferência Internacional sobre o Acidente Goiânia 10 anos depois. 1997.

SANTOS, C. A, dos. Dica de leitura. Disponível em:

<<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/radioatividade/nuclearindex.html>>

Acesso em: Maio de 2017.

SILVA, José Luis PB; DE MORADILLO, Edilson Fortuna. **Avaliação, ensino e aprendizagem de ciências**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2002.

SILVA, Luciana da Cruz Machado da. **A Radioatividade como tema em uma perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade com foco em História e Filosofia da Ciência**. 2010.

TANIMOTO, Kátia Suemi. **Proposta de um questionário destinado a avaliar a percepção de risco relativa a um repositório de rejeitos radioativos**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

WAHNON, Sara Silva Pinto. **Acidente na central nuclear de Fukushima-I: Análise Crítica**. 2013.

VEIGA, José Eli da. **Energia Nuclear: do anátema ao diálogo**. São Paulo: SENAC, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: QUESTIONÁRIO E TLCE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
<http://mnpef.ufsc.br/>



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Meu nome é Paulo Sérgio Gai Montedo, orientando do professor José Ricardo Marinelli, estudante do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e estamos desenvolvendo uma pesquisa de opinião e saberes prévios referentes a temática: “A radioatividade e o processo de produção de energia elétrica no Brasil via matrizes nucleares”. Dentre os principais objetivos da pesquisa, cabe ressaltar, a necessidade de compreendermos quais os conhecimentos necessários sobre o tema de interesse para que a discussão social frente a este seja feita de forma onde a afetividade não sufoque a fria análise dos temas.

Assim sendo, o processo de pesquisa a seguir se dará via aplicação de um questionário dirigido aos segundos anos do ensino médio na Escola de Educação Básica Simão José Hess, Florianópolis /SC, dividido em quatro eixos centrais: - Compreensões sobre Radiação e Radioatividade; - A Energia Nuclear e os Rejeitos Radioativos; - A Produção de Energia Elétrica no Brasil; Os Mitos da Neutralidade Científica Referentes a Tecnologia Nuclear. A abordagem metodológica adotada na investigação terá caráter misto, ou seja, tanto quantitativo quanto qualitativo. O questionário utilizar-se-á escala de opinião do tipo Likert, no intuito de identificarmos o ideário e sentimento daquele que o responde dentro de uma perspectiva que vai de total concordância ou não frente a afirmação que o antecede. Ainda no decorrer deste, buscaremos evidenciar situações de simples saber, ou dessaber, referentes a assuntos pertinentes a investigação proposta.

Para garantir o anonimato e sigilo das informações, você não será identificado na realização do questionário, os quais ficarão sob minha guarda, e direcionado para pesquisas sobre ensino na área sem qualquer divulgação de sua identidade. O produto desta investigação consolidar-se-á em um planejamento didático sobre o tema, e lhe será disponibilizado após defesa da dissertação de mestrado, conforme sua vontade. Se você necessitar mais esclarecimentos ou, durante o estudo não quiser mais fazer parte do mesmo, sinta-se à vontade para entrar em contato comigo nos endereços e telefones abaixo.

Nesses termos, tendo sido devidamente esclarecido(a), consinto consciente e livremente em participar do estudo proposto e concordo com a divulgação pública dos resultados.

Assinatura do Entrevistado

Assinatura do Pesquisador

Contato opcional do entrevistado: _____
Desejo receber o planejamento via e-mail: () Sim () Não

Em caso de necessidade, contate com: Paulo Sérgio Gai Montedo no endereço Alba Dias Cunha, 258, pelo telefone (048) 9106-8212 e/ou pelo endereço de e-mail: psgmontedo@gmail.com.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
 SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA - SBF
 MESTRADO PROFISSIONAL EM FÍSICA - MNPEF



Prezado (a) aluno (a), meu nome é Paulo Montedo, sou Professor de Física e estudante do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Estou realizando uma pesquisa referente aos seus conhecimentos prévios sobre radioatividade e o processo de produção de energia elétrica via matrizes nucleares. Necessito de sua atenção para preencher este questionário e garanto o anonimato do senhor (a). Neste sentido, não é necessário que identifiquem-se neste questionário, ficando sob minha guarda as informações aqui obtidas, as quais serão utilizadas para estudos sobre o tema e publicações científicas futuras. Obrigado pela compreensão e mãos a obras.

Julgue rápida e espontaneamente o que você sente/pensa em relação às afirmações a seguir:

1) A Radiação é um tipo de propagação de energia exclusivamente nocivo ao ser humano.

| Discordo totalmente | Discordo | Não sei | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

2) Um corpo, quando exposto a radiação, será considerado contaminado.

| Discordo totalmente | Discordo | Não sei | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

3) Radiação e Radioatividade são palavras sinônimas, ou seja, possuem o mesmo significado.

| Discordo totalmente | Discordo | Não sei | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

4) Existem diversos tipos de radiações, sendo estas organizadas dentro do espectro eletromagnético em função da sua frequência ou comprimento de onda.

| Discordo totalmente | Discordo | Não sei | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

5) Radioatividade é a propriedade que um determinado elemento químico tem de emitir energia e partículas subatômicas a partir de seus átomos. Esse é um fenômeno que só acontece com alguns elementos químicos encontrados na natureza.

| Discordo totalmente | Discordo | Não sei | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

- 6) A compreensão sobre o fenômeno da radiação esta diretamente relacionada ao processo de produção de artefatos tecnológicos como: radares, rádio, forno micro-ondas, televisão, telefonia celular, tomografia, etc.

| | | | | |
|---------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Não sei | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

- 7) Das proposições abaixo, assinale quais emitem ou não, radiação?

| | Emite radiação | Não emite radiação | Não Sei |
|----------------------------|----------------|--------------------|---------|
| O Sol. | | | |
| Uma Lâmpada. | | | |
| Um forno Microondas . | | | |
| Um aparelho de raios-x. | | | |
| Alguns elementos químicos. | | | |
| O corpo humano. | | | |
| Todos os corpos na terra. | | | |

- 8) Alimentos irradiados são alimentos submetidos à radiação com o objetivo de reduzir a quantidade de microrganismos (como fungos e bactérias), presentes naturalmente, sem a necessidade de aditivos químicos. Esse processo também aumenta o período de validade dos produtos, pois retarda o amadurecimento. A irradiação de alimentos não altera o gosto deles nem suas propriedades. Todos os alimentos irradiados devem, obrigatoriamente, apresentar essa informação no rótulo. Você consumiria um alimento irradiado? (LMB)

| | | | | |
|---------------------------|----------------|--------|------------|-----------------------|
| Certamente não Consumiria | Não Consumiria | Talvez | Consumiria | Certamente consumiria |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

- 9) Dentre as alternativas a seguir, escolha uma para a primeira coisa que vem à mente quando o tema é energia nuclear. (R&S)*

- () Medicina Nuclear; () Contaminação Radioativa; () Usinas Nucleares;
 () Bomba Atômica; () Energia Limpa; () Rejeitos Radioativos;

- 10) Uma usina nuclear, construída para gerar energia elétrica, se não for bem controlada pode se transformar em uma bomba atômica.

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

- 11) A energia nuclear é considerada uma energia bastante limpa, porque não libera poluentes para a atmosfera e o único resíduo que gera é o lixo atômico, que devidamente acondicionado não representa um risco para os seres humanos e para o ambiente.

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

12) Os rejeitos radioativos de uma usina nuclear são materiais contaminados e em sua maior parte não podem ser reaproveitados, devendo ser armazenados e depositados em local adequado.

| Discordo totalmente | Discordo | Não sei | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

13) Entre as aplicações da energia nuclear abaixo, quais você já ouviu falar? (R&S)*

- Dessalinização da água.
- Combustível nuclear.
- Irradiação de alimentos.
- Fins bélicos.
- Tratamento de águas.
- Tratamento de gases tóxicos.
- Esterilização de instrumentação médica e odontológica.
- Geração de energia elétrica.
- Diagnóstico e tratamento da tireóide.
- Tratamento para cura de câncer e diversos tumores.
- Produção de uma bomba nuclear.

14) Você sabe se no Brasil existem usinas nucleares?

- Sim, existem.
- Sim, existem duas usinas nucleares em funcionamento e uma terceira em fase final de construção.
- Não, não existem, pois o Brasil não domina esta tecnologia.

15) Em uma situação hipotética, se o governo convocasse a sua cidade, ou região, para saber a opinião dos moradores a respeito da implantação de uma Usina Nuclear na cidade/região, qual seria sua opinião?

| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente | Precisaria compreender melhor sobre o assunto para opinar. |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|--|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | |

16) Dimensione, em uma escala de intensidade que vai de 1 a 5, o quanto você conhece, ou já ouviu falar sobre os acidentes nucleares a seguir:

| | Total desconhecimento (1) | Lembro Vagamente (2) | Regular (3) | Conheço algumas coisas (4) | Conheço bem sobre o tema (5) |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Césio 137 – em Goiânia (1987) | | | | | |
| Acidente em Three Mile Island (1979) | | | | | |
| Acidente de Chernobyl (1986) | | | | | |
| Acidente de Fukushima (2011) | | | | | |

17) Dimensione em uma escala de 1 a 5 o quanto, em sua opinião, você acredita conhecer sobre o processo de produção de energia elétrica no Brasil?

| Desconheço totalmente | Desconheço | Regular | Conheço algumas coisas | Conheço bem |
|-----------------------|------------|---------|------------------------|-------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

18) Qual a fonte preponderante no sistema de produção de energia elétrica no Brasil?

() Eólica () Nucleares () Solar () Gás () Hidroelétrica

19) As decisões referentes a implementação ou não de usinas nucleares no Brasil cabem ser discutidas apenas pela comunidade científica, pois são aqueles que possuem conhecimento para tomar decisões científicas melhor do que as pessoas comuns. (VOSTS & COCTS)*

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

20) As políticas públicas são melhores quando decididas por especialistas. (RB - C&S)

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

21) Assumindo agora que o Japão é um dos países que utiliza a tecnologia de irradiação de alimentos há vários anos, tendo a OMS (Organização Mundial da Saúde) confirmado que esses produtos não oferecem riscos à saúde e, portanto, que não contêm níveis de radiação acima do normal, você passaria, ou continuaria, a consumir estes alimentos? (BML)*

| | | | | |
|---------------------------|----------------|--------|------------|-----------------------|
| Certamente não Consumiria | Não Consumiria | Talvez | Consumiria | Certamente consumiria |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

22) A ciência explica o verdadeiro funcionamento da natureza. (RB – C&S)

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

23) Uma nova tecnologia só é utilizada se for segura. (VOSTS)

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

24) Nenhuma tecnologia é maléfica a priori, isto depende de seu uso. (RB – C&S)

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

25) A ciência e a tecnologia certamente, no futuro, resolverão problemas sociais relacionados com a poluição, fome, pobreza. (VOSTS)*

| | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

26) Nenhum grupo social exerce influência nas decisões científicas e tecnológicas, portanto, deve-se desprezar os componentes econômicos na prática científica. (VOSTS + RB – C&S)*

| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

27) Diferentes disciplinas científicas observam da mesma forma um mesmo fenômeno científico. (VOSTS)

| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

28) A produção de energia elétrica via matriz nuclear é um caminho natural do desenvolvimento científico. (RB – C&S)*

| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

29) A ciência deve pesquisar sobre energia nuclear para conseguir progredir. (RB – C&S)*

| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

30) Desenvolvimento tecnológico gera desenvolvimento social. (COCTS)

| Discordo totalmente | Discordo | Indiferente | Concordo | Concordo totalmente |
|---------------------|----------|-------------|----------|---------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |

OBSERVAÇÃO:

Os questionamentos identificados com asterisco (*) foram adaptados, sendo que, de acordo com suas respectivas siglas, tem origem nas referências supracitadas a estas:

✚ CUNHA, M. & SILVA, D. **Construção e Validação de um questionário de atitudes frente as relações CTS.** Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências, VII Enpec, 2009. Florianópolis.

- **(RB – C&S)** - Revisão Bibliográfica realizada por Cunha & Silva (2009).
- **(VOSTS)** - Views on Science-Technology-Society
- **(COCTS)** - Cuestionario de Opiniones de Ciencia, Tecnología y Sociedad

✚ TANIMOTO, Kátia Suemi. Proposta de um questionário destinado a avaliar a percepção de risco relativa a um repositório de rejeitos radioativos. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

- **(KTB)** – Kátia Suemi Tanimoto

✚ RZYSKI, Barbara M.; SARTORI, Carla E. **Avaliação do conhecimento da população paulistana sobre a energia nuclear e os rejeitos radioativos – O acidente de Goiânia despertou o interesse?** In: Conferência Internacional sobre o Acidente Goiânia 10 anos depois. 1997.

- (R&S) - RZYSKI, Barbara M.; SARTORI, Carla E.

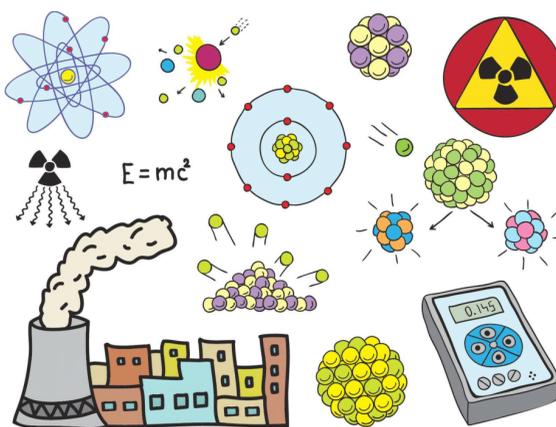
✚ BARRAGÁN, Patrícia; MORTIMER, Eduardo F.; LEAL, Alexandre. **Avaliação preliminar sobre o conceito de Radiação e algumas de suas tecnologias: ideias informais de estudantes do ensino médio.** Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis-SC, 2009.

- (BML) - BARRAGÁN, Patrícia; MORTIMER, Eduardo F.; LEAL, Alexandre.

APÊNDICE 2 - MATERIAL DIDÁTICO

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Sociedade Brasileira de Física - SBF

DA RADIOATIVIDADE AOS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE UMA USINA NUCLEAR



Autor: Paulo Sérgio G. Montedo
Orientador: José Ricardo Marinelli



Carta ao estudante: Precisamos falar sobre nossa opção nuclear!

Certamente você já ouviu falar sobre energia nuclear. Arrisco, de maneira pretensiosa, dizer que trata-se de um dos temas de maior relevância no contexto científico e tecnológico dos últimos quase 80 anos. O que você lembra sobre isso? Bomba atômica? Usinas Nucleares? Lixo Radioativo? Medicina Nuclear? Mas a real pergunta é: quantas vezes o discurso do quão altamente complexo esse conhecimento o é, não foi usado para te colocar a parte destas discussões? Já parou para pensar sobre o porquê? Em síntese, é disso que queremos falar. Já é tempo de um conjunto maior da população participar destes debates, e para isso, indispensavelmente, precisamos conhecer.

O que você já ouviu falar sobre a produção de energia elétrica via usinas nucleares no Brasil? Você sabia que o nosso país tem, até o momento, duas usinas termonucleares em funcionamento e uma terceira em fase final de construção? Acha que paramos por aqui? Segundo o Plano Nacional de Energia (PNE), até o ano de 2030, ao menos no papel, o governo prevê, além destas, a construção de outras quatro usinas nucleares, duas localizadas no nordeste e as demais no sudeste do país. Até 2050 serão outras oito. E você, o que tem debatido sobre isso? Pois é, infelizmente a resposta da grande maioria será um redondo e enorme ZERO.

O discurso predominante quando evocamos a necessidade da população debater o seu futuro energético, principalmente aquilo que se refere à opção nuclear ou não, se desenha, em geral, sobre o argumento de que o povo é ignorante em matéria de conhecimento sobre o assunto - trata-se de uma discussão muito complexa - pertencendo esta decisão portanto aos especialistas da área. Discordamos de maneira veemente desta afirmação, e mais, alertamos que esta visão esconde, nas suas entrelinhas, uma forma de ver o mundo onde a população é alijada do seu direito de escolha, do processo democrático, e abduzida de um furacão de discussões que, uma hora ou outra, trilha um caminho comum às linhas gerais sobre o modelo de sociedade em que vivemos, mas principalmente, o modelo de sociedade que queremos.



Figura 1 : Visão da Central Nuclear de Angra dos Reis
Fonte: Eletronuclear

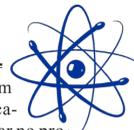
É preciso falar algumas verdades: – Uma usina nuclear, durante um processo falho, não torna-se uma bomba atômica; – Os acidentes de Chernobyl, Three Mile Island ou Fukushima, não teriam ocorrido se a tecnologia utilizada naqueles episódios fossem semelhantes à empregada nas usinas da central nuclear de Angra dos Reis; – A opção nuclear pode sim desbancar o alto índice de emissão dos gases relacionados ao aquecimento global; – A maior parte dos rejeitos radioativos de uma usina nuclear, se houver planejamento, podem ser reaproveitados; Conhecimentos na área da energia nuclear, a exemplo da radioatividade, podem e devem, ser utilizados para fins pacíficos como a medicina nuclear;



Figura 2
Fonte: nuclearpower.org



USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



– Vivemos, e viveremos nas próximas décadas, uma crise energética de magnitude sem precedentes. Discutir é preciso! Fatos são fatos, não podem ser omitidos, ou simplificados, para justificar uma posição prévia. Um debate sério sobre a opção da energia nuclear no processo de produção de eletricidade nos exige uma reflexão que não esteja condicionada a priori.

Mas já que estamos contando algumas verdades, precisamos dizer também que: – Nenhuma usina nuclear é 100% segura; – Acidentes de proporções semelhantes, ou até mesmo maiores que Chernobyl e Fukushima, podem voltar a ocorrer; – As consequências de uma tragédia nuclear podem ser irreversíveis; – Não existe energia limpa, mas sim, padrões de comparação entre as diferentes matrizes energéticas; – Os resíduos posteriores à produção da energia nuclear por meio da fissão do núcleo seguem com sua atividade radioativa por até alguns milhões de anos; Não existe solução definitiva para estes rejeitos radioativos; – Considerando a ampliação da oferta nuclear no país, e no mundo, intensifica-se o risco de proliferação de armas nucleares e de dispersão radioativa; – Não há transparência à sociedade, por parte dos governos e monopólio da área nuclear, em relação aos impactos sociais, ambientais e na saúde das populações que vivem em áreas próximas da, ou da própria, exploração do metal de urânio; – A produção de conhecimento científico e tecnológico na área nuclear, assim como de qualquer outra área do conhecimento, não é neutra. Isto é, existem valores e concepções de mundo que a legitimam enquanto problema a ser resolvido; – Existem outras formas de produzir energia que não a nuclear; – Discutir nosso modelo energético significa discutir os pilares de sustentação da nossa sociedade, seu merchandising enquanto ferramenta ideológica de um determinado padrão de consumo, de estilo de vida, de construção de novas necessidades.

Conhecer é preciso, e talvez por isso você pense: Ufa, ainda bem que a matriz principal de produção de eletricidade no Brasil é a hidroelétrica, o que precisamos é ampliá-la e não debatermos a construção de novas usinas nucleares. Sinto lhe informar, a discussão não é tão simples assim. Primeiro, pois a ampliação da quantidade de term nucleares em território nacional já está sendo encaminhada e o debate, ao qual pretendias escapar pela tangente, inexistente, a não ser para grupos fechados de especialistas. Segundo, pois sim, é verdade que o Brasil é favorecido pelos seus recursos naturais hídricos. De acordo com Ministério de Minas e Energia (MME), no ano de 2013, aproximadamente 71% da nossa eletricidade no país teve origem no movimento das águas, sendo que o restante está distribuído entre as fontes de gás natural (11,3%), carvão (2,4%), nuclear (2,4%), petróleo (3,6%), derivados da cana (4,9%) e outras formas de energia (4,7%). No entanto, até o ano de 2050, aliado a dados estatísticos referentes ao aumento de energia per capita anual, a população chegará a 226 milhões de habitantes, o que irá superar em muito a capacidade de produção das usinas hidrelétricas. Além do que, o aumento da opção hidroelétrica também tem suas contradições. Que o digam as famílias ribeirinhas e os indígenas que viviam em áreas próximas à bacia do rio Xingu, alagadas para a construção da usina hidrelétrica de Belo Monte. Portanto, a seta que aponta para a necessidade de debatermos amplamente nossas possibilidades energéticas pode ser ignorada por algum tempo, mas não para sempre, pois ora ou outra, a repercussão destas escolhas poderão, talvez, assombrar o que restar da humanidade.



Figura 3: Nuclear, resposta errada.
 Fonte: Greenpeace

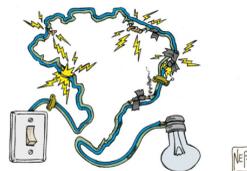


Figura 4: Charge do ilustrador Neftaly Vieira satirizando a crise energética no Brasil.
 Fonte: Jornal de Brasília





Se conhecer é preciso, o que precisamos, ou deveríamos saber para qualificar o debate? Como é possível darmos conta de um dilema com tal dimensão? O que é preciso fazermos para pressionar os governos a abrirem estas discussões ao público em geral? As respostas a estas, e diversas outras questões, ainda estão em aberto. Mas o primeiro passo, indubitavelmente, é exercitarmos nossa curiosidade sobre o assunto. Com o advento da internet, o acesso à informação já não é um obstáculo como o era a 30 ou 40 anos atrás. O acervo de documentos digitais, tanto em vídeo quanto literário, é imenso. É verdade que precisamos saber filtrar as informações, e por isso, lhes convidamos agora para adentrar ao estudo, na área do ensino de Física, sobre os principais pontos que abrangem a temática.



Figura 5: Os segredos do mundo pertence aos curiosos!
 Fonte: Analytics Marketing Digital

Com esta finalidade, por meio do material didático que tens em mãos, terás a oportunidade de desfrutar alguns conhecimentos no horizonte dos estudos da estrutura da matéria e, com isso, ingressar em um mundo particular de visões e concepções científicas e tecnológicas sobre o funcionamento de uma usina nuclear e sua consequente produção de energia elétrica. Neste, percorreremos desde as ideias mais elementares da composição do núcleo atômico, suas representações simbólicas e consequências diretas com a determinação dos diferentes elementos químicos; radiações e radioatividade; assim como, caminharemos em direção da origem desta tão cobiçada energia contida no núcleo de um átomo e suas duas principais formas de extração, fissão e fusão nuclear. De mais a mais, apresentaremos o abecê do funcionamento das usinas nucleares de Angra dos Reis, além de compararmos alguns incidentes nucleares, tecnologicamente, com as possibilidades e especificidades do reator de água pressurizada contido na central nuclear brasileira.

Já está na hora de darmos um basta, pois o debate nuclear também é nosso!



ANOTAÇÕES:





INTRODUÇÃO AO MODELO NUCLEAR

Entre os séculos VI e IV a.C., na Grécia, surgem as primeiras reflexões sobre as características estruturais da matéria. Embora hoje, na era da energia nuclear, seja de conhecimento geral o ideário atomístico, naquele momento - nos preâmbulos filosóficos sobre o tema - a existência do átomo, na qualidade de partículas indivisíveis, não era de simples aceitação. A atomicidade da matéria não é algo óbvio, indiscutível e, portanto, determinado. Ainda hoje se o conhecimento preponderante for o senso comum, isto é, a experiência imediata entre o homem e a matéria, sua concepção contínua, como algo infinitamente divisível, pode não parecer absurdo para muitos dos nossos leitores. Ninguém, até então, já viu um átomo.

Leucipo e Demócrito, foram os pensadores responsáveis por sustentar a primeira teoria atomística da matéria. De maneira predominantemente filosófica, postularam que a matéria era composta de minúsculas partículas elementares, indivisíveis e em movimento perpétuo, os átomos, além de espaço vazio. Apenas a partir da metade do século XVIII d.C., com a consolidação da ciência natural em seus aspectos experimentais, estas ideias passaram a encontrar apoio científico através das pesquisas do cientista John Dalton. Mas seria o átomo, na perspectiva de estes pesquisadores, a menor porção da matéria? Thomson, Rutherford e Chadwick, mostrariam mais tarde que o átomo é composto de partículas subatômicas muito menores do que as imaginadas, descobririam a existência dos elétrons e um núcleo atômico formado de prótons e nêutrons, que seriam então as partículas elementares da matéria.

É importante frisarmos que neste momento não nos aprofundaremos no estudo da evolução histórica dos modelos explicativos da matéria, no entanto, ao final deste texto, indicaremos leituras complementares que possam servir de base para esta compreensão. Apresentaremos, inicialmente, algumas propriedades e características de um modelo atômico composto por prótons, nêutrons e elétrons, supondo estes, enquanto constituintes fundamentais da matéria. Em seguida delinearemos características do modelo padrão, composto pelos quarks, e aceito pela comunidade científica nos dias de hoje.

ALGUNS ASPECTOS DO MODELO ATÔMICO DE NUCLEONS

Um modelo atômico, nada mais é, do que a representação de uma realidade imposta pelos resultados experimentais quanto à estrutura da matéria. Basicamente nos permitiremos aqui, construir um imaginário atomístico na perspectiva onde o elétron, o próton e o nêutron se comportarão como partículas fundamentais de uma personificação explicativa. Fazemos isto não por acaso, mas porque este caminho nos possibilitará discutir algumas das mais importantes manifestações do núcleo, como a radioatividade e os fenômenos de fissão e fusão nuclear, peças chaves para compreendermos os princípios de funcionamento na produção de energia elétrica via uma usina nuclear. No entanto:

- **Você sabe como se divide a estrutura de um átomo?**



Figura 6: Os gregos e a constituição da matéria.
Fonte: Blog do ENEM





A estrutura atômica, basicamente, é dividida em duas regiões, o núcleo, composto por prótons e nêutrons, e a eletrosfera, onde orbitam os elétrons.

O núcleo é confinado em um espaço imaginário delimitado por um raio da ordem de 10^{-15} m, isto é, 1 fm (fermi). É uma região extremamente densa e pode ser decomposta, pois é formada de outras partículas, os prótons e os nêutrons. Estas partículas mantêm-se unidas devido a ação de uma força fundamental da matéria, a força forte, que tem atuação relevante até os limites da região do raio nuclear.

A eletrosfera define os limites das dimensões do átomo. Basicamente trata-se de espaço vazio onde os elétrons orbitam em torno do núcleo sob trajetórias elípticas, semelhante ao modelo planetário do movimento dos corpos celestes em torno do sol. Embora a figura 7 seja usualmente utilizada para a representação da estrutura atômica, é válido mencio-

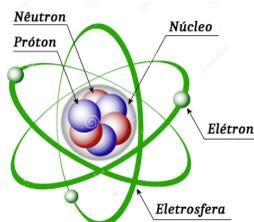


Figura 7: Estrutura do átomo.
Fonte: Dreamstime

nar que proporcionalmente apresenta uma discrepância relevante com a realidade, isto é, a eletrosfera pode ser de 10 mil a 100 mil vezes maior do que o núcleo atômico. Para efeitos de comparação, se o núcleo atômico fosse do tamanho de uma ervilha, a eletrosfera teria a magnitude do imenso estádio do Maracanã.

• Vamos relembrar algumas características dos prótons, nêutrons e elétrons?

Os **prótons** são encontrados em todos os núcleos atômicos e têm fundamental importância devido à sua estabilidade. Possuem carga elétrica positiva, e equivalente, em módulo, à carga do elétron. A massa de um próton é de aproximadamente $m_{\text{próton}} = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg. Em termos de unidade atômica, a massa de um próton é igual a 1,0078 u. No entanto, comumente, no estudo da Física nuclear, é tratada como +1u.

Os **nêutrons** também compõe o núcleo atômico. Sua carga é eletricamente nula, o que torna desprezível sua interação com campos eletromagnéticos. Mais adiante veremos que essa característica tem importância fundamental na estabilidade de átomos pesados. A massa do nêutron é aproximadamente 0,1% maior do que a do prótons (1,0087 u), assim sendo, para fins práticos, consideramos ambas como equivalentes. Ambos, prótons e nêutrons, são chamados de nucleons.

Os **elétrons**, em uma visão clássica, podem ser considerados partículas, de carga negativa, e que giram sob órbitas estacionárias¹ em torno do núcleo. Em módulo sua carga equivale a $6 \cdot 10^{-19}$ Coulombs, já sua massa é aproximadamente 1836 vezes menor do que a dos prótons e nêutrons, isto é, $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg. Em condições normais, ou seja, não havendo interferências externas, o número de elétrons é igual ao número de prótons no interior da estrutura atômica, o que implica que a carga total deste elemento é nula.

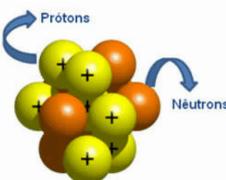


Figura 8: Núcleo atômico formado por prótons e nêutrons.
Fonte: Desconhecida

¹ As órbitas estacionárias são o resultado de um postulado proposto por Niels Bohr onde nestas trajetórias, bem definidas, os elétrons circulam sem emitir ou absorver energia de forma espontânea.





CURIOSIDADE:

Você sabia que o estudo da física nuclear, basicamente, é feito por meio de colisões de partículas com o núcleo? Pois então saiba agora, e mais, a ordem de grandeza quanto à energia destas partículas colisoras tem relação direta com o quão detalhado o núcleo pode ser observado. Isto significa que a forma como descrevemos o núcleo, assim como suas partículas elementares, dependem da faixa energética em que o fenômeno estudado ocorre. Assim sendo, conforme a figura 9, quando estas partículas têm energia de alguns milhões de elétrons-volts (eV), o núcleo atômico pode ser explicado em função dos nucleons, ou seja, prótons e nêutrons, como fizemos até então. Ao elevarmos 100 vezes esta faixa energética, é preciso adequar o modelo explicativo a um novo tipo de partícula elementar, os mésons. Entretanto, os mésons ainda não são as menores partículas que conhecemos, pois se elevarmos cerca de mil vezes a energia necessária à sua observação, ou seja, alguns bilhões de elétron-volts, será perceptível um comportamento que apenas pode ser explicado com a existência de partículas ainda mais fundamentais à estrutura nuclear, neste caso, os quarks, dando origem ao modelo atômico padrão aceito pela comunidade científica nos dias de hoje.

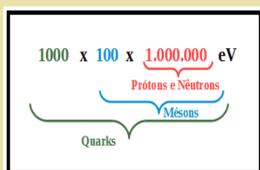


Figura 9 : Relação entre a capacidade de observação do núcleo atômico e a energia contida nas partículas colisoras.
Fonte: Feito pelo próprio autor.



Figura 10 : Partículas elementares no modelo padrão.
Fonte: UENF

O modelo padrão, identifica partículas básicas quando a energia envolvida no processo de colisão é da ordem de alguns bilhões de elétrons-volts, além de especificar como elas interagem entre si. Dentre estas partículas teremos os Quarks, Léptons e Bósons mediadores ou transportadores de força. Vale lembrar que toda partícula tem sua correspondente antipartícula, com mesmas características, porém carga com sinal oposto. Mesmo os neutrinos (ver figura 10), que não possuem carga elétrica, têm suas antipartículas.

De acordo com a teoria padrão, os bósons apresentados na figura 10, são partículas mediadoras de força, isto é, as interações fundamentais da matéria entre as diferentes partículas apresentadas se dão por meio destes. O Glúon é responsável pela interação forte; Os bósons W e Z dão conta das interações fracas; o fóton pela interação eletromagnética.

Os quarks e léptons podem ser encarados como constituintes de toda a matéria na forma a qual conhecemos. São considerados do tipo férmion e, portanto, obedecem o princípio de exclusão de Pauli, que afirma a impossibilidade de férmions idênticos ocuparem o mesmo estado quântico simultaneamente, diferente das partículas do tipo bósons, que não apresentam esta restrição. Todas as partículas formadas por quarks são denominadas hádrons, que tem como característica serem massivas e estarem sujeitas à interação forte. Os quarks sofrem um efeito conhecido como confinamento, o que os mantém ligados para formar então os hádrons. Esses, por sua vez, podem ser do tipo méson, formado por um par quark e anti-quark, comportando-se como um bóson, assim como podem ser do tipo bárion, formado por três quarks, comportando-se como férmions. Já os léptons são partículas menos massivas e se comportam como férmions.





Se você está achando muita informação em um espaço muito pequeno de texto, saiba, há muito mais por desvelarmos, no entanto, optaremos, neste momento, por não fazê-lo. Mas uma coisa ainda é válida acrescentarmos, para justificar teoricamente o modelo padrão diante do princípio de exclusão de Pauli, foi necessário incluir uma ideia de sabores a cada lépton e quark, além de dividir cada quark em três tipos de cores.

Mas fica a pergunta: **porque desenvolvemos alguns pontos do modelo padrão de partículas se não pretendíamos nos aprofundar em suas discussões?** A resposta é simples: precisávamos apresentar a existência do neutrino do elétron e o fóton, os quais constam na figura 10. Estes, junto aos prótons, nêutrons e elétrons, serão as partículas chaves para compreendermos, sob uma visão física, como o universo da energia nuclear funciona.

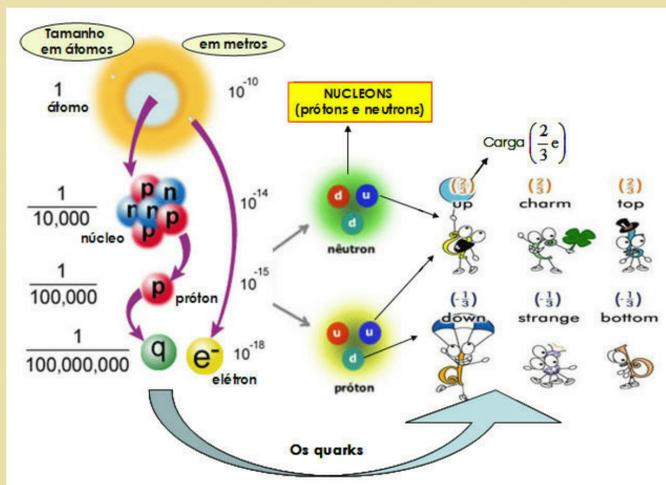


Figura 11: Representação lúdica comparando algumas características entre o modelo atômico de núcleons e o modelo atômico padrão. Fonte: SPRACE

A REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA DE UMA ESTRUTURA NUCLEAR

O número de atômico (Z) é o termo utilizado cientificamente para designar o número de prótons encontrados no núcleo atômico de um determinado elemento químico. O número de massa (A) corresponde ao total de partículas, prótons e nêutrons, que existem no núcleo do átomo. Isto significa que o total de nucleons em um átomo pode ser determinado pela equação:

$$A = Z + N$$

onde N representa o número de nêutrons.

A representação simbólica da estrutura nuclear de um elemento químico, embora não seja única, dá-se da seguinte forma:





X → Símbolo do Elemento químico
A → N° de massa
Z → N° Atômico

Veja como representar o Urânio-238, matéria-prima do combustível nuclear e encontrada em grandes quantidades nas terras brasileiras. Onde o número atômico Z, que o caracteriza enquanto elemento urânio, é 92; seu número de massa A é 238 e, consequentemente, o seu número de nêutrons é igual a $N = 146$ nêutrons.



• O que são elementos Isótopos?

Denominamos isótopos os elementos químicos que possuem o mesmo número atômico mas massas diferentes. Sabemos que a massa é o somatório entre os prótons e nêutrons que compõe o núcleo. Devido ao fato da carga do nêutron ser nula, a quantidade à qual este é encontrado no núcleo pode variar para o mesmo elemento. Como exemplo, podemos citar o carbono, conforme a figura 12, onde o número atômico os define enquanto elementos do mesmo tipo, no entanto, sua massa varia de acordo com a quantidade de nêutrons que compõem o seu núcleo atômico.

Da mesma forma podemos interpretar alguns dos isótopos do Urânio: U-234; U-235 e U-238. Compreenda que o número atômico 92 é o que os define enquanto família Urânio, no entanto, sua massa varia de acordo com a quantidade de nêutrons que compõe o núcleo, respectivamente 142, 143 e 146. Veremos posteriormente que isto influencia diretamente na estabilidade de um núcleo.

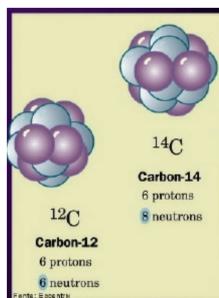
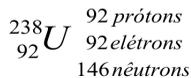
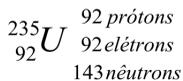
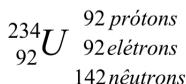


Figura 12: Isótopos de Carbono.
Fonte: Eccentrix

ANOTAÇÕES:





RADIAÇÕES

E se tu soubesses que diariamente estás exposto(a) à radiação, o que farias? Qual de fato é a natureza destas radiações e o quão perigoso podem ser aos seres humanos? Embora frequentemente o termo esteja atrelado a um sentimento de perigo, a radiação, nada mais é do que a emissão e propagação de energia de um ponto a outro no espaço, podendo ser de natureza corpuscular ou eletromagnética. Geralmente, não sempre, é inofensiva e, se bem utilizada, vantajosa aos homens e mulheres.

A radiação eletromagnética tem natureza ondulatória e se propaga com a velocidade da luz. Ela pode ser dividida em diferentes formas, e cada uma destas está diretamente relacionada à frequência ou comprimento de onda que assume. Observe a figura 13 a seguir:

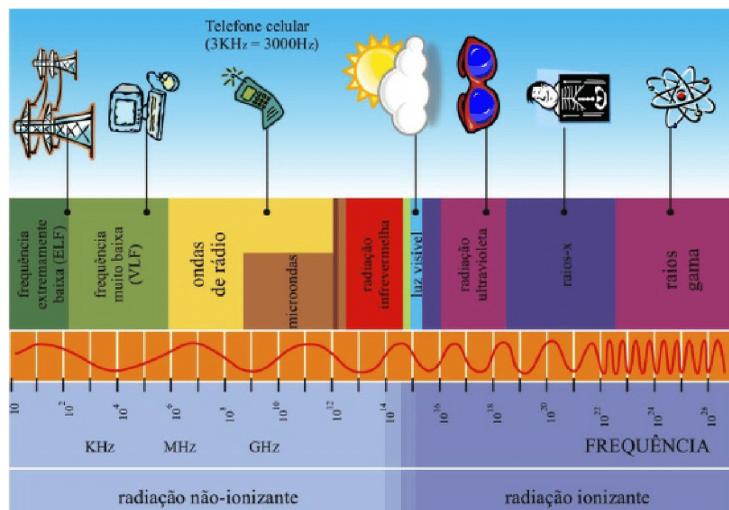


Figura 13: Ilustração do espectro eletromagnético e suas radiações.

Fonte: Desconhecida

Esta figura, na verdade, é a representação de um espectro eletromagnético. Você conhece as formas de radiação a qual ele apresenta? Ué?! você não sabia que as ondas de rádio, tv, telefone celular, do micro-ondas que você tem em casa, e a própria luz visível são algumas das formas pelas quais a radiação pode estar presente no seu dia-a-dia e, portanto, diretamente em contato com você? Pois bem, o são! Me utilize enquanto máxima para desconstruir o caráter necessariamente nocivo/maléfico das radiações, o fato de que: **sem a luz solar, que também é um tipo de radiação, não seria possível a existência de vida no planeta terra!**

A verdade é que todo e qualquer corpo que possua uma temperatura diferente de zero kelvin (-273,15°C) emite radiação eletromagnética, no caso, radiação infravermelha. Além disso, e de fundamental importância aos nossos estudos, as radiações podem ser descritas como





ionizantes e não ionizantes, de acordo com a quantidade de energia que carregam e a capacidade de ionizar átomos ou moléculas. Nós, mulheres e homens, podemos conviver tranquilamente com a radiação não ionizante. No entanto, não podemos dizer o mesmo sobre a radiação ionizante, pois esta é capaz de danificar células e até mesmo alterar a estrutura genética dos seres vivos, ou seja, o seu DNA. Esta capacidade pode originar lesões cancerígenas ou, quando em grandes quantidades, a morte imediata.

De acordo com o espectro de radiações da figura 13, também são de mesma natureza, eletromagnética, os raios-x e os raios gama. Embora não seja correto, remeter ambos à ideia de radioatividade, não nos parece, a priori, algo absurdo. Acreditamos que você já as concebia enquanto formas de radiação. Entretanto, há diferenças relevantes entre ambas, que podem nos conduzir, convenientemente, a discutir a origem das radiações e definirmos o conceito de radioatividade.

Na Física nuclear compreendemos a radiação como uma manifestação de um processo de ajustes que ocorrem no núcleo ou nas camadas eletrônicas dos átomos. Os raios-X, por exemplo, tem origem na eletrosfera e podem ocorrer devido ao freamento dos elétrons durante sua colisão com outro corpo. A diferença de energia associada ao movimento dos elétrons, entre o instante anterior e posterior à colisão, é descartada sob a forma dos raios-X. Já a origem dos raios gama, os quais veremos mais detalhadamente logo a frente, está na reconfiguração do núcleo atômico e se manifesta pela emissão de determinadas quantidades de energia, bem definidas, no tempo em que o núcleo do átomo busca sua estabilidade. Veremos que quando a origem destes ajustes energéticos forem provenientes da instabilidade do núcleo atômico, terá ocorrido o fenômeno da radioatividade.

CURIOSIDADES

Os raios-X foram descobertos em 1895 pelo físico alemão Willian Conrad Röntgen. A sutileza e perspicácia na observação de alguns fenômenos luminescentes, envolvendo os raios catódicos, ocorridos, "curiosamente", no exterior dos tubos de Crookes (primeiros aceleradores de partículas construídos pelo homem), o levaram a perceber a existência de um novo tipo de raios, os raios-X, capazes de penetrar a matéria e impressionar chapas fotográficas. Conta a história que em um de seus experimentos, conforme a figura 14, casualmente, interpôs sua mão entre os raios emitidos e a chapa fotográfica. Ao revelar, a surpresa: o formato da estrutura dos ossos de sua mão podiam ser vistos sobre esta. Após este episódio, o cientista passa a trabalhar secretamente em seu laboratório, tendo apenas a esposa conhecimento de suas pesquisas. Em poucos meses anuncia suas descobertas, a qual teve repercussão imediata. Logo depois do feito, durante uma conferência, realiza publicamente diversas radiografias, tendo entre as primeiras, personagens de respeito quanto ao conhecimento em anatomia naquela época.

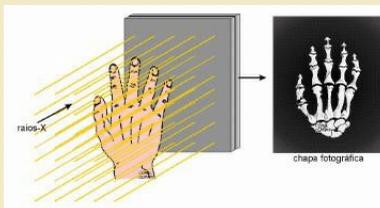


Figura 14 : Radiografia da mão direita.
 Fonte: CNEN



O PRINCÍPIO DA DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

• O que ocorre no interior de um núcleo atômico instável?

Como já é sabido, os núcleos atômicos podem ser compreendidos como uma estrutura composta de prótons e nêutrons, encerrados em uma região com raio nuclear da ordem de 10^{-15} m. No interior desta região concorrem as forças coulombianas repulsivas e a força forte atrativa, que em núcleos estáveis é mais intensa que a coulombiana. De acordo com a curva de estabilidade na carta de nuclídeos da figura 15, à medida que o número atômico de um núcleo aumenta, há uma tendência progressiva de termos no interior da região do raio nuclear um número maior de nêutrons do que de prótons. Este, aliado ao fato de que as forças de repulsão coulombianas aumentam rapidamente com o aumento do número de prótons, interfere diretamente na concorrência entre as forças elétricas repulsivas e a força forte (atrativa), isto é, geralmente para os núcleos considerados pesados, quando $A > 70$, as duas forças no núcleo começam a ficar desbalanceadas, o que pode levar o elemento à emissão de partículas, ou seja, à **condição de instabilidade**.

Um núcleo atômico instável tende, espontaneamente, a buscar sua estabilidade através da emissão de partículas e/ou energia, isto é, realizando um processo intitulado **decaimento radioativo**. Isto é, ainda observando a carta de nuclídeos na figura 15, os núcleos fora da curva de estabilidade, por meio do processo de decaimento radioativo, realizam transformações nucleares que os permitam adentrar a zona estável. A razão entre o número de nêutrons N e o número de prótons Z , isto é, N/Z , esta diretamente relacionada à estabilidade. Podemos visualizar na figura elementos instáveis que se localizam acima, assim como abaixo da curva. Em todos os casos a razão N/Z é maior ou igual a 1.

A RADIOATIVIDADE

• O que é, e quais são os tipos de Radioatividade?

O fenômeno da radioatividade está relacionado com a emissão de partículas, ou energia, provenientes da estrutura nuclear de um determinado elemento. Como vimos anteriormente, pode ser o resultado de um desbalanceamento entre a força forte e coulombiana no interior dos núcleos, vencendo as forças de repulsão, e, portanto, emitindo de forma espontânea algum tipo de partícula. Classificamos em três tipos, radioatividade alfa (α), Beta (β) e gama (γ), que na verdade serão entendidos como processos de decaimento radioativo.

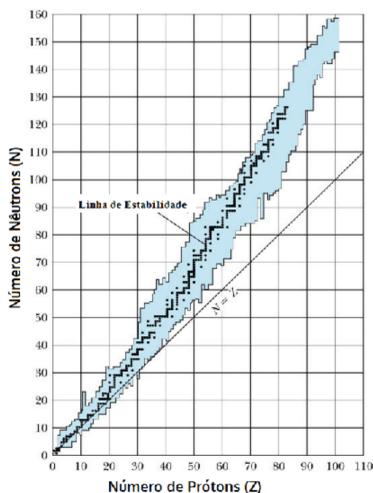


Figura 15: Carta de Nuclídeos
Fonte: 2006 Brookes/Cole - Thomson

² A exceção é o átomo de hidrogênio que contém em seu núcleo um único próton.

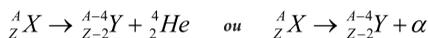




- **Decaimento Alfa (α)**

O fenômeno do decaimento radioativo alfa é caracterizado por um processo de busca espontânea da estabilidade do núcleo atômico, onde este emite partículas subatômicas formadas por dois prótons e dois nêutrons, chamadas partículas alfa. As partículas α também são conhecidas como núcleo do átomo de hélio (${}^4_2\text{He}$). Sua energia pode variar entre 3MeV e 7MeV. São comumente emitidas por elementos com elevada massa atômica, como o Urânio, o Tório, o Polônio, entre outros.

Quando ocorre uma emissão alfa, o núcleo pai diminui seu número atômico em 2 unidades e sua massa atômica em 4 unidades. Podemos representar simbolicamente este decaimento da seguinte maneira:



Na figura 16 temos a representação de um decaimento alfa para o elemento Urânio-238 e sua consequente transformação nuclear em Tório-234 a partir da emissão de um núcleo de Hélio.

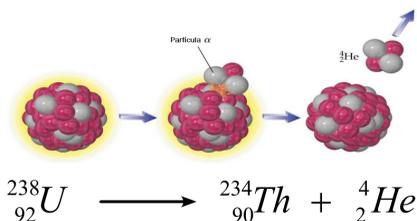


Figura 16: Decaimento alfa em um núcleo atômico de Urânio-238.
Fonte: scienceblogs.com

Resta falar que possuem velocidade da ordem de um décimo da velocidade da luz e a carga destas partículas é equivalente ao seu número de prótons, ou seja, +2. Seu poder de penetração é baixo, não sendo nociva ao ser humano quando este é exposto externamente à radiação alfa. Para efeitos comparativos, normalmente, estas partículas podem ser paradas/detidas por uma barreira feita com uma folha de papel-ofício, não conseguindo, portanto, adentrar as camadas epiteliais e danificar as células do corpo humano. No entanto, possuem um alto poder de ionização e se ingeridas em grande quantidade, sem o controle de um profissional da área de medicina nuclear, podem gerar graves danos ao sistema respiratório e gastrointestinal. Comumente são realizados tratamentos para a cura do câncer por ingestão de radiofármacos emissores de radiação alfa ou seja, assim como podem causar problemas devidos à ingestão indiscriminada, podem também ser usadas, de forma controlada, para a cura..

- **Decaimento Beta (β)**

O fenômeno do decaimento radioativo β tem origem no descompasso entre o número de prótons e nêutrons no interior do núcleo atômico, onde, na busca de sua estabilidade emite determinadas partículas. Esta emissão pode ocorrer de duas formas distintas: emissão β^- e emissão β^+ . Embora ambos os processos de emissão estejam diretamente relacionados com os prótons e nêutrons confinados no núcleo atômico por meio da força forte, a natureza de interação deste

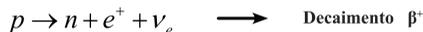




segmento da radioatividade é a força fraca, isto é, uma quarta força elementar a toda a matéria.

Para termos uma ideia sobre o que acontece em um decaimento beta, vejamos na parábola da figura 17 o que ocorre com a massa de um conjunto de núcleos isóbaros, ou seja, núcleos com mesmo número de massa A, porém, número atômico Z diferentes.

Vemos que existe um núcleo com a menor massa, ou seja, o mais estável desse conjunto. Os seus isóbaros com número atômico Z menor que o mais estável vão tender a perder um próton, que se transforma assim em um nêutron para manter o número de massa A fixo. Teremos então um decaimento β^+ :



Já os isóbaros com número atômico Z maior, vão tender a ganhar um próton e assim perder um nêutron. Teremos então um decaimento β^- :



Ambos os decaimentos, β^+ e β^- , são seguidos da emissão de um neutrino ν_e ou antineutrino $\bar{\nu}_e$, e tais emissões ocorrem no sentido de diminuir a energia total do sistema.

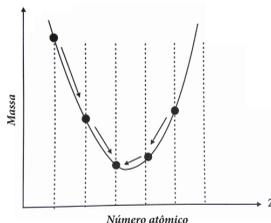


Figura 17: O Vale de estabilidade beta em uma parábola de massa para A=125.

Fonte: K. C. CHUNG

• Os novos elementos químicos formados a partir de um decaimento Beta:

Conforme mencionamos anteriormente, o número atômico determina o elemento observado. Desta forma as transformações nucleares em questão alteram a estrutura atômica do átomo resultando em um novo elemento, devido aos novos valores no seu número de prótons. Podemos verificar na figura 18 o decaimento, do tipo β^- , do Carbono 14 para o Nitrogênio 14, núcleo pai e filho, respectivamente. Observe que teremos um nêutron transformando-se em um próton e a consequente emissão de um elétron e antineutrino, alterando o número atômico e mantendo inalterada a massa do elemento final. Como podemos ver, o novo número atômico atribuído ao núcleo filho as características de um elemento químico distinto ao inicial, o Nitrogênio -14, com 7 prótons e 7 nêutrons.

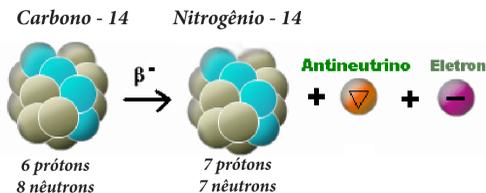


Figura 18: Transformação do Carbono-14 em Nitrogênio-14 por meio de um decaimento β^- .
Fonte: Adaptação da imagem disponível no Instituto de Física "Gleb Wataghin".

Na figura 19 temos o Carbono-10 transformando-se em no núcleo de Boro-10 pelo processo



de decaimento β^+ . É possível observarmos que um próton converteu-se em nêutron por meio da emissão de um pósitron, conservando o valor da massa A na reação e com sua característica emissão de um neutrino.

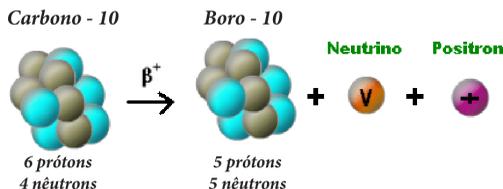


Figura 19: Transformação do Carbono-10 em Boro-10 por meio de um decaimento β^+ .
 Fonte: Adaptação da imagem disponível no Instituto de Física “Gleb Wataghin”.

As radiações do tipo β são mais velozes que as partículas alfas, da ordem de nove décimos da velocidade da luz. Possuem um poder de penetração pequeno, dependendo da energia à qual são emitidas do núcleo, no entanto, ainda superior ao das partículas alfa. Uma folha de alumínio com 1mm de espessura já é o suficiente para barrá-las. Podem ser utilizadas no tratamento clínico de lesões superficiais à pele, hipertireoidismo e outras patologias.

Curiosidade:

Os neutrinos tiveram sua existência proposta no ano de 1930, por Wolfgang Pauli, físico teórico austríaco, enquanto estudava fenomenologicamente as propriedades do decaimento radioativo β . A suspeita de sua existência tem origem na discrepância dos resultados energéticos observados em laboratório, os quais violariam os princípios de conservação da energia. Para “salvar” este princípio fundamental da Física, Pauli propõe a existência de uma nova partícula, até então não observada, o neutrino, que justificaria seus resultados. Segundo ele, o neutrino não possuiria carga e sua massa seria nula. Apenas no ano de 1955, pós segunda guerra mundial, foram detectados pela primeira vez. Os cientistas responsáveis pela façanha foram Reines e Cowan. Sabemos hoje que o neutrino é uma das partículas fundamentais da matéria e de fato possui carga elétrica nula. Sabe-se hoje que existem 3 tipos de neutrinos e, diferente do previsto, possui massa, podendo esta ser da ordem de 4 milionésimos da massa de um elétron.

- **Decaimento Gama (γ)**

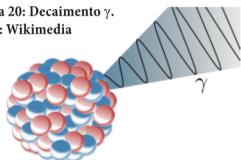
A radiação gama tem natureza eletromagnética, não possuindo massa ou carga. É o resultado de uma série de ajustes, espontâneos, nos processos de interação entre os prótons e nêutrons no interior do núcleo atômico e a consequente emissão de uma determinada quantidade de energia, bem definida, após a transição do núcleo de um estado de energia mais alta a um estado de energia com menor valor. Isto ocorre devido a um processo de busca pela estabilidade no núcleo atômico.

A radioatividade do tipo gama se movimenta com a velocidade da luz e possui como característica o seu grande poder de penetração, que, conforme sua energia, é capaz de atravessar corpos com grande espessura. Devido a esta capacidade, pode apresentar perigo à vida humana, sendo altamente nociva à nossa estrutura celular. No entanto, se bem utilizado, tem grande importância





Figura 20: Decaimento γ .
 Fonte: Wikimedia



na medicina nuclear, podendo atacar e destruir células cancerígenas antes que estas tomem conta do organismo da pessoa que desenvolveu essa doença.

• **Comparando algumas propriedades entre as radiações ionizantes alfa, beta e gama:**

As radiações ionizantes, no que tange às capacidades humanas de percepção, podem ser consideradas invisíveis, inodoras, inaudíveis e indolores. Possuem uma alta capacidade de ionização e diferentes patamares de penetração na matéria. Como já dito, uma radiação é considerada ionizante de acordo com seu nível energético e capacidade de ionizar átomos e moléculas.

Dentre as radiações ionizantes que estudamos até então, alfa, beta e gama, observamos que a mais ionizante é a radiação alfa, entretanto, é a menos penetrante delas. Como vimos, uma folha da espessura de um papel ofício é capaz de barrar seu deslocamento no espaço. A Radiação beta, é menos ionizante que a radiação alfa, no entanto tem maior poder de penetração. Este tipo de radiação pode adentrar alguns milímetros nas células epiteliais humanas e, por este motivo, é comumente utilizada no tratamento de lesões superficiais da pele. A radiação gama, devido ao fato de não possuir carga ou massa, é a menos ionizante dentre as três, no entanto, com maior poder de penetração, atravessando facilmente o corpo humano.

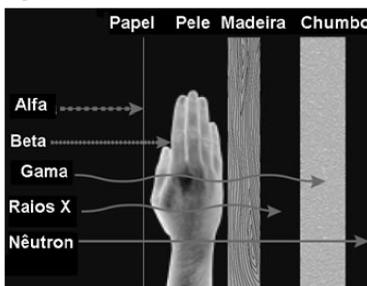


Figura 21: Comparativo do poder de penetração para diferentes radiações ionizantes.

Fonte: <http://alunosonline.uol.com.br>

Na figura 21, é feito um comparativo entre estas três radiações, além de agregado os poderes de penetração dos raios-X e nêutrons acelerados, também consideradas radiações ionizantes. O raio-X não tem origem nuclear, mas sim na eletrosfera, e é comumente usado para investigar a estrutura óssea humana. Já os nêutrons em alta velocidade são extremamente importantes na investigação da estrutura da matéria e fissão nuclear. Caracterizam-se como elementos de grande massa e carga nula, logo, com grande poder de penetração devido ao fato de não interagirem por meio das forças coulombianas ao atravessarem a matéria.

FICA A DICAS

O site Phet Interactive Simulations, da University of Colorado Boulder, disponibiliza algumas simulações que podem auxiliar a uma melhor compreensão dos decaimentos radioativos alfa e beta já estudados.

No link disponível nas informações da figura 22, você terá acesso ao aplicativo computacional que simula um decaimento alfa. Lá existe a possibilidade de você observar a emissão radioativa alfa de um único átomo de polônio, assim como de um conjunto destes, relacionando-as a sua meia vida e as barreiras de energia potencial e total envolvidas no processo de escape destas partículas, originalmente confinadas no núcleo atômico. Com a ajuda do professor, é possível discutir esta interação nuclear

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



como resultado de um desbalanceamento entre as forças eletrostáticas repulsivas e a força forte. Além disso, na medida do possível, conhecer a ideia de tunelamento quântico.

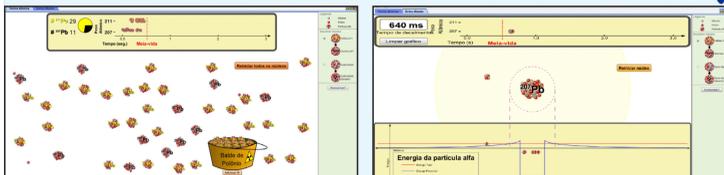


Figura 22: Simulação computacional do decaimento alfa do átomo de Polônio-211.

Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/alpha-decay

Da mesma forma, no link disponível nas informações da figura 23, é possível ter acesso a um aplicativo que ajuda na observação do decaimento beta em um conjunto de núcleos ou em um núcleo apenas, como suas respectivas emissões de partículas, incluindo o neutrino e antineutrino. Além disso, é possível reproduzir o decaimento β^- do elemento Carbono-14, transformando-se em Nitrogênio-14, conforme o exemplo trabalhado anteriormente.

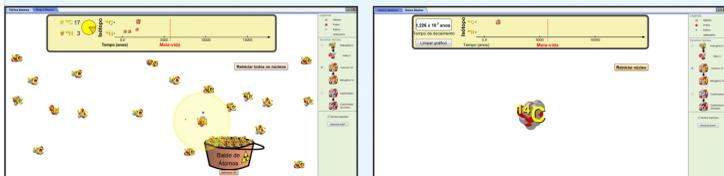


Figura 23: Simulação computacional para o estudo do decaimento beta.

Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay

• Lei do Decaimento Radioativo

A lei do decaimento radioativo atenta sobre a forma como se desenrola o processo de desintegração dos núcleos atômicos, isto é, afirma que estas emissões ocorrem de forma exponencial. Isto significa que ao termos inicialmente um número de núcleos radioativos N_0 , após um intervalo de tempo t , teremos um número N final de núcleos ainda ativos, conforme a equação a seguir:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Na equação, λ representa a *constante de desintegração atômica*, também chamada de **constante de decaimento radioativo**, característica que depende da estrutura interna de cada núcleo. O gráfico na figura 24 expressa a relação decrescente e exponencial inerente ao processo de desintegração do núcleo de um átomo.

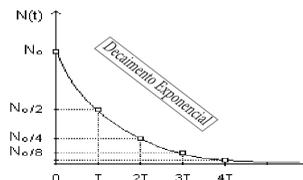


Figura 24: N° de desintegrações por unidade de tempo.

Fonte: Desconhecida





O gráfico anterior apresenta o número de desintegrações N dos núcleos radioativos de um determinado elemento em função do tempo t necessário para que sua amostra radioativa decaia à metade do valor inicial. Entretanto, podemos compreendê-lo também como uma representação da atividade A de um núcleo instável por unidade de tempo t , também conhecida como taxa de decaimento radioativo, onde:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{Atividade Atômica})$$

A atividade atômica é expressa em unidades de Curies (Ci), onde 1 Curie equivale a uma certa quantidade de um dado material radioativo que produz $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegrações atômicas por segundo. No sistema internacional de unidades, a atividade atômica assume a unidade Becquerel (Bq), sendo que 1 Bq é igual a um decaimento por segundo. Para efeitos de comparação, 1 Bq equivale a $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci.

• **Meia Vida ($t_{1/2}$)**

Chamamos de Meia Vida, o tempo durante o qual a atividade atômica de um material radioativo seja reduzida pela metade do seu valor inicial, ou seja, o tempo hábil para que um determinado número de núcleos radioativos N_0 desintegre até atingir $N_0/2$. A meia vida varia de uma pequena fração de segundos a bilhões de anos, conforme alguns exemplos que podem ser observados na tabela tabela 1. A partir da Lei do decaimento radioativo podemos encontrar uma equação para a meia vida $t_{1/2}$, onde

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (\text{Tempo de meia vida})$$

Enfim, como exemplo, podemos imaginar que aproximadamente 20 gramas de Cloreto de Césio-137 contaminaram uma determinada região de Goiânia, o qual, segundo a tabela, possui uma meia vida em torno de 30 anos. A grosso modo podemos dizer que ao fim dos primeiros 30 anos, ou seja, o tempo de uma meia vida, teremos a amostra deste elemento radioativo reduzida a metade do seu valor inicial, no caso, haverão 10 gramas de césio-137 em atividade. Passados outros 30 anos, completando 60 anos do início da contaminação, teremos então 5 gramas de césio-137 em atividade, ou seja, $\frac{1}{4}$ da quantidade inicial. Nos próximos 30 anos, restarão 2,5 gramas e assim por diante. Vale ressaltar que o material radioativo espalhado em Goiânia totalizava 19,26 gramas, sendo que um cálculo melhor aproximado deveria também levar em conta a atividade do Cloreto de Césio-137 naquele momento, isto é, segundo dados da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), em torno de 50,9 TBq (ou 1375 Ci).

| Rádioisótopo | Meia Vida |
|-----------------------|--|
| Oxigênio - 13 | $8,7 \cdot 10^{-3}$s |
| Carbono - 15 | 2,4s |
| Tecnécio - 99 | 6 h |
| Fósforo - 32 | 32 dias |
| Enxofre - 35 | 87 dias |
| Cobalto - 60 | 5,26 anos |
| Estrôncio - 90 | 28,1 anos |
| Césio - 137 | 30,17 anos |
| Rádio - 226 | 1600 anos |
| Plutônio - 239 | 24 400 anos |
| Urânio - 235 | 703,8 milhões de anos |
| Urânio - 238 | 4,5 bilhões de anos |

Tabela 1: Relação de meia vida para alguns radioisótopos.
 Fonte: Elaborada pelo próprio autor.





• **Séries Radioativas**

Existe um grande número de elementos atômicos pesados que emitem naturalmente radiações do tipo α , β ou γ na busca pela estabilidade dos seus núcleos atômicos. Quando um núcleo radioativo decai, o núcleo filho pode, ele também, ser instável, acarretando, depois de algum tempo, em uma nova emissão de partículas até atingir sua estabilidade. Este processo pode ocorrer por sucessivas gerações de núcleos, assumindo o que chamamos de séries radioativas naturais. De forma análoga, um elemento pode ser induzido à radioatividade artificialmente, dando origem às séries radioativas artificiais.

Há séries radioativas naturais pelas quais temos interesse em particular: A série do Urânio-238, do Actínio e do Tório-232. A série do Actínio tem início no Urânio-238, possuindo este nome, pois inicialmente acreditava-se que o Actínio-227 era seu elemento de origem.

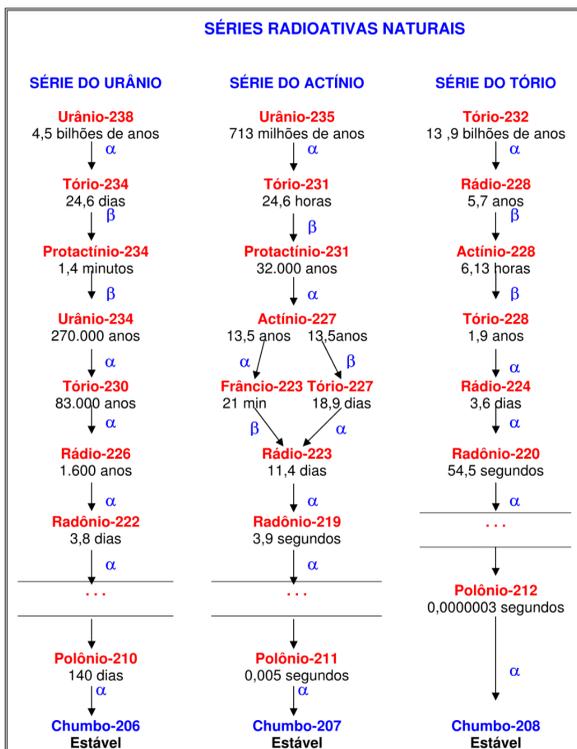


Figura 25: Séries radioativas naturais do Urânio-238, Actínio e Tório-232.
Fonte: Apostila Educativa da CNEN.





- Conhecendo algumas das unidades de medida radiológica mais utilizadas:

Exposição X:

É uma grandeza física apenas possível de ser medida em uma câmara de ionização, pois mede o valor absoluto da carga total de íons produzidos, quando todos os elétrons liberados pelos fótons no ar, e uma determinada massa, são completamente freados. A exposição X apenas é válida para os raios-X e gama. A unidade é o Roentgen (R) e está relacionada com o sistema internacional de medidas (SI) pelo $C.Kg^{-1}$:

$$1R = 2,58.10^{-4} C.kg^{-1}$$

Dose Absorvida (D):

É a relação entre a energia absorvida por unidade de massa em um dado ponto de interesse. É uma unidade válida para todos os tipos de radiação e meios de interação. A unidade para a dose de radiação absorvida é o Rad, que vem de Radiation absorbed dose, e está relacionada com o SI pelo Gray (Gy).

$$1Rad = 0,01Gy \quad \text{ou} \quad 1Gy = 100Rad = 1J.kg^{-1}$$

Dose Equivalente (H):

Trata-se de uma grandeza de proteção usada para limitar a dose de radiação absorvida por um órgão ou tecido humano. A dose equivalente é obtida multiplicando-se a dose absorvida D por um fator de qualidade Q, referente a cada tipo de radiação. Para as radiações do tipo RX, γ e β , o fator de qualidade Q equivale a 1.

$$1H = D.Q$$

A unidade de medidas utilizada para a dose equivalente é o Rem (Röntgen equivalent man) e está relacionada com o SI pelo Sievert (Sv).

$$1Sv = 100Rem = 1J.kg^{-1}$$

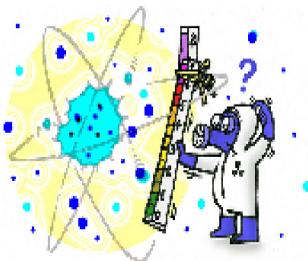


Figura 26: Charge satirizando os níveis de radiação após o acidente nuclear de Fukushima.
 Fonte: Autor desconhecido.

Limites Primários Anuais de Dose Equivalente:

As grandezas limitantes, como a dose equivalente, surgem enquanto um alerta para indicar o risco à saúde humana devido à radiação ionizante. Neste sentido, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) estabeleceu uma norma indicando os limites anuais de exposição a radiações ionizantes para o público em geral e trabalhadores de áreas afins, conforme a tabela 2.

| <i>Dose Equivalente</i> | <i>Trabalhador</i> | <i>Público</i> |
|---|-----------------------|--------------------------------------|
| <i>Dose Efetiva</i> | 50 mSv ⁽ⁱ⁾ | 1 mSv |
| <i>Dose para cada Órgão/Tecido</i> | 500 mSv | 1 mSv/W _T ⁽ⁱⁱ⁾ |
| <i>Dose nas Extremidades</i> ⁽ⁱⁱⁱ⁾ | 500 mSv | 50 mSv |

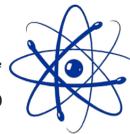
Tabela 2: Limites de exposição a radiação.

⁽ⁱ⁾ A dose média limite deve ser de 20 mSv/ano em um período de 5 anos, sendo aceitável até 50 mSv em um único ano.

⁽ⁱⁱ⁾ W_T é um fator de ponderação para o tecido (T) ou órgão.

⁽ⁱⁱⁱ⁾ São consideradas extremidades: mãos, antebraços, pés e tornozelos.

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



EXPOSIÇÃO
RADIOATIVA



CONTAMINAÇÃO
RADIOATIVA

• Você sabe a diferença entre a exposição à radiação e a contaminação radioativa?

No contexto que vimos discutindo até então, a irradiação trata da emissão de determinadas partículas e/ou energia por núcleos instáveis. O corpo ao ser exposto à radioatividade é, portanto, irradiado. A exposição à radioatividade pode ocorrer à distância, não havendo, neste caso, contaminação radioativa.

A contaminação radioativa ocorre quando de alguma forma o corpo absorve o elemento radioativo. Pode ser externa, quando por contato o material se deposita sobre a pele, ou interna, quando por inalação ou ingestão o elemento radioativo entra no corpo. Um corpo contaminado passa a ser considerado uma fonte radioativa e oferece riscos àqueles que estão a sua volta.

Neste sentido, corpos ao serem irradiados, sem contato direto com o elemento radioativo, não estão contaminados. Já pensou se ao fazer um exame de raios-X ou, por infelicidade da vida, um tratamento com Raios- γ para curar uma lesão cancerígena, você viesse a se tornar uma fonte radioativa? Pois então, agora você sabe que há uma diferença enorme entre exposição à radioatividade e contaminação radioativa.

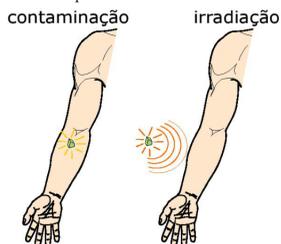


Figura 27: Contaminação vs. Exposição Radioativa.
Fonte: Apostila didática da CNEN.

CURIOSIDADE:

Na Europa, comumente os alimentos são irradiados, em um processo controlado e sem contato direto, por fontes de cobalto-60 e Césio -137. O intuito é destruir algumas bactérias e preservar o alimento saudável por um tempo maior. Este processo é semelhante a submettermos o alimento ao microondas, onde ele irá aquecer por alguns instantes mas ao final nenhuma radiação ficará retida no alimento. A irradiação não torna o alimento radioativo.

APLICAÇÕES DA ENERGIA NUCLEAR E SUAS RADIAÇÕES

A produção de conhecimento no campo da energia nuclear é acompanhada de diversas aplicações diretas à reprodução da vida humana. Embora o sentimento de perigo quanto à produção de eletricidade ou a disseminação de armamentos atômicos seja uma constante quando o tema é abordado, os benefícios da tecnologia nuclear na sociedade contemporânea, quase sempre ofuscados, também o são. Ainda que no imaginário popular suas aplicações pacíficas corroborem ao campo da medicina nuclear, diversas são as áreas de inserção deste conhecimento. Podemos verificá-la na agricultura, na indústria, como técnica de determinação da idade de artefatos arqueológicos por meio da atividade do Carbono-14 contido em sua estrutura, entre outras formas.

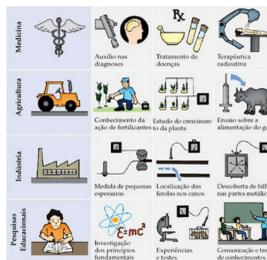


Figura 28: Aplicações da energia nuclear.
Fonte: Wikimedia





• **Aplicações na Medicina Nuclear:**

Na medicina nuclear, dentre várias possibilidades, elementos radioativos podem ser usados tanto na investigação de possíveis patologias pelo método de imagem, via a utilização dos traçadores radioativos, assim como no tratamento de lesões cancerígenas por Radioterapia.

Os traçadores radioativos são radiofármacos contendo um tipo de isótopo radioativo, emissores de radiação β e γ , geralmente com tempo de atividade pequeno, e administrados em pacientes cuja a intenção seja investigar e mapear o funcionamento de determinados órgãos do corpo humano. Quando ingeridos, espalham-se e acumulam-se em maior ou menor quantidade sob órgãos específicos. Neste sentido, é possível, por meio de detectores, acompanhar o “caminho” percorrido por estes elementos, assim como obter imagens do órgão de interesse.

A escolha dos traçadores radioativos está diretamente relacionada com o órgão a ser investigado e podem ser utilizados para acompanhar exames por meio de radiografias, ultrassonografias, cintilografias, tomografias computadorizadas, ressonâncias magnéticas e assim por diante. Atualmente, dezenas de isótopos radioativos são utilizados na medicina nuclear, dentre estes, a figura 29 apresenta alguns relacionando-os com a área de interesse a ser investigada.

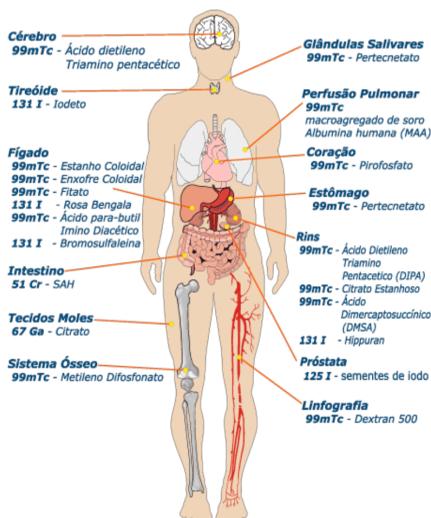


Figura 29: Radioisótopos geralmente utilizados na investigação de alguns órgãos do corpo humano.

Fonte: Apostila Educativa da CNEN

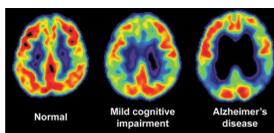


Figura 30: Ressonância magnética para investigar Alzheimer obtida com o auxílio de radioisótopos.

Fonte: ALL-zheimer - WordPress.com



Figura 31: Ilustração da imagem de uma cintilografia do miocárdio obtida com o auxílio de traçadores radioativos.

Fonte: LACMEN - Medicina Nuclear

Somando-se as inúmeras possibilidades no campo investigativo de possíveis enfermidades, o conhecimento sobre as propriedades radioativas de determinados materiais nos propiciam meios para realizarmos o tratamento de alguns tipos de câncer por meio da radioterapia. A radioterapia é um recurso terapêutico via utilização de radiações ionizantes, de forma controlada, direcionada





Figura 32: Imagem ilustrativa de um aparelho utilizado no tratamento radioterápico.
Fonte: UFFJ

no sentido de destruir células cancerosas no organismo humano ou mesmo para impedir que aumentem em quantidade. Geralmente a tecnologia envolvida neste processo se utiliza de fontes radioativas de Césio-137 ou Cobalto-60.

A grande maioria dos pacientes que possuem algum tipo de câncer são tratadas com radioterapia. Os resultados costumam ser positivos, no entanto, efeitos colaterais ao tratamento não são raros. Durante o tratamento, o tumor pode desaparecer e a doença ser curada, ou até mesmo haver um controle desta para que deixe de progredir e, portanto, não se manifeste em outros órgãos do corpo.

• Aplicações na Agricultura:

Na agricultura são diversas as aplicações da tecnologia nuclear. Desempenham papel significativo no controle de pragas e insetos; na conservação de alimentos; no estudo do metabolismo das plantas e suas respectivas necessidades durante o plantio; além de evitar diretamente no aumento da produção agrícola de países menos desenvolvidos.

Talvez a mais polêmica dentre as aplicações deste campo, seja sua utilização no processo de conservação de determinados produtos agrícolas, como a batata, a cebola, o alho, o feijão. Alguns alimentos irradiados por raios gama podem ser armazenados por mais de um ano sem murcharem, brotarem, ou apodrecerem. Esta técnica baseia-se no princípio de destruição de bactérias e microrganismos, muitas prejudiciais à saúde, responsáveis por acelerar o processo de maturação e germinação dos alimentos, prolongando, portanto, seu período de conservação.

Atualmente mais de 35 países permitem o uso da radiação para a conservação de alimentos. Muitas vezes por falta de conhecimento, o aceite desta técnica, não é muito grande. Sabemos que a exposição do alimento à radiação não irá gerar por si uma contaminação deste produto, muito menos irá torna-lo radioativo. Já discutimos e desmistificamos esta ideia anteriormente. Neste sentido, talvez, estejamos mais uma vez caminhando na contramão de alguns benefícios que estas técnicas podem nos representar em termos de segurança alimentar.

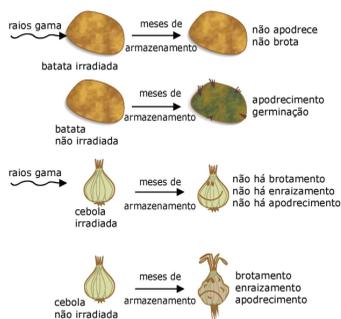


Figura 33: Conservação de alimentos por meio de irradiação gama.

Fonte: Apostilas Educativas da CNEN.



Figura 34: Morangos submetidos, e não submetidos, a irradiação gama.
Fonte: Mundo Educação.





• **Aplicações na Indústria:**

A Gamagrafia talvez seja a aplicação de tecnologia nuclear de maior impacto na indústria. Com o auxílio de radioisótopos torna-se possível impressionar uma chapa fotográfica e obter imagens no interior de estruturas metálicas que seriam impossíveis sem esta técnica. Como exemplo, podemos citar a dependência das indústrias aéreas que por meio da gamagrafia verificam o estado das partes metálicas e soldas essenciais do avião, assim como a fadiga de suas asas e turbinas (ver figura 35).

Da mesma forma, a tecnologia nuclear pode ser encontrada em diversos ramos, por meio da verificação de vazamentos em gasodutos e tubulações de água; no processo de controle em linhas de produção de pneus, garrafas, peças e equipamentos industriais; assim como na esterilização de materiais farmacêuticos descartáveis como luvas, seringas, gaze, e outros, que se esterelizados pelos métodos convencionais, ou seja, a altas temperaturas, geralmente seriam danificados, deformariam, não podendo serem reutilizados.

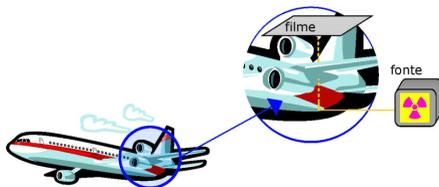


Figura 35: Uma gamagrafia para verificar a estrutura da asa de um avião.
 Fonte: Apostila Educativa da CNEN.

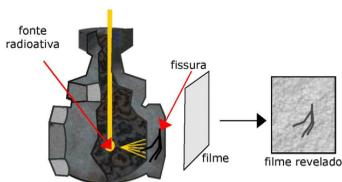


Figura 36: A gamagrafia utilizada para verificar rachaduras, ou fissuras, no corpo de algumas peças de equipamentos industriais.
 Fonte: Apostila Educativa da CNEN.



Figura 37: Esterelização de dejetos e utensílios da indústria farmacêutica no período anterior ao descarte.
 Fonte: Apostila Educativa da CNEN.

ANOTAÇÕES:



FISSÃO E FUSÃO NUCLEAR

É fundamental, neste momento, compreendermos as relações entre a massa contida em um núcleo e a energia envolvida na contenção dos prótons e nêutrons no seu interior. Desta forma, trataremos aqui de alguns pontos sobre a origem da energia nuclear e seus processos de obtenção por meio da fissão e fusão do núcleo, além das diferenças fundamentais entre cada um destes.

• Qual a origem da energia contida em um núcleo atômico?

Um aspecto bastante peculiar aos olhos da mecânica newtoniana ocorre na física nuclear, a não conservação de massa, isto é, a massa de um corpo, antes tida enquanto um elemento absoluto, pode variar no processo de combinação e recombinação dos prótons e nêutrons no interior do núcleo atômico. Esta interpretação é resultado dos estudos de Albert Einstein, publicados no ano de 1905, ao propor à comunidade científica sua teoria da relatividade restrita. Nesta teoria, a relação massa-energia pode ser expressa pela equação $E=mc^2$, sendo E a energia relativística, geralmente medida em MeV, mega elétron-volts ($1 \text{ Mev} = 10^6 \text{ eV} = 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$); m é a massa relativística e c é o módulo da velocidade da luz, ou seja, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

O princípio relativístico massa-energia, em suma, nos diz que, sob determinadas condições, massa pode ser convertida em energia, assim como energia pode ser convertida em massa. De acordo com Einstein, ao variarmos a energia de um sistema, a massa do corpo envolvido varia nas proporções de $|\Delta m| = E/c^2$. Embora no horizonte de experiências diretas com o mundo macroscópico isto seja de difícil aceitação, em eventos ocorridos no interior do núcleo atômico, não o é. Podemos observar que quando dois ou mais prótons e nêutrons se combinam para formar o núcleo, a massa total do núcleo é menor do que a soma das massas dos nucleons. Quer tirar a prova? A massa do elemento Carbono-12, $^{12}\text{C}_6$, por definição, equivale a 12 unidades de massa atômica (u), sendo que ele é composto por 6 prótons e 6 nêutrons. Como já mencionamos, a massa individual de um único próton é $1,00728 \text{ u}$, e a de um nêutron é $1,00867 \text{ u}$. Observe a seguir que os valores não conferem, havendo uma diferença de $0,0957$ unidades de massa atômica que "simplesmente sumiu". Então, para onde foi a massa restante?

$$\begin{aligned} M_{\text{total}} &= 6 \cdot m_p + 6 \cdot m_n \\ M_{\text{total}} &= 6 \cdot (1,00728) + 6 \cdot (1,00867) \\ M_{\text{total}} &= \mathbf{12,0957 \text{ u}} \end{aligned}$$

De acordo com o princípio de equivalência massa-energia, houve uma transformação de $0,0957$ unidades de massa atômica dos elementos constituintes do Carbono-12 em energia, sendo esta responsável pela ligação nuclear. Chamaremos este montante, portanto, de energia de ligação do núcleo. Para elementos de conversão temos que 1 u equivale a $931,494 \text{ Mev}$, logo, a energia de ligação, neste caso, é de $92,218 \text{ Mev}$.



Figura 38: Charge adaptada do artista Miki.
Fonte: <http://www.tudodesenhos.com>





• **Qual o papel da Energia de Ligação na estabilidade do núcleo atômico?**

Em um núcleo atômico, quanto menor a razão entre a sua massa e a quantidade de nucleons, maior será sua estabilidade, pois maior terá sido a quantidade de massa convertida em energia de ligação. Atualmente, o elemento natural mais estável conhecido, portanto, com maior energia de ligação entre seus constituintes básicos, é o Ferro-56 ($^{56}\text{Fe}_{26}$). A figura 39 expressa por meios gráficos a razão massa/nucleon em função do número de massa atômica para diferentes elementos. É possível observarmos um vale de estabilidade em torno do elemento Ferro, na região onde $A=56u$. Além disso, fica evidente que ao nos movermos para uma região de menor ou maior número de massa o núcleo torna-se menos estáveis, pois nos distanciamos do mínimo desta função, logo do ponto com maior energia de ligação por nucleon.

Observações complementares nesta figura, mas não com menor importância, mostram que para elementos com número de massa bastante reduzido, há uma conversão significativa de massa em energia de ligação, basta observarmos a transição entre o hidrogênio e o Hélio. Veremos a seguir que este fato favorece o processo de fusão nuclear, a qual exige condições bastante específicas para ter início. Da mesma forma, é possível observarmos que elementos mais pesados, como o Urânio, na tentativa de buscar sua estabilidade nuclear, precisarão passar por uma cisão do seu núcleo em fragmentos de menor massa atômica, processo denominado fissão nuclear.

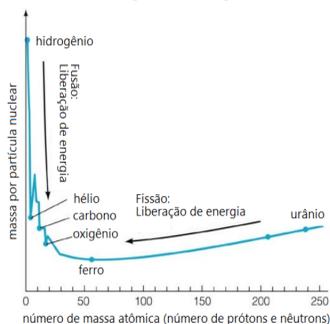


Figura 39: Ilustra a variação da massa por partícula nuclear em relação a massa atômica dos elementos.

Fonte: Copyright @2004 - Pearson Education

• **Alguns desdobramentos dos estudos nucleares:**

Um dos grandes desafios tecnológicos da humanidade, a partir da teoria relativística, foi, e ainda é, o de encontrar uma forma de ter acesso a esta energia contida no núcleo atômico e, ao mesmo tempo, transformá-la, de maneira eficiente, em outros tipos de energia. No ano de 1938, Otto Hahn e Fritz Strassmann, ao bombardearem átomos de urânio utilizando nêutrons, para produção dos transurânicos (átomos ainda mais pesados que o urânio), conseguiram fissionar um núcleo de urânio em elementos mais leves, o Bário (Ba-141) e o Criptônio (Kr-92). Embora tenham sido os precursores da fissão nuclear, foi Lise Meitner, física e antiga colaboradora de Hahn, quem decifrou este fenômeno, a fissão nuclear.

Pouco depois da descoberta, no ano de 1939, eclodiu a Segunda Guerra Mundial (1939-45), fator responsável por um salto exponencial no volume de estudos feitos sobre energia nuclear e que, onde, por meio do projeto Manhatam, liderado pelo físico Robert Oppenheimer, deram vida à maior arma de destruição em massa utilizada contra a humanidade até então, a bomba atômica. Com isto, adentramos a um dos episódios mais sombrios da história do nosso processo civilizatório, o da dominação tecnológica de meios que poderiam/podem levar à destruição do planeta como o concebemos, as bombas nucleares.

Os princípios de funcionamento da bomba atômica lançada pelas forças americanas no dia 6 de agosto de 1945 sobre a cidade de Hiroshima e no dia 9 de agosto em Nagasaki, ambas



situadas no Japão, em geral, são os mesmos envolvidos na produção de energia elétrica em um reator nuclear, ou seja, operam por meio da fissão do núcleo de átomos como o Urânio e Plutônio. Embora tenham uma origem comum, há diferenças operacionais relevantes entre cada uma destas tecnologias, sendo que não existe a possibilidade de um reator nuclear se transformar em uma bomba nuclear. Para compreendermos isto, precisamos, a priori, saber um pouco mais sobre os processos físicos envolvendo a fissão de um núcleo atômico.

• **Princípios físicos da Fissão Nuclear:**

A fissão nuclear pode ser caracterizada pela quebra/divisão do núcleo original (núcleo pai) em dois núcleos menores (núcleos filhos), de tamanhos comparáveis, seguido da emissão de nêutrons. Em geral, os tamanhos dos núcleos filhos correspondem a uma proporção de 3 para 2. Este fenômeno envolve uma quantidade violenta de emissão de energia subsequente à quebra do núcleo. Esta energia liberada, como já vimos, tem origem na ligação dos prótons e nêutrons no interior da região nuclear. A fissão nuclear pode ocorrer de forma natural para núcleos com massas suficientemente grandes como o Urânio e o Tório, no entanto, nossos estudos se darão no campo induzido deste processo. Esta escolha decorre do desafio lançado ao longo deste texto, em compreendermos o funcionamento dos reatores nucleares de Angra I, II e III, em consonância com as reações ocorridas no interior de uma ogiva nuclear semelhante à lançada no Japão.

A fissão nuclear induzida, geralmente, tem início por meio do bombardeamento de nêutrons sobre núcleos atômicos instáveis, como o Urânio, Tório, Plutônio. Estes nêutrons carregam consigo uma determinada quantidade de energia, logo, quando um deles colide com o núcleo original, é absorvido, formando um núcleo composto que passa a existir em um estado excitado de energia, assumindo estados coletivos de vibração. Quando o núcleo composto atinge um estado suficientemente alto de excitação, ocorre o seu estrangulamento gerando em suas extremidades uma disparidade entre as forças de repulsão coulombianas e de interação nuclear, que são atrativas, e, por meio de uma cisão, separa totalmente o núcleo composto em dois outros fragmentos, além de emitir 2 ou 3 nêutrons. A figura 40 representa um modelo simplificado de explicação para este processo de cisão do núcleo, baseado no modelo da gota líquida.

É importante ressaltar que o início do processo de fissão nuclear, após colisão, depende das características estruturais do núcleo original. Dependendo do núcleo em questão, podemos ter a fissão por nêutrons lentos, também chamados de nêutrons térmicos, cuja energia é de apenas alguns eV, ou por nêutrons rápidos, cuja energia é de alguns MeV. Além disso, quando as condições necessárias a fissão não são alcançadas, isto é, quando o nêutron absorvido pelo núcleo pai não carrega consigo a energia necessária à quebra do núcleo composto, excitando-o a baixas energias, pode haver a emissão de radiação gama pelo novo elemento na tentativa de busca por sua estabilidade energética.

Quando um nêutron colide com um núcleo fissil de Urânio-235, é fundamental compreendermos as sucessivas reações nucleares, autossustentáveis, as quais podem ser desencadeadas durante a fissão nuclear deste tipo de elemento. Como vimos, após um nêutron, suficientemente energético, ter colidido com um núcleo de U-235, há uma alteração no estado de excitação deste núcleo original, gerando uma quebra em elementos secundários e liberando, além de grande quantidade de energia, dois a três nêutrons subsequentes a esta reação. A seguir temos uma

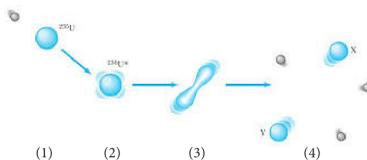
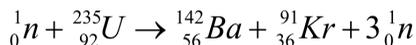


Figura 40 : Cisão do núcleo conforme o modelo da gota líquida.
Fonte: Autor desconhecido.



dentre as possíveis representações simbólicas de uma fissão nuclear induzida do elemento de U-235:



Como pudemos ver, um nêutron fissionou o núcleo de Urânio em dois outros elementos, o Ba-142 e o Kr-91, onde além de liberar grande quantidade de energia, emitiu outros 3 nêutrons, os quais poderão vir a fissionar outros núcleos de urânio. Sob determinadas condições, este evento poderá dar origem a um processo sustentável de **reações nucleares em cadeia**, gerando sucessivas fissões do núcleo atômico. Na figura 41, podemos observar a uma reação em cadeia de fissionamentos do U-235. Perceba que a cada colisão, além da quebra do núcleo original, há a liberação de energia e consequente liberação de nêutrons que compunham o núcleo, dando continuidade à reação.

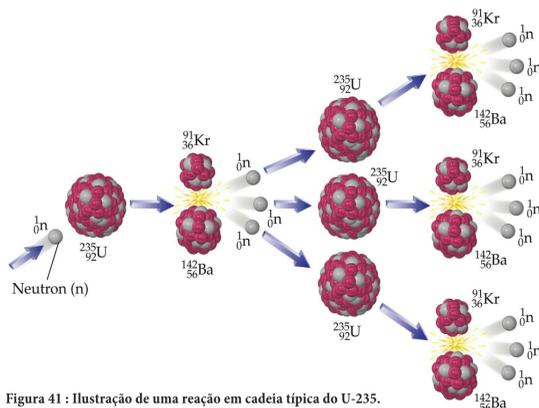


Figura 41 : Ilustração de uma reação em cadeia típica do U-235.
 Fonte: Blog Ciência e Diversão.

- **A fissão nuclear e as bombas atômicas lançadas em Hiroshima e Nagasaki.**

As bombas atômicas lançadas pelas forças americanas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki, no Japão, em agosto de 1945, baseavam-se na fissão nuclear. De forma simplificada, temos um processo de reação em cadeia, autossustentável, que por meio das sucessivas reações nucleares emitiram uma enorme, e violenta, quantidade de energia devastando ambas as cidades e mostrando ao mundo o potencial atômico no quesito armamentístico.

Para que isto ocorresse, foram necessárias determinadas condições, entre elas, que a quantidade de material fissil, seja ele o Urânio-235 ou o Plutônio-239, possuíssem uma massa mínima para que fossem capazes de gerar uma reação em cadeia sustentável. Chamamos esta quantidade limítrofe de massa crítica. Neste sentido, conforme a figura 42, no interior da

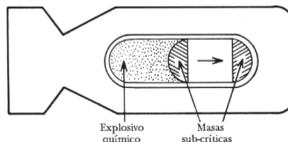


Figura 42 : Ilustração simplificada do projeto da bomba atômica.
 Fonte: Autor desconhecido.



USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



ogiva nuclear, explosivos químicos foram acionados durante a detonação para juntarem as massas subcríticas do material e atingirem, portanto, a quantidade mínima necessária a um processo sustentável de reações nucleares em cadeia. Em uma explosão ideal, a reação perdura até o esgotamento do elemento fissil. Embora a figura não mostre, no centro destas massas subcríticas haviam nêutrons, os quais foram responsáveis pelo início da reação.

CURIOSIDADE:

A bomba lançada em Hiroshima foi apelidada de “little boy”, o que em português significa “garotinho”. Possuía em torno de 10Kg de Urânio-235, aproximadamente 0,1% da sua massa total. Sua intensidade foi aproximadamente de 15 quilotons, o que equivale a uma liberação de energia equivalente a 15 mil toneladas do explosivo TNT. A temperatura no local da explosão atingiu cerca de 5,5 milhões de graus celsius, similar à temperatura do sol. O número de atingidos são incontáveis, na ordem de 50 mil mortos instantaneamente seguido de outros 80 mil feridos nos momentos iniciais posteriores ao impacto atômico, no entanto, o pior viria depois, a dispersão radioativa contaminou e expôs incontáveis pessoas, e algumas horas após o impacto uma chuva negra coberta de radioatividade das cinzas da fumaça tomaram conta da cidade, envenenando radioativamente quem ali permanecia. Inúmeros casos de câncer e mutações genéticas decorrentes deste episódio são relatados no Japão. Se já não bastasse tamanha tristeza ao ocorrido em Hiroshima, três dias depois, no dia 9 de agosto, foi lançada a segunda bomba atômica, na cidade de Nagasaki, feita a partir de Plutônio-239 e ainda mais devastadora do que a primeira.



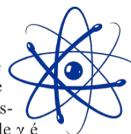
Figura 43: Fotografia da bomba de Hiroshima, Little boy.
 Fonte: <http://hypescience.com>



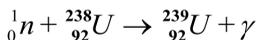
Figura 44: Charge relacionada aos impactos da radioatividade após o lançamento da bomba atômica no Japão.
 Fonte: Autor desconhecido.

• **Diferença entre o material fissil e fissionável:**

Há uma distinção importante a ser feita aqui, nem todo material fissionável possui características fisséis. Um material considerado fissil é suscetível a nêutrons lentos e capaz de sustentar uma reação em cadeia durante a fissão nuclear. Como exemplos mais comuns deste tipo de matéria prima temos o Urânio-233, Urânio-235, Plutônio-239. Todo material fissil é fissionável. No entanto, um material dito fissionável não necessariamente possui características fisséis. Vejamos o caso do Urânio 238, que ao ser atingido por um nêutron com baixa energia, ou seja, lento, não é excitado o suficiente para que ocorra a quebra do seu núcleo, emitindo, na busca



pela estabilidade do seu núcleo atômico, uma certa quantidade de energia na forma de radiação gama e, portanto, não desencadeando um processo de cisão do núcleo e sucessivas reações nucleares. A seguir temos a representação simbólica deste processo, onde γ é a radiação gama emitida:



Como podemos observar, o Urânio-238, por si só, não atinge a criticidade energética para que ocorra uma fissão do seu núcleo, portanto, se necessário, irá depender da presença de material físsil para sustentar uma possível reação em cadeia. O metal de Urânio, quando encontrado na natureza, tem em sua composição cerca 99,27% de U-238, sendo o seu isótopo U-235 menos de 0,8% do total. É considerado, portanto, um material pobre. Para ser utilizado na produção de energia, assim como na fabricação de uma bomba, precisa passar por um processo de enriquecimento, onde submetido a uma centrífuga, altera proporcionalmente em sua composição a quantidade do elemento U-235.

Temos aqui uma das principais diferenças na reação em cadeia desenvolvida por uma bomba atômica e aquela que ocorre no interior de um reator nuclear. O enriquecimento do urânio utilizado para a produção de uma bomba nuclear é superior a 90% do seu total, enquanto o utilizado nos reatores nucleares para a produção de energia variam entre 3% e 7%. Sob tais condições, não há massa crítica de U-235 suficiente, no interior de um reator, para que este se torne uma possível bomba nuclear. Isto não significa que em situações especiais o reator de uma usina nuclear não possa explodir, assim como vimos em Fukushima (2011), mas sim que não se tratam de explosões nucleares. A explosão ocorrida em Fukushima, por exemplo, ocorreu devido à interação entre gases altamente reativos quando em contato, o gás de hidrogênio e óxido de Zircônio, ambos produzidos durante o processo falho no interior do reator. Além disso, as dimensões destas explosões não são comparáveis, tamanha a diferença.

Fica A Dica

O site Phet Interactive Simulations, no link contido nas informações da figura 45, dispõe de um aplicativo computacional que simula situações relativas à fissão nuclear e ao funcionamento das barras de controle utilizadas para retardar as reações nucleares em cadeia no interior de um reator. Lá é possível discutir a relação energética envolvida durante a colisão de um nêutron com o núcleo atômico e sua possível cisão. Desta forma, utilizando diferentes elementos de urânio, faz-se viável compreender mais a fundo as características e diferenças envolvidas na cisão nuclear de um material físsil, o Urânio-235, e não físsil, o Urânio-238. Além disso, nos permite observar a relação de proporcionalidade entre o Urânio-235 e o Urânio-238 necessária à fabricação de uma bomba nuclear, comparando-a aos níveis de enriquecimento utilizados na confecção do combustível nuclear de um reator.

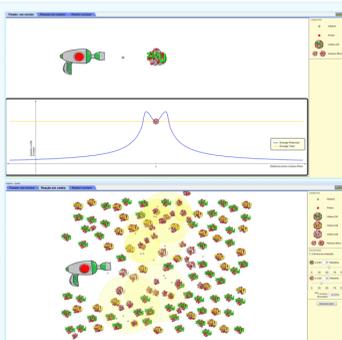


Figura 45: Simulação computacional para o estudo da fissão nuclear.

Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission





• **Fusão Nuclear: Da luz de uma estrela à vida no planeta terra.**

Embora a energia nuclear quase sempre esteja carregada de uma carga emocional pejorativa e a ideia de perigo, é possível afirmarmos que sem ela não haveriam condições à existência de vida no planeta terra, ao menos não da forma como conhecemos. A energia solar, indispensável à manutenção da vida humana, é resultado de um processo contínuo de fusões nucleares na atmosfera solar, as quais, por meio de ondas eletromagnéticas, propagam a energia gerada na direção do nosso planeta.

Em síntese, a física explica a fusão nuclear como a formação de um núcleo a partir da colisão e subsequente união de dois núcleos menores. No entanto, para que isto ocorra, é necessário que estes núcleos, ao colidirem, possuam uma energia cinética mínima que supere a repulsão coulombiana existente entre suas partículas constituintes, permitindo-os aproximarem-se até que a interação nuclear forte seja efetiva e de maior intensidade do que a repulsão, mantendo-os ligados. Assim sendo, como a força de repulsão coulombiana está diretamente relacionada à carga elétrica dos núcleos em colisão, o processo de fusão nuclear ocorre com mais facilidade para núcleos com pequeno número de prótons.

Faz-se pertinente mencionarmos que a fusão de um núcleo atômico prescinde de determinadas condições de pressão e temperatura durante a recombinação dos seus elementos. A temperatura mínima para que se dê início à junção de dois núcleos atômicos é da ordem de 10^8 °C. O Sol, em determinadas regiões da sua atmosfera, possui temperatura na casa de 10^7 °C, ou seja, é um local propício a estas reações. Somando-se a isso, aproximadamente 74% da atmosfera solar é constituída por Hidrogênio (${}^1\text{H}_1$) e seus isótopos, Deutério (${}^2\text{H}_1$) e Trítio (${}^3\text{H}_1$), além de 24% do Hélio-4 (${}^4\text{He}_2$) e Hélio-3 (${}^3\text{He}_2$), elementos com baixo número de prótons e mais suscetíveis à fusão dos seus núcleos. Na figura 46 temos um exemplo típico de fusão nuclear,

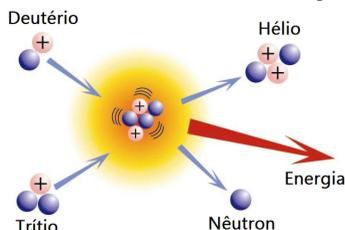
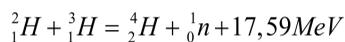


Figura 46 : Ilustração de uma fusão nuclear
Fonte: Blog Ciência & Diversão.



onde o deutério e o trítio colidem, dando origem a uma nova partícula, o Hélio, além de libertarem um nêutron e grande quantidade de energia:

No processo de fusão nuclear a massa não se conserva, sendo transformada em uma enorme quantidade de energia a ser liberada após o processo de reorganização do núcleo. Proporcionalmente, a liberação de energia durante a fusão de um núcleo é imensamente maior do que a liberada no processo de fissão do mesmo, além do que, o seu produto final é, geralmente, um elemento ainda mais estável que o original. Por apresentar grandes vantagens em relação à fissão nuclear, os cientistas tentam controlar a fusão de forma a produzir energia elétrica.

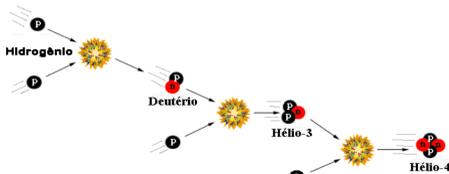


Figura 47 : Ilustração de sucessivas fusões nucleares.
Fonte: Blog Ciência & Diversão.





• Reator de Fusão Nuclear e o desafio frente à sua eficiência energética.

Um dos grandes desafios da ciência contemporânea, no que tange questões energéticas, é o de reproduzirmos artificialmente as reações nucleares que ocorrem na atmosfera solar, extraindo parte desta energia e transformando-a, de maneira eficiente, em energia elétrica. Embora utilizando um reator nuclear consigamos reeditar as condições para que ocorra a fusão do núcleo atômico, a energia necessária durante o processo é maior do que a obtida no final. Existem dois tipos de reatores de fusão, o Stelertator e o Tokamak, sendo este último o mais atual.

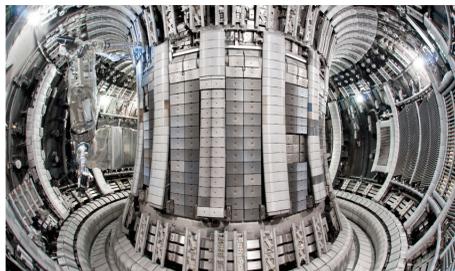


Figura 48: Foto feita no interior do reator nuclear, tipo Tokamak, localizado em Princeton, Estados Unidos.

Fonte: Blog Stella - Astrofísica Estelar

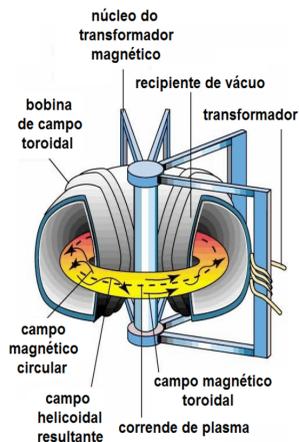


Figura 49: Imagem simplificada dos componentes de um reator de fusão nuclear do tipo Tokamak.

Fonte: Blog Ciência & Diversão

Um dos mais conhecidos reatores de fusão é do tipo Tokamak e localiza-se na cidade de Princeton, nos Estados Unidos. A figura 48 mostra o interior deste reator. Já a figura 49 faz alusão aos princípios de funcionamento deste tipo de reator, o qual é caracterizado por sua estrutura em formato toroidal, ou seja, semelhante, geometricamente, a uma câmara de pneu. No interior da sua carapaça metálica faz-se vácuo e deposita-se determinadas quantidades de gases de trítio e deutério, os quais ficarão confinados por

um campo magnético toroidal. Ao ser aplicada uma descarga de energia no dispositivo, haverá a indução de uma corrente elétrica, ionizando os gases contidos na parte interna do tubo, e, sob determinadas condições, formar-se-á um plasma de corrente elétrica, o qual irá eventualmente atingir valores altíssimos de pressão, além de temperaturas na casa de 100 milhões de graus celsius. O saldo energético de um reator de fusão nuclear resulta do balanço entre o aquecimento do plasma e as perdas energéticas do sistema. Até então, não há tecnologia suficientemente eficaz que nos garanta produzir uma quantidade maior de energia, do que aquela envolvida no ato de recriar as condições para a fusão.

Faz-se fundamental ressaltar, que a energia gerada em um processo de fusão é muito maior do que a produzida na fissão do núcleo atômico, além do que, os materiais utilizados enquanto combustível para o processo, hidrogênio, deutério, trítio, entre outros, são encontrados em quantidades virtualmente ilimitadas na natureza. Somando-se a isso, talvez a maior vantagem da energia nuclear com origem na fusão do núcleo, em relação à fissão, é que o produto final desta reação é outro elemento estável, não havendo, portanto, a produção de rejeitos radioativos.





Produzindo Eletricidade

Na sociedade contemporânea, a eletricidade está presente em grande parte de nossas atividades diárias, desde as mais corriqueiras às de maior complexidade. O simples fato de acendermos uma lâmpada, ligarmos a televisão, tomarmos um banho quente, carregarmos a bateria de um telefone celular, entre inúmeras outras atividades, são impensáveis sem a energia elétrica. Mas de onde vem esta eletricidade?

No Brasil, conforme aponta o gráfico na figura 50, a maior parte da energia elétrica produzida, cerca de 71%, é renovável e tem sua origem maior no movimento das águas, isto é, nas nossas usinas hidrelétricas. Em contrapartida, apenas 2,4% de toda a eletricidade produzida tem origem nuclear, sendo que, existem somente duas termoeletrônicas em funcionamento no país, Angra I e Angra II, além de, ainda inoperante, Angra III em estágio final de construção. Mas qual é a grande diferença entre estas duas fontes de energia? Sem grandes pormenores, a diferença entre elas está na maneira como é obtida a energia mecânica que irá acionar o gerador elétrico da usina.

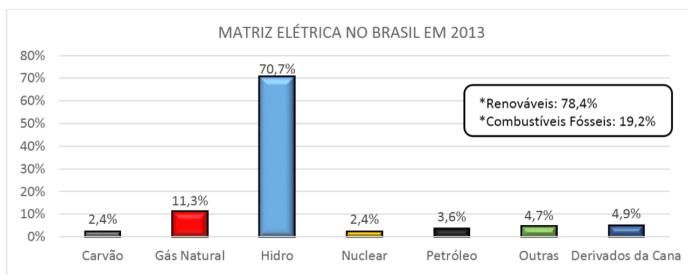


Figura 50: Gráfico da matriz elétrica brasileira no ano de 2013.
Fonte: IEA e MME

A construção de uma usina hidrelétrica parte do princípio de aproveitamento da energia contida no movimento da água dos rios devido a seus desníveis naturais. Sua instalação padrão prevê a construção de barragens, que tem a função de represar a água, formando grandes reservatórios. Conforme podemos ver na figura 51, existe um desnível entre a água no reservatório, antes da barragem, em uma região mais alta, e o nível do rio posterior à usina, em uma região mais baixa. A esta diferença de altura associamos uma energia potencial, que, por meio da ação da força da gravidade, transformar-se-á gradativamente em energia cinética mediante o aumento na velocidade do fluxo de água que atravessa as tubulações da usina. O conjunto destas energias pode ser chamado de energia mecânica, o qual será responsável por girar as pás de uma turbina,

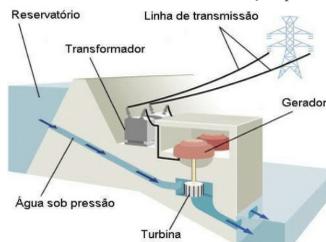


Figura 51: Modelo padrão para o funcionamento de uma turbina hidrelétrica do tipo Francis.
Fonte: SENAI





acionando um gerador elétrico e, portanto, transformando energia mecânica em energia elétrica.

Basicamente, o gerador elétrico está presente na conversão em eletricidade da energia contida nos mais diversos tipos de fontes, sendo este, portanto, o ponto comum entre usinas hidrelétricas, eólicas e termoeletricas que funcionem à base da queima de carvão, gás natural, petróleo ou da fissão nuclear. Podemos, portanto, comparar o funcionamento padrão de uma hidrelétrica ao de uma usina termonuclear, onde há tecnologias essencialmente diferentes. Ainda assim, ambas operam de modo a captar a energia mecânica associadas a um processo específico de transformação e, com esta, acionar as pás de um determinado tipo de turbina atrelada a um gerador de eletricidade.

Na figura 52 temos o esquema de funcionamento de uma termonuclear com tecnologia igual a dos reatores utilizados na central nuclear de Angra dos Reis. A engenharia deste tipo de usinas nucleares estão baseadas nos reatores PWR (em inglês: Pressurized Water Reactor), isto é, reatores que operam à base de água pressurizada, utilizando água enquanto elemento de refrigeração e urânio enriquecido como combustível nuclear. O funcionamento destas usinas, basicamente, se divide em três sistemas independentes: (A) Circuito primário; (B) Circuito secundário e (C) Sistema de refrigeração.

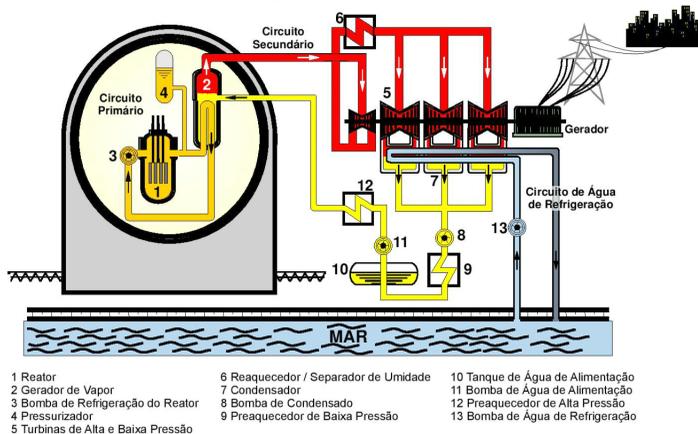


Figura 52: Modelo simplificado de funcionamento das usinas nucleares de Angra dos Reis.

Fonte: Apostilas educacionais da CNEN.

De maneira simplificada, podemos dizer que no interior do reator nuclear (1), parte fundamental do circuito primário, ocorrem as fissões dos núcleos atômicos contidos nas pastilhas de urânio. Estas reações liberam energia térmica que esquentam a água contida no sistema. Esta água, agora misturada a substâncias radioativas, por meio de um pressurizador (4), é mantida sempre no seu estado líquido e, mediante correntes convectivas, percorre o sistema passando por um gerador de vapor (2). O gerador de vapor faz parte do circuito secundário e é responsável por absorver, através do calor, parte da energia térmica contida no circuito anterior, e aquecer a água contida neste segundo sistema transformando-a em vapor. Ambos, circuito primário e secundário, são independentes um ao outro, isto é, a água radioativa contida no circuito primário não transita no interior do circuito secundário. Após aquecida, esta água, no estado de vapor, percorre as tubulações do sistema

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



secundário, onde existe uma diferença de pressão. A este movimento de vapor de água podemos associar uma energia mecânica, à qual irá interagir com as turbinas (5) do reator e acionar um gerador elétrico acoplado a estas, produzindo, portanto, energia elétrica. Não menos importante, o vapor de água após passar pelas turbinas, interage com um sistema de resfriamento, independente aos dois circuitos anteriores, que tem a função de bombear água do mar a uma temperatura mais baixa, resfriando, no interior do que chamamos de condensador (7), o fluido contido no circuito secundário e transformando-o novamente para o estado líquido. Este fluido passará por alguns processos, será bombeado, e voltará ao gerador de vapor, reiniciando o ciclo até chegar novamente as turbinas.

CURIOSIDADE:

O gerador elétrico é um dispositivo que tem como base de funcionamento as leis da indução eletromagnética propostas por Michael Faraday, isto é, uma corrente elétrica induzida pode ser gerada, e utilizada, através da variação do fluxo magnético em um equipamento específico. Na figura 53, temos o gerador característico de uma hidrelétrica, onde, ao girarmos as paletas da turbina, concomitantemente, transferimos movimento circular a um eixo conectado ao rotor, que nada mais são do que grande eletroímãs. Desta forma, o rotor gira no entorno do estator, que opera como uma espiral de fios de cobre de alta pressão. A variação do fluxo magnético que atravessa estas espiras gera uma corrente elétrica induzida, que, logo depois, é enviada a um transformador e fica sujeita a uma alta tensão, podendo, portanto, percorrer grandes distâncias pelas linhas de transmissão elétrica, até ser novamente transformada em baixa tensão e chegar em sua casa. Habemus energia elétrica!

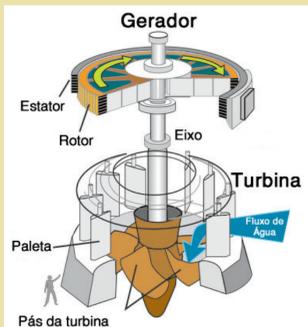


Figura 53: Representação de um gerador de energia utilizado em hidrelétricas.
 Fonte: Wikimedia

Fica a Dica:

No youtube, temos disponível um vídeo bastante interessante para aqueles que gostariam de compreender algumas nuances entre os diferentes tipos de usinas hidrelétricas. Sob o título de “Belo Monte: Usinas e a casa de força”, o curta metragem pode ser encontrado no link contido nas informações da figura 54. Possui 5min e 46 segundos de duração e apresenta alguns pontos da tecnologia utilizada na hidrelétrica de Belo Monte, diferenciando usinas que operam à base de “fio d’água” às de grandes reservatórios. Apresenta também alguns dos principais tipos de turbinas utilizadas em hidrelétricas (turbinas do tipo Francis e do tipo Bulbo), contextualizando sua necessidade diante das diferenças e desníveis no relevo natural do curso dos rios.



Figura 54: Vídeo sobre a Usina Hidrelétrica de Belo Monte
 Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=Yb1WaW0w11c>



• **Conhecendo o Brasil Nuclear**

No Brasil, a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAB), mais conhecida como Central Nuclear de Angra dos Reis, está localizada na praia de Itaorna, município de Angra dos Reis, estado do Rio de Janeiro, e opera por meio de reatores de água leve³ (LWR - Light Water Reactors), do tipo segunda geração, os PWR. Um reator de água leve, LWR, nada mais é do que aquele que utiliza enquanto elemento refrigerante a água e tem como combustível o urânio enriquecido. Sua tecnologia PWR, como já vimos, faz referência ao seu funcionamento, no interior do reator, à base de água pressurizada.

A Usina Nuclear Angra I, herança da ditadura militar no Brasil, começou a operar comercialmente no ano de 1985 e ocupa uma área de aproximadamente 37.918 m². Conforme dados disponibilizados pela Eletronuclear, com cerca de 640 MW (megawatts) de potência elétrica bruta, sozinha, é capaz de atender ao consumo do estado do Ceará por aproximadamente um ano.

A Usina Nuclear Angra II, segunda construída no Brasil, fruto de um acordo nuclear com a Alemanha, ocupa uma área de aproximadamente 93.802 m² e, embora tenha começado a ser construída durante a ditadura, no ano de 1983, apenas passou a operar comercialmente no ano de 2001, durante o governo Fernando Henrique Cardoso. A sua potência elétrica bruta está em torno de 1350MW, o que, para efeitos de comparação, significa ser capaz de atender os estados do Paraná e Maranhão, juntos, durante o período de um ano.

A diferença na produção entre as usinas de Angra I e II, está, além dos constantes avanços tecnológicos nos dispositivos utilizados para diminuir a perda de energia no processo de produção, no fato de que Angra I opera com dois geradores de vapor, enquanto Angra II opera com quatro.

A Usina Nuclear de Angra III, depois de 20 anos do seu início, teve suas obras reiniciadas durante o governo Lula, no ano de 2010, e está em fase final de construção. É considerada coirmã de Angra II e, a priori, pretende-se que o mínimo de potência elétrica bruta produzida seja equivalente à produzida por sua semelhante, atingindo até 1405MW. Uma previsão coerente é de que ela passe a operar comercialmente a partir do ano de 2020.

O Brasil, no que se refere a recursos energéticos, está no topo entre as maiores potências em



Figura 55: Vista panorâmica das Usinas nucleares Angra I (à dir.) e Angra II (à esq.).

Fonte: Eletronuclear



Figura 56: Imagem da Usina Nuclear de Angra III em fase final de construção.

Fonte: Eletronuclear

³ O reator de água leve utiliza água (H₂O) como fluido refrigerante e moderador de nêutrons, já o reator de água pesada utiliza enquanto refrigerante e moderador o óxido de deutério (D₂O).

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



ambos os setores, nuclear e hidrelétrico. Embora não nos seja novidade a capacidade hidrelétrica do país, talvez grande parte dos brasileiros ainda não saibam que, com apenas $\frac{1}{4}$ do território nacional já prospectado, ocupamos a sexta posição entre os maiores detentores de reservas naturais de urânio no planeta (Relatório INB, 2010, p.10). Além disso, o metal de urânio extraído, antes de tornar-se combustível nas usinas nucleares, passa por uma série de processos complexos, tecnologia a qual o Brasil, hoje, domina por completo.



Figura 57: Reservas nacionais de urânio.
 Fonte: Eletronuclear.

• **O Ciclo do Urânio**

O ciclo do Urânio se caracteriza pelas etapas do processo industrial nas quais ocorre a transformação do mineral bruto de urânio, ao ser extraído da natureza, em pastilhas de combustível nuclear. Mais uma vez realçamos que o Brasil, tecnologicamente, por meio da Indústria Nuclear Brasileira (INB) e a Marinha, domina por completo este processo, além de possuir a sexta maior reserva geológica conhecida de Urânio no planeta, o que o coloca em evidência no cenário internacional no campo de produção energética via matriz nuclear.

Conforme a figura 59, a mineração e beneficiamento do urânio se configura como a etapa inicial do ciclo do combustível. No Brasil a extração do minério ocorre na cidade de Caetité, Bahia, onde é encontrado na forma U_3O_8 . Na usina de beneficiamento o urânio é separado do minério, purificado e concentrado na forma de um sal de cor amarela, conhecido como "yellowcake".

As etapas seguintes se dão pela dissolução e posterior conversão do yellowcake no gás de hexafluoreto de urânio (UF_6), seguida do processo de enriquecimento. Durante o enriquecimento, o material no estado gasoso terá sua proporção de $U-235$ aumentada de aproximadamente 0,7% para entre 2 a 7%, o que viabiliza sua utilização na produção de combustível nuclear.

Após enriquecido na Fábrica de Combustível Nuclear (FCN), localizada na cidade de Resende/RJ, o gás de hexafluoreto de Urânio é reconvertido em dióxido de Urânio em pó (UO_2), para



Figura 58: Uma amostra de pechblenda, minério impuro de urânio, à qual pode ser extraído o urânio.

Fonte: Wikimedia

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



então serem fabricadas as pastilhas de UO_2 e, enfim, feita a montagem do elemento combustível.



Figura 59: Ciclo do urânio no Brasil.
 Fonte: ANEEL

CURIOSIDADES

Embora todos acreditem que o urânio é um mineral, necessariamente, amarelo, ele não possui uma cor característica, podendo ser amarelo, marrom, ocre, branco, cinza, conforme as muitas cores da terra. Diferente do urânio manufacturado e transformado em pastilhas de combustível nuclear, o metal de urânio, quando em estado bruto, é um mineral com menor taxa de emissão radioativa, mas que, ainda assim oferece riscos, produzindo envenenamento de baixa intensidade àqueles expostos ou contaminados por ele. Neste sentido, durante a mineração, a CNEN orienta os trabalhadores a adotarem uma série de precauções, preservando-os de uma exposição além da necessária, assim como, prevenindo possíveis situações de risco à família destes trabalhadores. Náuseas, dor de cabeça, vômito, diarreia, queimaduras pelo corpo, podem ser sintomas relacionados a uma alta exposição ou contaminação, nas minas de urânio. Neste caso, o sistema linfático, sangue, ossos, rins e fígado também podem ser acometidos.

A extração do minério de urânio ainda pode trazer alguns agravantes,

Cuidados no garimpo com os minérios radioativos: Urânio e Tório



Figura 60: Cuidados no garimpo.
 Fonte: CNEN



Figura 61: Protestos contra a exploração do urânio, na região de Caetité.
 Fonte: Greenpeace

como alteração na qualidade do ar das regiões de exploração devido a emissões atmosféricas decorrentes do desmonte de rochas, movimentação dos solos, além da emanção do gás radônio; contaminação dos mananciais de água potável em áreas subterrâneas; deposição de partículas radioativas sobre a vegetação, atingindo todo o ecossistema. Nas regiões de Caetité e Lagoa Real, de onde também se extrai o minério, informações disponibilizadas pela INB e Greenpeace se contradizem, apontando possíveis contaminações do lençol freático e danos à saúde dos moradores.



- **Da arquitetura, funcionamento e segurança dos reatores nucleares.**

A construção de uma usina nuclear, em sua fase preliminar, busca eliminar o risco de acidentes, assim como suas decorrentes complicações, caso, por razão humana ou tecnológica, estes viessem a ocorrer durante um processo falho do reator nuclear. Acidentes já ocorridos, como os casos de Chalk River (1952), Windscale Pile (1957), Three Mile Island (1979) e Chernobyl (1986), Fukushima (2011), além de outros tantos, são minuciosamente estudados e formas de contorná-los são planejadas pelo grupo de engenheiros e arquitetos responsáveis pelo projeto. Da mesma forma, são realizados estudos para garantir o funcionamento da usina diante de possíveis eventos extremos da natureza, como vendavais, terremotos, deslizamentos de terra e outros fatores de risco. Situações como ataques terroristas, sabotagens e uma possível queda de um avião sobre os reatores, também estão entre a rede de possibilidades analisadas, tendo este grupo de profissionais a função de preveni-los, ou encontrar meios para superá-los.

Como já vimos, por medidas de segurança, os reatores de uma usina nuclear, a exemplo de Angra dos Reis, do tipo PWR, funcionam por meio de três sistemas independentes, o circuito primário, secundário e o sistema de refrigeração. Além disso, na sua formulação, foram construídas pelo menos quatro barreiras de contenção às partículas radioativas, para caso ocorra algum tipo de anormalidade no funcionamento dos reatores. Alguns elementos da base operante, assim como os componentes do reator, podem ser vistas de maneira simplificada na figura 62.

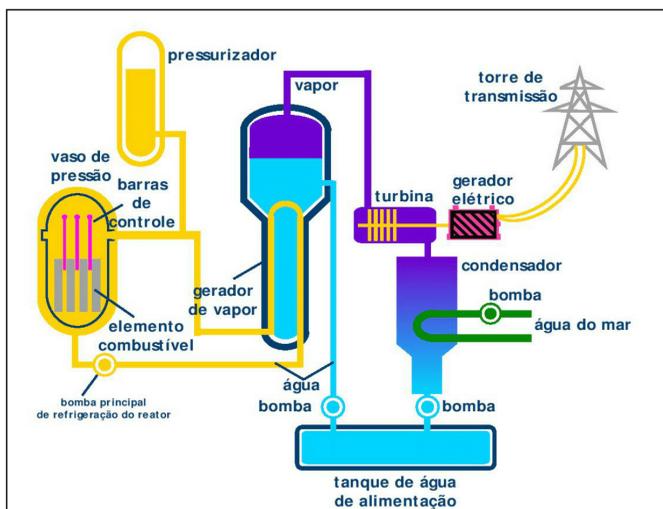


Figura 62: Esboço dos componentes de um reator nuclear.

Fonte: Apostilas didáticas da CNEN.

Como bem sabemos, em uma usina nuclear, o processo de produção de energia tem origem nas sucessivas fissões do núcleo atômico do urânio enriquecido, contido nas pastilhas de combustível localizadas no interior dos reatores nucleares. O que não sabemos é que uma pastilha tem





dimensões cilíndricas em torno de um centímetro de altura e diâmetro, além do que, apenas dois destes elementos de dióxido de urânio são capazes de gerar energia suficiente para abastecer uma casa, onde vivem 4 pessoas, durante o período de um mês.

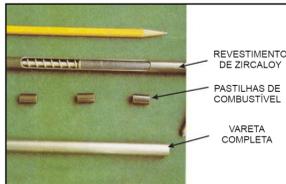


Figura 63: Pastilhas de combustível nuclear.
 Fonte: AIEA

Após as pastilhas serem confeccionadas e passarem por uma série de análises de qualidade, são secas por um forno especial para então estarem prontas ao próximo passo, a montagem do elemento combustível. No caso de Angra I e II, o elemento combustível é constituído por 235 e 236 varetas, respectivamente, articuladas junto a aproximadamente 21 tubos guias, e mantidas rígidas por uma grade espaçadora. O material destas varetas é uma liga especial de zircônio, o Zircaloy, e pode suportar altas temperaturas sem dar início ao seu processo de fusão. Cada uma destas tem diâmetro em torno de um centímetro e comporta 335 pastilhas dispostas uma sobre as outras. As varetas de combustível são fechadas nas suas extremidades e consideradas a primeira barreira de contenção que impede a liberação do material radioativo no ambiente externo.

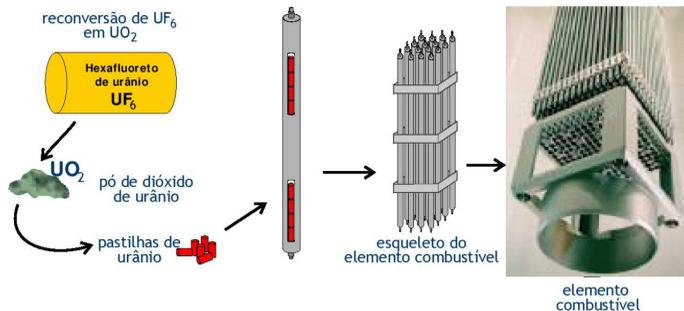


Figura 64: Esboço da composição do elemento combustível.
 Fonte: Apostilas didáticas da CNEN.

Os tubos guias, que nada mais são do que varetas de zircônio sem o elemento combustível, tem a função de dar acesso às barras de controle e de desligamento do reator. As barras de controle são compostas de elementos absorvedores de nêutrons e, através de um sistema de comando externo, atuarão no intuito de gerenciar a potência do reator durante as reações nucleares, enquanto as barras de desligamento, utilizadas conjuntamente às barras de controle, serão úteis caso seja necessário cessar totalmente as reações nucleares no reator. Na figura 62 as barras de controle aparecem logo acima do elemento combustível.

Resta-nos dizer que os elementos combustíveis podem ter até 5 metros de altura e estão localizados no centro do núcleo do reator, envolto por um fluido refrigerante, a água. No projeto dos reatores de Angra I e II, respectivamente, são utilizados 121 e 193 elementos de combustível, rigidamente conectados e responsáveis pelas reações nucleares que darão origem ao aquecimento da água que os circunda.

As estruturas de constituição interna do núcleo do reator, isto é, elementos combustíveis,

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

barras de controle e mecanismos de controle do fluxo de fluido refrigerante no seu interior, estão alocadas no interior daquela que é considerada a segunda barreira física de contenção do material radioativo, o vaso de pressão do reator. Este, trata-se de um enorme recipiente, constituído com paredes de aço entre 20 e 25 centímetros de espessura.

O fluido refrigerante, ou seja, a água, entra no reator por aquilo que chamamos de perna fria. Logo, por meio das fissões do núcleo, passa a ser aquecido rapidamente. Em seguida, sai do núcleo do reator por uma tubulação que chamamos de perna quente, mantendo-se líquido devido à ação do pressurizador de água, e chegando ao gerador de vapor. Neste momento, pelo processo de calor, há uma transferência de energia térmica entre o fluido, radioativo e de maior temperatura, contido nas tubulações do circuito primário, e o fluido não radioativo e de menor temperatura no interior do gerador de vapor, circuito secundário. Uma grande quantidade de vapor é produzida e, sob alta pressão, o fluido contido no circuito secundário, conforme vimos na figura 62, percorrerá em alta velocidade as tubulações até girar as paletas de uma turbina conectada a um gerador elétrico. Após passar pelas turbinas, o vapor de água, agora no interior do condensador, volta ao estado líquido. Esta mudança de estado no fluido apenas é possível devido ao sistema de refrigeração que atravessa o interior do condensador, que, por meio de tubulações independentes ao circuito secundário, bombeia água do mar a uma temperatura muito menor do que a do vapor de água, agora no interior do condensador, trocando energia pelo processo de calor, e devolve esta água ao mar com temperatura alguns graus maior. Finalizando, após passar pelo condensador, a água, agora no estado líquido, é bombeada e novamente injetada no gerador de vapor, dando início a um novo ciclo.

Caso haja alguma falha nestes processos, o vaso de compressão, assim como o gerador de vapor, são alocados no interior de uma carcaça de aço com aproximadamente 4 cm de espessura, conforme mostra a figura 66. O envoltório de aço utilizado em Angra I tem formato cilíndrico, enquanto o utilizado em Angra II, assim como o que fará parte de Angra III, é esférico.

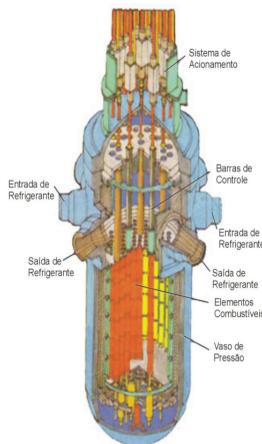


Figura 65: Estrutura interna do núcleo do reator do tipo PWR.

Fonte: pt.energia-nuclear.net

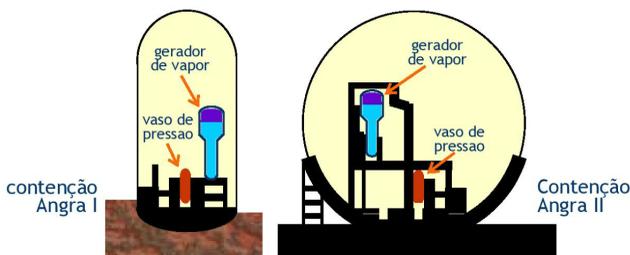


Figura 66: Terceira barreira física de contenção de Angra I e Angra II.

Fonte: Apostila didática CNEN.





Como barreira de contenção final, e não menos importante, capaz de suportar até mesmo o impacto de um boeing-747, temos o edifício do reator, construído com paredes de puro concreto com até 1 metro de espessura, envolvendo a carapaça de aço, cilíndrica ou esférica, das usinas nucleares de Angra dos Reis. Além disso, durante a operação dos reatores, a pressão no interior dos edifícios é mantida menor do que a pressão na parte externa destes, impedindo que partículas radioativas escapem do interior da usina para o meio ambiente.

Somando-se a isso, também enquanto medida de precaução a possíveis complicações, caso haja, por motivos diversos, um corte no abastecimento elétrico da usina, a exemplo do ocorrido em Fukushima Daiichi (2011), o qual levou a uma anomalia no funcionamento do reator e consequentemente ao derretimento de parte do seu núcleo causando a explosão do edifício que o abrigava, a central nuclear de Angra dos Reis conta com doze geradores elétricos a diesel instalados para situações de emergência, além de estar estudando a viabilidade de construir uma usina hidrelétrica de pequeno porte, com o único objetivo de abastecer as usinas de Angra I e Angra II, caso haja necessidade.

CURIOSIDADES

E se eu te dissesse que hoje, em São Paulo, temos um reator nuclear em pleno funcionamento? Calma, não criemos pânico, trata-se de um outro tipo de reator, menos perigoso e com finalidades pacíficas, construído e operado na Universidade Federal de São Paulo (USP). O reator do IPEN/CNEN-SP, localizado na USP, é o IEA-R1, um reator de pesquisa tipo piscina aberta.

Nem todo reator nuclear é utilizado com o objetivo de produzir energia elétrica. Existem reatores empregados na área de pesquisa nuclear, cuja a finalidade é o aproveitamento das partículas e radiações geradas durante as reações nucleares no núcleo deste dispositivo. Eles são menores, mais simples e operam com temperatura e potência mais baixas. A potência máxima desse reator de pesquisa chega a 8 megawatts. Estes reatores necessitam de uma quantidade menor de combustível, embora mais enriquecidos. Não há o intuito de aproveitar a energia térmica liberada durante as reações nucleares neste caso, sendo toda esta, de maneira segura, eliminada na atmosfera.

Por ser um reator de pesquisa, o seu propósito está no estudo de física de reatores; nos efeitos da radiação em determinados materiais; na produção de radioisótopos com aplicação na indústria, medicina e em pesquisas biológicas; assim como, no treinamento de pessoal qualificado para operar reatores.

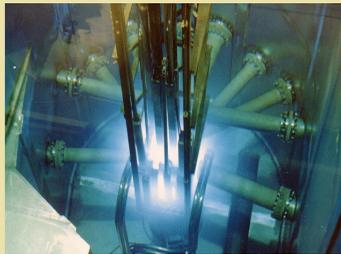


Figura 67: Vista superior do reator IEA-R1.

Fonte: IPEN

- **O Plano de Emergência em Angra dos Reis**

Segundo as informações contidas nos materiais de divulgação disponíveis no site da Eletro-nuclear, o plano de emergência é uma medida adicional de segurança e tem caráter preventivo na tentativa de garantir a segurança da população e não comprometer o meio ambiente. O plano conta com o aval da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), responsável pelo licenciamento de instalações nucleares no Brasil, e está sob a coordenação dos órgãos de Defesa Civil. As áreas no entorno da usina são divididas em círculos, chamadas zonas de planejamento de emergência, conforme mostra a figura 68. As ações preventivas acontecem nas zonas 3 e 5,

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



Figura 68: Zonas de Planejamento de Emergência em Angra dos Reis.

Fonte: Eletronuclear

situadas até cinco quilômetros das usinas. As zonas 10 e 15 ficam mais afastadas e recebem os moradores das outras zonas em caso de evacuação. Foram instaladas sirenes em oito pontos estratégicos das zonas 3 e 5, com um sistema de som capaz de transmitir alertas e informações que é testado todo dia 10, às 10 horas da manhã, para não confundir os moradores. Os meios de comunicação, TV e rádio, têm a função de fazer a mediação entre os responsáveis pela execução do plano de emergência e moradores, enviando instruções a todo o momento. Campanhas de esclarecimento também são realizadas, incluindo a distribuição anual de mais de 50 mil calendários, de casa em casa, além de informativos, confeccionados em diferentes modelos, com conteúdo adequado às necessidades de informação para cada localidade e instruções sobre como os moradores devem agir em situações de emergência.

• **O que são e para onde vão nossos rejeitos radioativos?**

Os rejeitos radioativos, comumente chamado de lixo atômico, de acordo com as normas da CNEN, podem ser entendidos como todo e qualquer material resultante da atividade humana com radionuclídeos que emitam radiação acima de uma determinada quantidade limite. Estes materiais, se descartados de maneira incorreta, podem vir a causar danos ao meio ambiente ou à saúde das pessoas que com eles tiverem contato.

Como já vimos, o tempo de atividade atômica média destes elementos radioativos pode ser de alguns milésimos de segundos, até mesmo, de acordo com a substância, alguns milhares de anos. A classificação dos rejeitos dá-se conforme a atividade e tempo de vida dos seu isótopos radioativos, sendo que o destino de cada um deles varia de acordo com esta mesma relação. Existem rejeitos de baixa, média e alta atividade, sendo apenas considerado enquanto rejeito, aquele material que não possa vir a ser reutilizado.

Os Rejeitos de Baixa Atividade (RBA) estão entre os materiais que tiveram contato indireto com elemento radioativos, provenientes, geralmente, da área hospitalar, industrial e das próprias term nucleares, como luvas, sapatilhas, roupas especiais, equipamentos e até fitas crepes utilizados na usina. Estes, passam por um processo de descontaminação no intuito de reduzir os seus níveis de radioatividade e, logo em seguida, são triturados, prensados e acondicionados em recipientes que aprisionam no seu interior a radiação emitida durante o tempo que ainda estiverem em atividade.

Os Rejeitos de Média Radioatividade (RMA), normalmente, cerca de mil vezes mais radioativos que os RBA, estão entre os materiais em contato direto com as pastilhas de urânio. Dentre estes temos as varetas de combustível, filtros utilizados nas piscinas onde os reatores de pesquisa são submersos, efluentes líquidos solidificados e resinas. Os RMA são acondicionados em uma matriz sólida de cimento, encapsulado em barris de aço apropriados e mantidos sob



Figura 69: Informativos-Angra dos Reis.

Fonte: Eletronuclear



Figura 70: Recipiente de armazenamento de resíduos radioativos.

Fonte: LANDEC



monitoramento em depósitos isolados.

Anualmente, ocorre troca de parte das pastilhas contidas no elemento combustível de uma usina nuclear, material com alto poder de contaminação e até cem mil vezes mais radioativo que os RBA. Estes resíduos são classificados como Rejeitos de Alta Radioatividade (RAA). Como mais de 90% destes resquícios de combustível nuclear podem ser reaproveitados no futuro, depois de reprocessados, não são considerados rejeitos, mas, enquanto isso não ocorre, ficam armazenados em piscinas especiais dentro dos prédios de segurança das usinas (ver figura 71). Com o auxílio de algumas tecnologias, via uma mistura com ácido nítrico, estas pastilhas de urânio podem ser recicladas por meio de uma reação que dá origem a três produtos: o próprio urânio, plutônio e um terceiro material altamente radioativo. Apenas 3% do produto desta reciclagem é inútil e altamente radioativo, sendo que este lixo será solidificado em uma mistura vítrea e acondicionado em barris de aço a serem armazenados em depósitos definitivos.

Ainda assim, o Brasil não possui depósitos definitivos para o lixo atômico produzido em Angra dos Reis. Embora, aparentemente, possua tecnologia para construí-los, devido ao alto custo, debates e polêmicas frente à melhor solução para estes rejeitos, além da indefinição frente às localidades onde viriam a ser instalados, nosso país tem postergado a efetividade deste encargo ao longo de décadas até aqui, o que pode ter consequências graves para as gerações futuras.



Figura 71: Piscina de resfriamento de rejeitos de Angra I
 Fonte: IPEN

CURIOSIDADES

Um dado interessante quando se fala em lixo atômico está na diferença de volume produzido quando comparado a outras fontes de energia. Segundo Veiga (2010, p.22), se a referência fosse todo o consumo de eletricidade do tempo de vida de um indivíduo que só usasse energia proveniente da fonte nuclear, o rejeito atômico produzido caberia em uma latinha de refrigerante. Comparativamente, se a fonte primária for a queima de carvão, estes resíduos atingiriam a marca de 69 toneladas de lixo sólido, além de outras 77 toneladas de emissões de dióxido de carbono. Sem contar as cinzas e gases, cheias de metais pesados como chumbo, arsênico e mercúrio, o mais tóxico.



Figura 72: O carvão diante de um comparativo frente à quantidade de rejeitos radioativos produzidos ao gerar energia elétrica durante toda a vida de uma pessoa.
 Fonte: IPEN



Fica a Dica

Pesquise sobre o projeto, ainda inacabado, da construção de um imenso depósito de rejeitos nucleares na Montanha de Yucca, no estado de Nevada, Estados Unidos, deserto de Mojave. A estrutura contaria com 65km de túneis/dutos no interior da montanha (apenas 8km construídos até em tã), armazenaria estes materiais radioativos por nada menos do que 10 mil anos. Uma das grandes discussões em torno da sua construção era: “Como manter as pessoas longe deste lugar ainda que a civilização como a conhecemos deixe de existir?”.



Figura 73: Área externa à montanha de Yucca
Fonte: yuccamountain.org



Figura 74: Túneis no interior da montanha de Yucca.
Fonte: yuccamountain.org

Porquê, tecnologicamente, acidentes como os ocorridos em Chernobyl e Fukushima não se repetiriam nas usinas nucleares de Angra dos Reis?

A priori, é importante ressaltarmos que não estamos isentando as term nucleares brasileiras de falhas que levem a desdobramentos de gravidade semelhante, ou até mesmo maior, às ocorridas nos episódios de Chernobyl e Fukushima. Mas sim, queremos caracterizar as diferenças tecnológicas de arquitetura e funcionamento dos distintos tipos de reatores nucleares utilizados nestas usinas, as quais inviabilizam a reedição de tais circunstâncias.

• O que ocorreu nas usinas nucleares de Fukushima-Daiichi?

Para compreendermos o acidente ocorrido na central nuclear de Fukushima, no Japão, precisamos, inicialmente, conhecer algumas características do modelo de reator nuclear utilizado nestas usinas, isto é, os reatores de água fervente do tipo BWR (Boiling Water Reactor). O BWR é a primeira geração dos reatores LWR (Light Water Reactors), isto é, aqueles que utilizam água leve (água comum) enquanto elemento moderador e refrigerante, além de, como combustível, urânio enriquecido. O BWR pode ser considerado o irmão mais velho do PWR (reator de Angra I, II e III).



Figura 75: Contaminação da água do mar em Fukushima.
Fonte: Latuff - 2014

Funcionamento de um reator do tipo BWR

Na figura 76 podemos observar, de forma simplificada, a estrutura de funcionamento de uma usina nuclear como a de Fukushima, ou seja, que utiliza o reator do tipo BWR. No interior do vaso de pressão do reator ocorrem as fissões do núcleo atômico das pastilhas de urânio. A partir da grande quantidade de energia liberada pelas reações de fissão do urânio no núcleo do



reator, a água, no estado líquido, que envolve os elementos combustíveis, ferve, dando origem ao vapor de água. Devido a uma diferença de pressão, o vapor de água percorre as tubulações até girar as pás de uma turbina. Um gerador elétrico acoplado a esta turbina transforma energia mecânica em eletricidade. O vapor de água segue em direção ao condensador, onde é resfriado e transformado novamente em água líquida. Esta água é bombeada e reinjetada, por meio de uma bomba elétrica, no vaso de pressão do reator, iniciando um novo ciclo. Vale dizer que o mecanismo de refrigeração da água é um circuito independente aos demais processos, onde, por meio do bombeamento da água do mar, a uma temperatura menor, percorre o interior do condensador, convertendo vapor de água em água líquida, e volta para o mar com uma temperatura alguns graus maior à situação inicial.

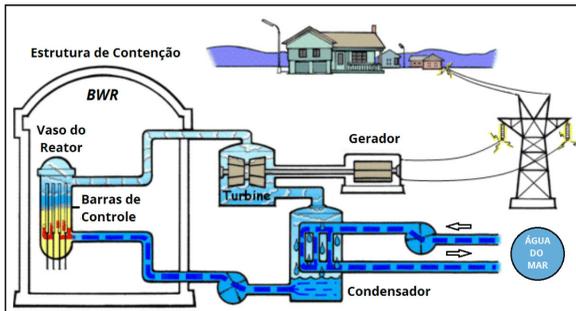


Figura 76: Esquema simplificado do funcionamento de uma usina nuclear com reator do tipo BWR.
 Fonte: United States Nuclear Regulatory Commission (U.R.NRC)

O bombeamento de água contínuo ao núcleo do reator é feito por meio de bombas elétricas. Estas, são responsáveis por não permitir que o nível de água no núcleo do reator diminua e exponha as barras de combustível. Caso, por algum motivo, haja uma falha do sistema elétrico da usina, esta conta com geradores elétricos auxiliares a diesel e baterias de backup, os quais farão tal função até que a eletricidade seja reestabelecida. O desastre nuclear de Fukushima, dentre outros fatores, tem a falha dos geradores elétricos, devido a problemas no projeto da usina, como um dos responsáveis pelo episódio.

O acidente de Fukushima

No dia 11 de março de 2011, o Japão teve o maior tremor de terra já registrado em sua história, também considerado o quinto maior dentre os já registrados no planeta. Cerca de uma hora depois, a central nuclear em Fukushima Daishi, embora acometida pelo tremor de terra, devido a seus mecanismos de segurança, encontra-se sobre estado de normalidade. Conforme o planejado, os reatores em operação na região entram em processo de desligamento automaticamente e, com o auxílio do sistema elétrico, passa a ser realizado o arrefecimento/resfriamento dos seus núcleos. O governo lança um segundo alerta anunciando a possibilidade de tsunamis em todo o noroeste da costa Japonesa e determinando a evacuação da população. O que não se previa era o tamanho da devastação que eles causariam. A central nuclear de Fukushima Daishi, com muros de contenção para lidar com ondas de até 6 metros, foi atingida por uma parede de água com





cerca de 14 metros de altura, conseqüentemente, a usina é inundada pela água do mar. Somando-se a isso, o sistema elétrico da região é destruído pela força das águas. Parte dos geradores elétricos diesel, dos reatores 1 a 4, devido ao desenho ultrapassado das usinas, ficavam no lado externo aos prédios de contenção e foram também inundados, logo, danificados. Baterias de backup passam a manter o sistema elétrico da central, continuando o resfriamento do núcleo dos reatores, no entanto, apenas há energia para 8 horas. A situação no Japão é calamitosa, mais de 20 mil pessoas morreram devido ao tsunami. A central nuclear fica sem energia elétrica para o resfriamento no núcleo dos reatores 1 a 4. Lentamente há um aumento da temperatura e da pressão no interior dos reatores. A água, que devido à pane do sistema elétrico não era mais bombeada continuou a transformar-se em vapor, expondo as barras de combustível, antes submersa no líquido refrigerante. Sob temperaturas muito altas, as barras de combustível, feitas de Zircônio, fundem-se, gerando óxido de zircônio e dióxido de hidrogênio, altamente inflamável. Quando surgem as primeiras faíscas, o gás no interior dos reatores 1 e 3 provocam explosões liberando grande quantidade de radioatividade na atmosfera e água contaminada no mar. Alguns dias depois, o reator de número 2 também explode e um incêndio de grandes proporções toma conta das piscinas de combustível do reator 4. Está consolidado um acidente nuclear de grandes proporções, isto é, nível 7. É o maior evento do tipo após o desastre que devastou Chernobyl.

Diferenças entre usinas de Fukushima (BWR) e Angra dos Reis (PWR):

Basicamente a diferença no funcionamento destes dois tipos de usinas, Fukushima (BWR) e Angra dos Reis (PWR), se dá na inexistência de um gerador de vapor no reator do tipo BWR. Enquanto o reator PWR possui três sistemas independentes no seu funcionamento, o reator BWR, conforme a figura 75, possui apenas dois e funciona como uma espécie de chaleira nuclear, onde a água que envolve o elemento combustível ferve e o vapor de água ativa as turbinas, gerando energia elétrica. Este tipo de reator necessita de uma bomba elétrica de água para o seu funcionamento normal, mantendo estável o nível de líquido refrigerante no interior do núcleo. Como vimos anteriormente, conforme a figura 52, o gerador PWR, no seu circuito primário, é composto por um pressurizador, o qual tem a função de aumentar a pressão no interior do circuito primário e, conseqüentemente, aumentar o ponto de ebulição da água. Desta forma, a água que envolve o elemento combustível no núcleo do reator não muda de estado físico, permanecendo enquanto água líquida a uma temperatura próxima de 700°C e, portanto, não expondo as barras de combustível a temperaturas que levariam a uma situação de criticidade. A água quente circula por meio de tubulações fazendo com que ferva a água contida no interior do gerador de vapor, um sistema secundário e independente ao anterior. Este vapor de água, não radioativo, irá acionar as turbinas, logo, conforme já explicado, fazer a transformação de energia mecânica em energia elétrica.

Por que, tecnologicamente, um reator do tipo PWR, como o de Angra dos Reis, poderia ter evitado o desastre de Fukushima?

Primeiramente cabe dizer que não ousamos aqui avaliar como a central nuclear de Angra dos Reis teria se saído em condições similares ao evento climático extremo ocorrido em Fukushima. O projeto de Angra dos Reis foi construído a partir de outras variáveis, isto é, em razão do histórico de terremotos no Japão, suas usinas estão entre as mais resistentes para este tipo de abalo sísmico, assim como, prevêm sistemas de contenção para caso estes tremores de terra venham a desencadear tsunamis. Já no Brasil, nossas usinas estão preparadas para terremotos de



até 7 graus na escala Richter, bem menor do que acometeu a costa noroeste do Japão, em torno de 8,9 graus. O maior terremoto já registrado no Brasil foi no ano de 1955, no estado do Mato Grosso, atingindo 6,2 graus Richter.

Embora não possamos dizer que as usinas nucleares brasileiras sairiam ileas em uma situação análoga ao ocorrido no Japão, até porque, como já dissemos, são construídas sob pressupostos e probabilidades de riscos diferentes, podemos comparar as situações pensando se as condições que levaram ao desastre em Fukushima poderiam ter sido evitadas caso o sistema de segurança e de funcionamento dos seus reatores nucleares fossem, tecnologicamente, semelhantes aos utilizados no Brasil, com o reator do tipo PWR.

As diferenças iniciam na forma como estão acopladas as válvulas de alívio e segurança responsáveis pelo resfriamento do núcleo dos reatores quando em uma situação de criticidade. No Japão, em um primeiro momento, grande quantidade de vapor radioativo foi liberado na atmosfera com a intenção de resfriar o núcleo dos reatores e evitar a catástrofe que veio em seguida. Como já dito, os reatores BWR possuem um mesmo sistema que interliga todo o ciclo do fluido refrigerante no seu interior. No reator PWR, esta válvula encontra-se no sistema secundário, independente ao primário, logo, ao liberar o vapor de água para a atmosfera, no intuito de resfriar e controlar a temperatura do elemento refrigerante no núcleo do reator, trata-se de um fluido não radioativo, o que teria evitado a dispersão de grande quantidade de radiação na atmosfera quando efetuada esta medida de segurança.

Somando-se a isso, as barras de controle nos reatores BWR precisam de energia elétrica para serem operadas, nas usinas brasileiras, quando em situação crítica, elas caem por gravidade, diminuindo a quantidade de reações nucleares e, conseqüentemente, a quantidade de calor liberado no núcleo do reator. Além disso, possuímos um sistema de alimentação de água auxiliar de emergência (além de tanques de água de alimentação), assim como, bombas de partida e parada desta água e sistemas de proteção contra incêndio, inexistentes no projeto de Fukushima.

Enfim, o plano de alimentação elétrica de emergência no projeto de Angra dos Reis difere bastante do utilizado em Fukushima. Embora tenhamos também a utilização da rede externa, assim como geradores à diesel, a central nuclear de Angra dos Reis conta também com um complexo de alimentação independente à rede externa. Na prática, isto significa que o tempo de 8 horas que as baterias de backup proporcionaram ao Japão para a solução do problema de suas usinas nucleares, seria superado em muito, caso o sistema de segurança para emergências em seus reatores fossem semelhantes aos utilizados em Angra dos Reis, no reator do tipo PWR. O desastre de Fukushima, sob esta perspectiva, poderia ter sido evitado.

• Angra pode se tornar uma nova Chernobyl?

Para que compreendamos um pouco do que ocorreu em Chernobyl, na Ucrânia, podendo então comparar com as instalações nucleares de Angra dos Reis, precisamos primeiramente conhecer os princípios de funcionamento de um reator do tipo RBMK (Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy). O RBMK é um projeto peculiar de reatores, que utiliza a água como elemento refrigerante e grafite enquanto moderador das reações nucleares no seu interior. Este tipo de reator tem como objetivo, além da produção de energia, a produção de quantidades consideráveis de plutônio.

Funcionamento dos reatores RBMK.

Conforme podemos observar, a figura 77 é um esquema simplificado dos mecanismos de funcionamento no interior do reator utilizado em Chernobyl. O núcleo do reator é composto por um bloco de grafite, o qual é perfurado com tubos de força contendo os conjuntos de combustível



USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



em urânio e as barras de controle. Ao serem levantadas as barras de controle, dá-se o início da fissão dos núcleos de urânio contidos no combustível. Quanto maior o número de barras levantadas, maior será a quantidade de energia liberada pelas reações nucleares, logo, maior a temperatura no interior do reator. A refrigeração do núcleo é garantida por dois circuitos de água idênticos, que tem a função de injetar água fria no núcleo, a qual se aquece e muda de estado físico transformando-se em vapor. Dentro dos separadores o vapor é extraído e enviado para ativar as turbinas do reator. Um gerador elétrico acoplado a estas turbinas transforma a energia mecânica em eletricidade. O vapor, então, é resfriado nos condensadores (os condensadores não aparecem nas imagens), torna-se água de novo, e é devolvido aos separadores, onde esta água é aspirada pelas bombas e reinjetada no núcleo. Cada circuito tem uma bomba de segurança. Caso haja falhas nestes circuitos, há um sistema automático de refrigeração de segurança que pode injetar água fria no núcleo. Os motores das bombas são alimentados pela rede elétrica, no entanto, possuem geradores elétricos de reserva para situações de emergência.

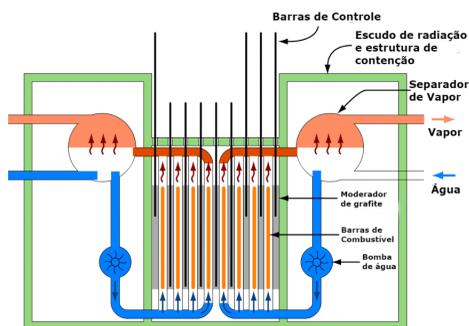


Figura 77: Esquema simplificado de funcionamento de um reator do tipo RBMK.
 Fonte: Wikimedia

O Acidente em Chernobyl

O acidente ocorreu durante um teste relacionado à alimentação elétrica suplementar de segurança no reator. Em caso de falhas na rede, as bombas param de funcionar, mas o alternador⁴ continua a girar por inércia. A hipótese era de que por alguns segundos, devido à continuidade do seu movimento, ele seguiria produzindo eletricidade. Este intervalo de tempo seria o necessário para que os geradores de segurança dessem partida. Este é o teste que os operadores deveriam realizar. No entanto este teste é complicado. Para que o teste fosse efetuado, uma série de violações das normas de segurança foram realizadas, além do que, é preciso antes baixar o reator a $\frac{1}{4}$ de sua potência, o que torna este tipo de reator instável.

Desta forma, para realizarem o teste, houve o fechamento da válvula de admissão do vapor

⁴ O Alternador é parte principal de um gerador elétrico. Ele é o responsável pela transformação da energia mecânica em energia elétrica. O Alternador funciona por meio da indução eletromagnética, onde, a cada volta, o ciclo inicia novamente, variando o fluxo do campo magnético produzido por seus ímãs permanentes e, portanto, produzindo corrente elétrica induzida.



da turbina. Sem a incidência do vapor de água nas pás da turbina, o turbo-gerador agora só gira por inércia. As quatro bombas, que não são alimentadas eletricamente, mas somente pelo turbo-gerador, ficam mais lentas, diminuindo o volume de água no reator. Devido ao calor, a água começa a evaporar, o combustível, devido à diminuição do seu fluido refrigerante, começa superaquecer e a potência do reator sobe lentamente. Frente esta elevação da potência, lenta mas inesperada, a equipe responsável pelo teste, assustada, pressiona o botão de emergência para fazer com que as barras de controle baixem e assim o reator pare. Todavia, a manobra foi feita tarde demais e não teve o resultado esperado, as barras de controle, devido à deformação do núcleo, ficaram bloqueadas a $\frac{1}{4}$ da decida. Não sabendo da deformação do núcleo, é dada a ordem para que fossem derrubadas por gravidade, o que deveria parar o reator, mas as barras não descem. A fusão dos elementos que compunha as barras de combustível junto do vapor de água geram uma reação química que dá origem a uma grande bolha de dióxido de hidrogênio, altamente inflamável. A explosão torna-se inevitável e quando ocorre rompe a tampa de concreto do prédio da usina e lança nas imediações da central nuclear cerca de 70 toneladas de material radioativo, dentre eles, fragmentos do núcleo do reator como pedaços de grafite e urânio. Parte do grafite entra em combustão e dá origem a um incêndio de grandes proporções. Neste episódio, aproximadamente 50 toneladas de gás e poeira radioativa formam uma imensa nuvem que vai varrer o céu da Europa durante vários meses. Pela primeira vez uma série de erros humanos provoca um acidente com dimensões maior do que de uma catástrofe natural.

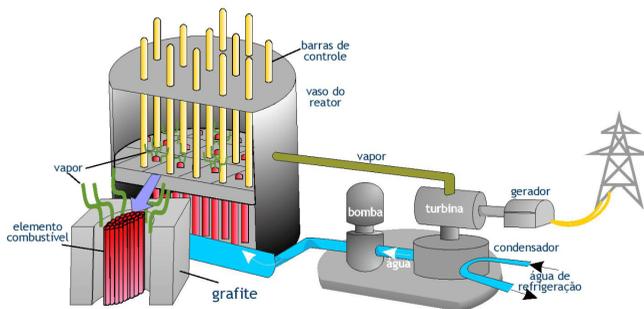


Figura 78: Esquema simplificado do funcionamento de um reator do tipo RBMK.
 Fonte: Apostilas didáticas da CNEN.

Porque o acidente de Chernobyl não pode ser reeditado em Angra dos Reis?

Inicialmente, cabe dizer, que o sistema automático de segurança dos reatores do tipo PWR, inviabilizam qualquer tipo de interrupção, semelhante à realizada em Chernobyl, para realização de testes. Portanto, no projeto da usina nuclear de Angra dos Reis, soluções que descartam a reedição de tais procedimentos foram estabelecidas como ponto chave no desenho da planta dos reatores PWR instalados em território nacional.

Somando-se a isso, o reator PWR utiliza água leve enquanto elemento moderador das suas reações que, quando aquecida, não entra em combustão como o grafite usado nos reatores

USINAS NUCLEARES: O DEBATE TAMBÉM É NOSSO!
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



RBMK. De mais a mais, e não menos importante, estruturas de contenção, não planejadas em Chernobyl, fazem parte do projeto nuclear implementado em Angra dos Reis. Uma carapaça de aço, com 15cm a 20 cm de espessura, envolve o vaso de pressão do reator, além disso, esta carapaça encontra-se no interior do edifício do reator, construído com paredes de puro concreto com até 1 metro de espessura, o qual é capaz de suportar até mesmo o impacto de um boing-747.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVANCINI, Sidney S.; MARINELLI, Jose Ricardo. Tópicos de Física Nuclear e Partículas Elementares; Florianópolis, 2009.
- CARDOSO, E. de M. et al. Apostila Educativa Energia Nuclear. CNEN; 2010.
- _____. Apostila educativa–Radioatividade. CNEN, Rio de Janeiro, 2011.
- _____. Programa de integração CNEN. Módulo informação técnica. CNEN, Brasília, 2003.
- _____. Aplicações da energia nuclear: apostila educativa. CNEN, Rio de Janeiro, 2010.
- CHUNG, K. C. Introdução à física nuclear. EduERJ, 2001.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN. Dica de Leitura. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/>>. Acesso em: Maio de 2017.
- CROALL, Stephen; SEMPLER, Kaianders; DOS REIS, Cardigos. Energia nuclear para principiantes. 1982.
- CROALL, Stephen; SEMPLER, Kaianders. Conheça Energia Nuclear. Proposta Editorial Ltda, 1980.
- ELETRONUCLEAR. Dica de Leitura. Disponível em: < <http://www.eletronuclear.gov.br/>> Acesso em: Maio 2017.
- GALETTI, Diógenes; LIMA, Celso L. Energia Nuclear com fissões e com fusões. São Paulo: Editora Unesp, 2010.
- HELENE, Maria Elisa Marcondes. A radioatividade eo lixo nuclear. Scipione, 2004.
- OKUNO, Emico. Radiação: efeitos, riscos e benefícios. 1988.
- PALANDI J. et al; Física Nuclear; Grupo de Ensino de Física; Santa Maria, 2010.
- SANTOS, C. A, dos. Dica de leitura. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/radioatividade/nuclearindex.html>> Acesso em: Maio de 2017.
- WAHNON, Sara Silva Pinto. Acidente na central nuclear de Fukushima-I: Análise Crítica. 2013.



APÊNDICE 3
PLANO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

| |
|---|
| 1) DADOS DE IDENTIFICAÇÃO |
| Curso: Ensino Médio |
| Disciplina: Física |
| Carga Horária: 20 horas/aulas |
| Bimestre Letivo: 3º bimestre/2016 |
| Professor: Paulo Sérgio G. Montedo |

| |
|---|
| 2) EMENTA |
| <p>Características básicas do modelo atômico de nucleons; Apresentação das partículas elementares no modelo padrão; O espectro eletromagnético e suas radiações; Radioatividade; Os princípios da desintegração radioativa; Aplicações da Energia Nuclear; Fissão e Fusão Nuclear; Arquitetura, funcionamento e segurança das usinas nucleares de Angra dos Reis.</p> |

| |
|--|
| 3) OBJETIVO GERAL |
| <ul style="list-style-type: none"> • Difundir os conhecimentos básicos, na área da Física, relacionados aos princípios de funcionamento das usinas nucleares de Angra dos Reis. |

| |
|---|
| 4) OBJETIVOS ESPECÍFICOS |
| <ul style="list-style-type: none"> • Elucidar e desmistificar questões que envolvem Radioatividade e os Princípios de Funcionamento de uma Usina Nuclear; |
| <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver determinados conhecimentos científicos que auxiliem nossos alunos a compreenderem melhor o assunto, possibilitando-os a fazerem parte, de maneira mais qualificada, no processo de discussão e decisões sociais que envolvem a matriz energética nuclear; |
| <ul style="list-style-type: none"> • A busca na superação do dualismo entre um ensino propedêutico e profissionalizante, ou seja, promover um |

| |
|--|
| ensino de Física que não se limite ao interesse imediato, pragmático e utilitário. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Discutir as matrizes energéticas brasileiras, suas limitações e potencialidades. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mediar a compreensão de conhecimentos físicos via aplicativos de simulação computacional; |
| <ul style="list-style-type: none"> • Enfatizar o caráter provisório dos modelos físicos; |
| <ul style="list-style-type: none"> • Problematicar as catástrofes nucleares de diversos pontos de vista, isto é, em sua concepção científica, social, humana e tecnológica; |

5) HABILIDADES REQUERIDAS E COMPORTAMENTO ESPERADO

A capacidade de criar soluções com flexibilidade, adaptabilidade e inovação; de selecionar estratégias adequadas de ação visando a atender os interesses e necessidades impostos pelas problemáticas contemporâneas; comunicação interpessoal e expressão corretas na interpretação da realidade, raciocínio lógico, crítico e analítico do funcionamento de uma usina nuclear; capacidade de propor soluções baseado em conhecimento adquirido, relacionando-as aos conceitos de Física e das demais disciplinas.

6) CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- ***Unidade 1: Constituição microscópica da matéria***

1.1 Introdução ao modelo atômico de nucleons

1.1.1 A estrutura atômica de um átomo

1.1.2 Prótons, Nêutrons e Elétrons

1.2 Apresentando algumas características do modelo padrão.

1.2.1 Os quarks, léptons e bósons

1.3 Representação simbólica de uma estrutura nuclear

1.4 O que são elementos Isótopos

- ***Unidade 2: Radiações***

2.1 O Espectro eletromagnético e suas radiações

2.2 A luz visível

2.3 As radiações ionizantes e não ionizantes

2.4 Os raios-X

2.4.1 A descoberta dos raios-X

| |
|--|
| |
| • Unidade 3: Princípios da desintegração radioativa |
| 3.1 A instabilidade do núcleo atômico e a radioatividade. |
| 3.2 Tipos de decaimento radioativo |
| 3.2.1 Decaimento alfa |
| 3.2.2 Decaimento Beta |
| 3.2.3 Decaimento gama |
| 3.3 Lei do decaimento radioativo |
| 3.4 Meia vida |
| 3.5 Séries radioativas naturais |
| 3.5.1 Série do Urânio |
| 3.5.2 Série do Actínio |
| 3.5.3 Série do Tório |
| 3.6 Unidades de medida radiológica |
| 3.6.1 Exposição X |
| 3.6.2 Dose Absorvida (D) |
| 3.6.3 Dose Equivalente (H) |
| 3.6.4 Limites primários de dose equivalente |
| 3.7 Diferença entre contaminação radioativa e irradiação |
| |
| • Unidade 4: Aplicações da Energia Nuclear e suas Radiações |
| 4.1 Aplicações na Medicina Nuclear |
| 4.1.1 Os radiofármacos e a investigação radiológica |
| 4.1.2 A Radioterapia |
| 4.2 Aplicações na agricultura |
| 4.2.1 Controle de insetos |
| 4.2.2 Estudo do metabolismo das plantas |
| 4.2.3 Conservação de alimentos |
| 4.3 Aplicações na indústria |
| 4.3.1 A Gamagrafia |
| |
| • Unidade 5: Fissão e Fusão Nuclear |
| 5.1 A origem da energia contida no núcleo atômico |
| 5.2 A energia de ligação e a estabilidade do núcleo atômico |
| 5.3 A Fissão Nuclear |
| 5.3.1 Princípios da fissão nuclear |
| 5.3.2 Modelo da gota líquida |
| 5.3.3 Reação nuclear em cadeia |

| | |
|-------|---|
| 5.3.4 | A fissão nuclear e as bombas atômicas |
| 5.3.5 | Diferença entre o material físsil e fissionável |
| 5.4 | A Fusão Nuclear |
| 5.4.1 | Princípios da fusão nuclear |
| 5.4.2 | Reatores Nucleares a fusão |
| 5.4.3 | Desafio energético |
| | |
| | • Unidade 6: Produzindo Eletricidade |
| 6.1 | As matrizes elétricas brasileiras |
| 6.1.1 | Comparando os princípios de funcionamento de uma usina hidrelétrica e uma usina nuclear |
| 6.1.2 | O papel do gerador elétrico |
| 6.2 | Conhecendo o Brasil Nuclear |
| 6.2.1 | Usinas de Angra 1 e 2 |
| 6.2.2 | Capacidade de produção e tecnologia dos seus reatores |
| 6.2.3 | Reservas Naturais de Urânio no Brasil |
| 6.3 | O Ciclo do Urânio |
| 6.3.1 | O enriquecimento do urânio |
| 6.3.2 | A fabricação das pastilhas de combustível nuclear |
| 6.4 | A arquitetura funcionamento e segurança dos reatores nucleares |
| 6.4.1 | Reatores do tipo PWR |
| 6.4.2 | As varetas de combustível – 1º barreira de contenção |
| 6.4.3 | A Montagem do elemento combustível |
| 6.4.4 | As barras de controle |
| 6.4.5 | O vaso de pressão do reator – 2º barreira de contenção |
| 6.4.6 | A carcaça de aço – 3º barreira de contenção |
| 6.4.7 | O Edifício do reator – 4º barreira de contenção |
| 6.5 | O Plano de Emergência em Angra dos Reis |
| 6.5.1 | As zonas de emergência |
| 6.5.2 | Os materiais informativos à população |
| 6.7 | Os Rejeitos Radioativos |
| 6.7.1 | Rejeitos de baixa radioatividade (RBA) |
| 6.7.2 | Rejeitos de média radioatividade (RMA) |
| 6.7.3 | Rejeitos de alta radioatividade (RAA) |
| 6.7.4 | Formas de armazenamento dos rejeitos radioativos |
| | |
| | • Unidade 7: Acidentes envolvendo radioatividade |
| 7.1 | Acidente nuclear de Chernobyl |
| 7.2 | Acidente nuclear de Three Mile Island |

| |
|--|
| 7.3 Acidente nuclear de Fukushima |
| 7.4 Acidente radiológico com Césio-137 em Goiânia |
| 7) ESTRATÉGIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM |
| <ul style="list-style-type: none"> • Será construído um material didático a ser disponibilizado ao estudante, sem, necessariamente, seguir uma estrutura rígida dos tópicos levantados no conteúdo programático. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Serão preparadas aulas expositivas, seguindo o material didático, mas sempre instigando o diálogo professor-aluno-professor, e aluno-aluno. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Em período paralelo serão realizadas sessões com documentários que permitam conhecer melhor alguns eventos importantes envolvendo a energia nuclear e suas radiações, assim como, estabelecendo uma discussão que rompa com alguns mitos envolvendo a neutralidade do conhecimento científico. |
| <ul style="list-style-type: none"> • A turma será dividida em grupos, desde o primeiro dia de aula, com temas específicos a serem trabalhados durante o bimestre e a consequente exposição destes por meio de um vídeo. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Os grupos irão expor suas pesquisas durante a “mostra cultural” da escola. |

| |
|---|
| CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM |
| <ul style="list-style-type: none"> • No decorrer das aulas os alunos serão avaliados de forma contínua quanto à sua participação e evolução de suas intervenções frente ao assunto abordado. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Será pedido um relatório de impressões após cada documentário exibido, assim como, ao final do bimestre letivo em relação aos estudos efetivados. |
| <ul style="list-style-type: none"> • A turma será dividida em grupos, com temas específicos, e produzira um vídeo a ser apresentado no final do bimestre letivo. |

| |
|--|
| BRIBLIOGRAFIA BÁSICA |
| <ul style="list-style-type: none"> • Material didático, feito por nós e disponibilizado aos alunos. |

- BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. **Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional.** PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.

APÊNDICE 4 PLANO DE AULA Nº 01

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: junho/2016

Duração: 180 min (4 horas-aula)

Tema da aula: “Precisamos discutir nossa opção nuclear.”

Objetivo Geral:

- Apresentar a temática nuclear por meio de informações e questionamentos que justifiquem a necessidade de ampliarmos o debate e reivindicarmos participação nas decisões sobre a questão nuclear no Brasil.

Objetivos Específicos:

- Explicar do que se trata a energia nuclear.
- Evidenciar a falta de discussões públicas sobre o tema;
- Justificar a necessidade de nos informarmos mais, e melhor, sobre o assunto.
- Socializar informações contidas no Plano Nacional de Energia e suas intenções no setor nuclear brasileiro a curto e médio prazo.
- Problematizar algumas mistificações, preconceitos e medos, amplamente difundidos pelo senso comum e meios de informação.
- Salientar a importância de alguns conhecimentos específicos na realização de um debate melhor qualificado.
- Enfatizar a conjuntura de crise energética pela qual estamos passando e que irá se acentuar nas próximas décadas.
- Identificar limitações no setor hidrelétrico e o porquê, sozinho, não conseguirá dar conta da crise energética.
- Instigar os alunos à busca de soluções à crise energética.
- Apresentar a estrutura de abastecimento energético na matriz elétrica brasileira enfatizando o papel do setor nuclear.
- Anunciar alguns aspectos do funcionamento do reator nuclear de 2ª geração, do tipo PWR, utilizado nas usinas nucleares de Angra dos Reis;

- Relatar o potencial nuclear brasileiro a partir de suas reservas naturais de urânio.
- Discutir alguns aspectos do aquecimento global e de que forma a produção de energia nucleoeleétrica se propõe a auxiliar na transformação deste quadro.
- Apresentar algumas das vantagens e desvantagens da produção elétrica nuclear;
- Indicar a estrutura do material didático que têm em mãos, assim como, o processo avaliativo bimestral.

Conteúdo Físico:

- Introdução à energia nuclear;
- Aspectos do funcionamento de um reator nuclear;
- Aspectos físicos do aquecimento global;

Recursos instrucionais:

- Material didático;
- Projetor multimídia e computador;

➤ *Aulas 1 e 2 (90min)*

- **Momento 1:** Problematização a partir do texto contido no material didático: “Carta ao estudante: Precisamos debater nossa opção nuclear”.

Dinâmica:

- ✓ O texto será disponibilizado aos alunos, os quais em grupos de 4 estudantes, lerão e discutirão aspectos nele inclusos;
- ✓ Ao final da atividade, no mínimo um integrante de cada grupo irá expor as impressões e discussões levantadas pelos colegas ao lerem o trecho solicitado;
- ✓ Em seguida, dúvidas e questionamentos sobre o texto serão discutidas com o professor e abertas às intervenções dos demais colegas;
- ✓ Enfatizar o modelo hidrelétrico e suas limitações diante da crise energética;

➤ Aulas 3 e 4 (90 min)

- **Momento 2:** A partir das discussões na aula anterior, será feita uma exposição de algumas questões relacionadas ao contexto nuclear brasileiro.

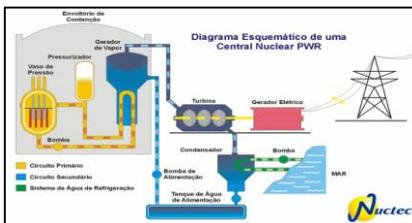
Dinâmica:

- ✓ No início das aulas desta semana, será exibido um vídeo, com tempo aproximado de dois minutos, disponibilizado pela Eletronuclear, o qual apresentará o que é, e de onde vem, a energia nuclear.



Vídeo 1: Energia nuclear em 2 minutos.
<https://www.youtube.com/watch?v=Ozx iQdmTD58>

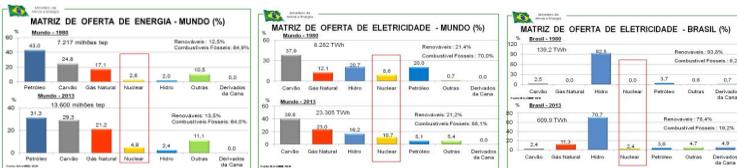
- ✓ A partir do vídeo, por meio de uma imagem animada do tipo Gif, discutiremos alguns aspectos no funcionamento de um reator nuclear de 2ª geração, mesma tecnologia dos utilizados em Angra dos Reis.



- **Momento 3:** Apresentação de dados sobre a matriz elétrica mundial e brasileira, assim como, informações sobre o programa nuclear brasileiro, além do aumento na demanda devido ao crescimento populacional e a consequente crise energética.

Dinâmica:

- ✓ Apresentar alguns gráficos disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) com o comparativo entre: –Matriz de oferta de energia no mundo; –Matriz de oferta de eletricidade no Mundo; – Matriz de oferta de eletricidade no Brasil em 2013;



✓ Apresentar e discutir um argumento utilizado pelos especialistas via um comparativo entre o consumo médio de energia por habitante, nos diferentes países da Europa, e o acesso a melhores condições de vida e desenvolvimento humano.



✓ A partir de dados referentes ao nosso processo civilizatório, discutir o crescimento populacional e o aumento da demanda de energia, acentuando a crise energética no país nos próximos anos.

Crescimento Populacional X Demanda Energética

Praticamente - durante todos os 50 mil anos, desde que os primeiros humanos apareceram - a população mundial nunca excedeu 10 milhões. Então, em algum ponto nos últimos 2 mil anos, alguma coisa ocorreu.

- Levou 50 mil anos para que a população chegasse a 1 bilhão.
- Um pouco mais de um século para chegar a 2 bilhões.
- Em torno de 33 anos para chegar a 3 bilhões.
- Quatorze anos para chegar a 4 bilhões.
- Treze anos para chegar a 5 bilhões de anos.
- Doze anos para chegar a 6 bilhões.

➢ Hoje somos 6,6 bilhões de pessoas e em 2050 seremos aproximadamente 9 bilhões.

UFSC INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

Crescimento Populacional X Demanda Energética

Entre hoje e 2050, enquanto a população mundial vai passar de 6,6 bilhões para 9 bilhões, a humanidade não de consumir mais energia do que o total utilizado em toda a história passada.

Segundo os padrões predominantes de uso de energia, os resultados vão mostrar ser catastróficos. Além de poluição, a concentração intensificada de gases de efeito estufa vai chegar a um ponto sem retorno, em direção a uma catástrofe climática.

UFSC INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

○ **Momento 4:** Alavancar a discussão sobre nossas escolhas energéticas e o aquecimento global.

Dinâmica:

✓ Apresentar a compreensão Física envolvida na explicação do efeito estufa, caracterizando o aquecimento global como um agravante deste fenômeno por meio da ação do homem.

✓ Listar algumas das consequências advindas do aquecimento global.

Aquecimento Global, o que é?

ENTENDA O EFEITO ESTUFA

1 Com a ajuda do efeito estufa, a temperatura média da Terra é mantida em níveis adequados para a vida. Sem ele, a temperatura média da Terra seria muito mais baixa, tornando a vida impossível.

2 O efeito estufa é um fenômeno natural. Ele retém o calor na superfície da Terra, aquecendo-a. Sem ele, a temperatura média da Terra seria muito mais baixa, tornando a vida impossível.

3 Os responsáveis por esse aquecimento são os gases de efeito estufa, que são liberados na atmosfera durante a queima de combustíveis fósseis.

4 A presença de CO₂ na atmosfera é necessária para a vida. Porém, a concentração de CO₂ na atmosfera está aumentando rapidamente devido à queima de combustíveis fósseis.

www.CursoGratisOnline.com.br

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Consequências do Aquecimento Global:

As consequências do aumento de temperatura são graves para todos os seres vivos, incluindo o homem.

Algumas destas consequências:

- ✓ Extinção de alguns espécimes animais e vegetais;
- ✓ Derretimento das calotas polares e elevação do nível do mar;
- ✓ Alteração na frequência e intensidade de chuvas;
- ✓ Eventos meteorológicos violentos;
- ✓ Secas generalizadas, inundações, queimadas;
- ✓ Migrações maciças e epidemias de pestilências e doenças;
- ✓ Impacto direto na produção de alimentos.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

- **Momento 5:** Das vantagens e desvantagens no uso da energia nuclear.

Dinâmica:

- ✓ Pedir à turma que relate situações onde podem ser aplicadas a energia nuclear;
- ✓ Discutir algumas de suas vantagens e desvantagens;
- ✓ Finalizar a aula com o vídeo de um debate protagonizado por Mark Z. Jacobson e Stewart Brandt.



Vídeo 2: https://www.ted.com/talks/debate_does_the_world_need_nuclear_energy?language=pt-br

REFERÊNCIAS:

Para os estudantes

- Material didático preparado pelo próprio professor.

- **BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional. PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.**

APÊNDICE 5 PLANO DE AULA Nº 02

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: junho/2016

Duração: 90 min (2 horas-aula)

Tema da aula: “Introdução ao modelo atômico de nucleons.”

Objetivo Geral:

- Reascender os conhecimentos e habilidades necessários, já desenvolvidos no 1º ano do ensino médio, à compreensão do modelo atômico de nucleons.

Objetivos Específicos:

- Perceber os argumentos comuns da estrutura da matéria sob uma concepção de continuidade, como algo infinitamente divisível;
- Evidenciar a importância da discussão filosófica de Leucipo e Demócrito na construção do ideário atomístico;
- Salientar a importância de Dalton e o advento da ciência experimental na construção do primeiro arquétipo explicativo para o modelo atômico;
- Discutir o que significa um modelo e as diferentes transformações, ou revoluções, na forma como se concebe a matéria em nível estrutural nos dias de hoje;
- Apresentar o átomo em termos de núcleo e eletrosfera.
- Relembrar as principais características dos prótons, nêutrons e elétrons.
- Enfatizar a Física atômica enquanto uma interpretação de colisões entre partícula e núcleo, nas quais os resultados observados dependem da energia das partículas colisoras;
- Discutir a representação simbólica de um elemento, tal como utilizaremos durante o curso;
- Definir o que são Isótopos;

Conteúdo Físico:

- Modelo atômico de Nucleons;
- Características específicas aos prótons, nêutrons e elétrons;
- Representação simbólica de um elemento químico;
- Definição de elementos isótopos;

Recursos instrucionais:

- Material didático;
 - Projetor multimídia e computador;
- **Momento 1:** Problematização sobre a estrutura da matéria em uma concepção contínua.

Dinâmica:

✓ Aula expositiva com apresentação de slides e problematização da figura ao lado.

✓ Enfatizar o papel dos filósofos Leucipo e Demócrito no processo de construção teórica do ideário atomístico;

✓ Explorar a contribuição de Dalton com o advento da ciência experimental;

✓ Discutir a concepção de modelo atômico dentro do seu caráter histórico de provisoriedade, comparando o modelo de Dalton com o modelo de nucleons que iremos apresentar a seguir;



- **Momento 2:** Apresentação do modelo atômico de nucleons; (15 min)

Dinâmica:

- ✓ Aula expositiva com apresentação de slides;
 - ✓ Apresentar a estrutura do átomo diante da sua subdivisão entre núcleo e eletrosfera, discutindo as características de cada um e enfatizando na interação da força forte na região de raio nuclear;
 - ✓ Relembrar as características dos prótons, nêutrons e elétrons;
- **Momento 3:** Apresentação das partículas elementares do modelo padrão;

Dinâmica:

- ✓ Compreender a observação destas partículas dentro de uma perspectiva da energia contida na partícula colidora com o núcleo;
 - ✓ Salientar a existência de antipartículas, fótons e os neutrinos do elétron, fundamentais na discussão sobre os tipos de radiação;
- **Momento 4:** Apresentação simbólica de um elemento químico e a definição de isótopo.

Dinâmica:

- ✓ Por meio dos slides relembrar a importância do número atômico na determinação do elemento químico;
- ✓ Relembrar a relação entre Massa (A), número atômico (Z), e número de nêutrons (N), $A=Z+N$;
- ✓ Apresentar como é representado simbolicamente um elemento químico X ;
- ✓ Discutir o que são elementos isótopos;

REFERÊNCIAS:

Para os estudantes

- **Material didático preparado pelo próprio professor.**
- **BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional. PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.**

APÊNCICE 6
PLANO DE AULA Nº 03

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: Junho/2016

Duração: 135 min (3 horas-aula)

Tema da aula: “Radiações.”

Objetivo Geral:

- Desmistificar o ideário sobre radiações, reconhecendo as regularidades e características físicas das radiações ionizantes e radioatividade Alfa, Beta e Gama.

Objetivos Específicos:

- Identificar os diferentes tipos de radiação inerentes ao nosso cotidiano, reconhecendo-as no espectro eletromagnético;
- Evidenciar a importância da radiação à reprodução da vida humana;
- Salientar as diferenças entre a radiação não ionizante e a radiação ionizante;
- Apresentar os raios-X enquanto radiação ionizante com origem na eletrosfera;
- Discutir os motivos físicos que levam à instabilidade de um núcleo atômico;
- Enfatizar o significado de radioatividade diferenciando da aceção comum do termo radiação;
- Apresentar e discutir as radiações ionizante do tipo Alfa (α), Beta (β) e Gama (γ) no horizonte de seus processos físicos enquanto decaimento;
- Discutir a lei geral do decaimento radioativo, apresentando, a partir desta, uma noção sobre atividade atômica;
- Apresentar o conceito de Meia Vida;
- Identificar as séries radioativas naturais do Urânio-238, Actínio e Tório-232;
- Reconhecer as unidades de medidas da radiação, avaliando os limites primários à exposição;

- Discutir a diferença entre exposição à radiação e contaminação radioativa;

Conteúdo Físico:

- O espectro eletromagnético e os diferentes tipos de radiação;
- Radiações Ionizantes e não Ionizantes;
- Princípios da desintegração radioativa e a radioatividade;
- Decaimento α ;
- Decaimento β ;
- Decaimento γ ;
- Lei do Decaimento Radioativo;
- Meia vida;
- Séries radioativas naturais;
- Unidades de medidas radiológicas;

Recursos instrucionais:

- Projetor multimídia e computador;
- Quadro Branco;
- Pincéis atômicos diversos;
- Material didático;

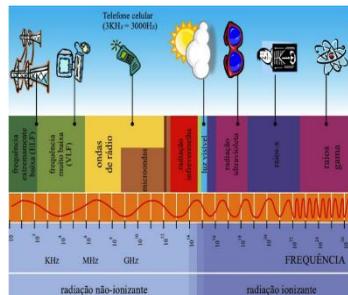
- **Momento 1:** Problematização da concepção comum de radiação;

Dinâmica:

- ✓ Aula expositiva com apresentação de slides.

✓ Problematizar a concepção de radiação pelos alunos enquanto algo necessariamente nocivo ao ser humano;

✓ Apresentar o espectro de radiações da figura ao lado, discutindo o quão comum a radiação é no nosso dia a dia;



- ✓ Diferenciar, a partir do espectro eletromagnético, as radiações do tipo ionizante e não ionizante;
 - ✓ Explorar características da interação das radiações ionizantes com o corpo humano;
 - ✓ Apresentar os raios-X enquanto radiação ionizante com origem na eletrosfera;
- **Momento 2:** Apresentação das radiações com origem nuclear;

Dinâmica:

- ✓ Aula expositiva com apresentação de slides;
 - ✓ Discutir a origem da instabilidade do núcleo atômico, finalizando com a concepção de radioatividade no campo da Física;
 - ✓ Diferenciar o ideário comum entre os termos radiação e radioatividade;
 - ✓ Apresentar e discutir características do decaimento alfa, beta e gama;
- **Momento 3:** Discutir alguns aspectos físicos ligados ao decaimento radioativo;

Dinâmica:

- ✓ Aula expositiva com apresentação de slides;
- ✓ Apresentar a lei geral do decaimento radioativo relacionando com a ideia de atividade atômica;
- ✓ A partir da compreensão sobre atividade atômica, introduzir a meia vida de um elemento atômico instável enquanto elemento chave na compreensão do processo de emissões radiativas nucleares;

✓ Em seguida, apresentar as três principais séries radioativas naturais;

○ **Momento 4:** Reconhecimento das principais unidades de medidas radiológicas e consequente diferença entre exposição e contaminação radioativa;

Dinâmica:

- ✓ Aula expositiva com apresentação de slides;
- ✓ Apresentar as principais unidades de medidas radiológicas;
- ✓ Discutir os limites primários na interação entre o corpo humano e a radioatividade, apontando possíveis sintomas de exposição excessiva;
- ✓ Enfim, desmistificar e diferenciar as compreensões em torno da exposição radioativa e contaminação radioativas;

REFERÊNCIAS:

Para os estudantes:

Material didático preparado pelo próprio professor.

BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. **Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional**. PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.

APÊNDICE 7 PLANO DE AULA Nº 04

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: Junho/2016

Duração: 90 min (2 horas aula)

Tema da aula: “Aplicações da Energia Nuclear.”

Objetivo Geral:

- Reconhecer as aplicações da energia nuclear na indústria, agricultura e medicina nuclear.

Objetivos Específicos:

- Perceber a importância do conhecimento nuclear quanto utilizada para fins pacíficos;
- Evidenciar a importância da medicina nuclear no diagnóstico e tratamento de doenças.
- Apresentar o CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura – localizado na Universidade de São Paulo e as diferentes formas de aplicação da radioatividade na agricultura;
- Fomentar um debate em torno da irradiação de alimentos, enfatizando a diferenciação entre contaminação e exposição à radioatividade;
- Salientar, a exemplo da gamagrafia, a relevância das aplicações da energia nuclear no setor industrial;

Conteúdo Físico:

- Radiações ionizantes e Radioatividade;
- Aplicações da energia nuclear na indústria, agricultura e medicina nuclear;

Recursos instrucionais:

- Material didático;
- Projetor multimídia e computador;

- **Momento 1** : Discutindo a avaliação da idade de fósseis a partir da datação do carbono-14.

Dinâmica:

✓ Apresentar a discussão sobre como são determinadas a idade cronológica de um determinado objeto, ou até mesmo, fóssil pré-histórico.

✓ Apresentar o vídeo 1: “Datação por Carbono-14”

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=pcKGpBgS8PQ>

✓ Enfatizar alguns dos conhecimentos específicos já trabalhados na compreensão deste processo de determinação da idade de um corpo ou objeto.

- **Momento 2:** Problematização da energia nuclear para além do papel de produção de eletricidade;

Dinâmica:

De forma dialógica, instigar uma discussão da energia nuclear sob os preceitos da dicotomia: boa ou ruim;

✓ Anotar alguns dos levantamentos feitos pelos alunos em torno da temática.

✓ Evidenciar a aplicação da energia nuclear para outros fins, que não a produção de eletricidade e a construção de bombas;

- **Momento 3:** Apresentar as aplicações da energia nuclear no campo da medicina;

Dinâmica:

✓ Aula expositiva com apresentação de slides;

✓ Evidenciar sua utilização em radiodiagnósticos e tratamento de doenças como o câncer;

- ✓ Problematizar: Alguém conhece alguma pessoa que tenha utilizado um tratamento radioterápico para o tratamento de um câncer? Quem, em sua consciência, estaria disposto a abrir mão da radioterapia se esta lhe desse esperanças de se salvar, ou salvar a vida de um ente querido?
- ✓ Definir os radioisótopos e radiofármacos;
- ✓ Exibir um vídeo (4 min e 23 s) sobre: O que é a Medicina Nuclear?
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=aJ4zZyDonh4>
- **Momento 4:** Apresentação das aplicações da energia nuclear na área da agricultura;

Dinâmica:

- ✓ Demarcar a existência do - Centro de Energia Nuclear na Agricultura- localizado na Universidade Federal de São Paulo.
- ✓ Exibir um vídeo, do CENA, (14 min) sobre os ramos onde hoje o Brasil estuda e aplica o conhecimento em energia nuclear na agricultura;
Fonte: <http://iptv.usp.br/portal/video.action?idItem=1910>
- ✓ Dar ênfase na discussão sobre a técnica de irradiação de alimentos, tendo uma maior atenção na não reprodução do erro envolvendo as ideias de contaminação e exposição à radioatividade.
- ✓ Você comeria ou não um alimento que sabidamente foi irradiado?
- **Momento 5:** Aplicações da energia nuclear na indústria.

Dinâmica:

- ✓ Relembrar as ideias em torno da impressão de chapas radiográficas por meios de raios-X;

- ✓ Apresentar a Gamagrafia e sua relação de importância direta com a segurabilidade no setor aeronáutico;
- ✓ Apresentar um vídeo sobre a radiologia industrial (8min)
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3eyiF0iUpKU>

REFERÊNCIAS:

Para os estudantes:

Material didático preparado pelo próprio professor.

BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. **Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional**. PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.

APÊNDICE 8 PLANO DE AULA Nº 05

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: Julho/2016

Duração: 135 min (3 horas-aula)

Tema da aula: “Fissão e Fusão Nuclear.”

Objetivo Geral:

- Compreender os processos de extração da energia contida no núcleo atômico pela fissão e fusão nuclear;

Objetivos Específicos:

- Indicar a origem da energia contida no núcleo atômico;
- Discutir o papel da energia de ligação na estabilidade do núcleo atômico;
- Discutir o mecanismo de obtenção da energia contida no núcleo pelo processo de fissão;
- Apresentar, diante da ideia de reação em cadeia, os princípios físicos na operação de uma bomba nuclear;
- Explicitar a diferença entre material físsil e fissionável;
- Compreender a importância da fusão nuclear no interior das estrelas à manutenção da vida humana;
- Discutir a Física, e as condições, para que ocorra a fusão entre os núcleos atômicos de átomos distintos.
- Vislumbrar o funcionamento de um reator nuclear a fusão;
- Destacar os obstáculos tecnológicos frente à eficiência energética dos atuais reatores de fusão e apresentar um panorama caso no futuro consigamos encontrar uma solução ao problema.

Conteúdo Físico:

- Princípios relativísticos de não conservação da massa atômica;
- Energia de ligação nuclear;
- Fissão Nuclear;

- Diferença entre materiais físséis e fissionáveis;
- Enriquecimento do Urânio;
- Fusão Nuclear;

Recursos instrucionais:

- Material didático;
- Projetor multimídia e computador;

○ **Momento 1:** Problematização sobre a origem da tão cobiçada energia contida no núcleo atômico;

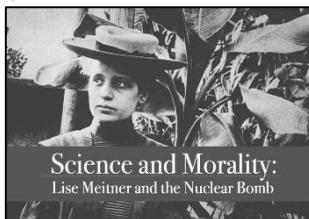
Dinâmica:

Questionar, por meio do somatório individual da massa de prótons e nêutrons do átomo de Carbono-12, o princípio de conservação de massa atribuído à mecânica newtoniana. Para onde foi a diferença de massa evidenciada entre o somatório de cada parte individual do núcleo de C-12 e sua massa total?

✓ Apresentar uma ideia sobre a relação massa-energia na teoria relativística;

✓ Discutir o papel da energia de ligação do núcleo atômico;

✓ Introduzir alguns dos desdobramentos históricos percorridos na busca por maneiras de extração da energia contida no núcleo dos átomos. Desde os experimentos de Otto Ham e Fritz Strassmann, o papel de Lise Meitner e a segunda guerra mundial enquanto elemento determinante na legitimação da energia nuclear enquanto problema a ser resolvido.

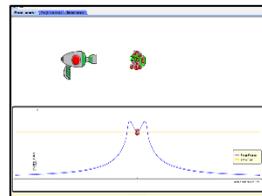


○ **Momento 2:** Apresentar e discutir os princípios físicos da fissão nuclear;

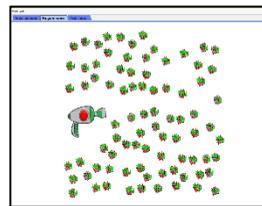
Dinâmica:

- ✓ Discutir a fissão nuclear por meio do modelo de gota líquida;
- ✓ Trabalhar visualmente a fissão de um núcleo atômico de U-235 por meio de um aplicativo de simulação computacional da fissão atômica.

Fonte:



Simulação da fissão nuclear.



https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission

- ✓ Compreender, dentro dos preceitos físicos já discutidos, a representação simbólica do fenômeno de fissão de um átomo de urânio;

- ✓ Apresentar as condições para ocorrência de uma reação em cadeia autossustentável de fissões nucleares;

Simulação de uma reação em cadeia autossustentável.

- ✓ Apresentar e discutir a reação em cadeia por meio do aplicativo de simulação computacional no aplicativo já mencionado;

- **Momento 3:** A bomba atômica e os materiais físseis e fissionáveis;

Dinâmica:

- ✓ Apresentar os princípios físicos no funcionamento da bomba nuclear lançada sobre a cidade de Hiroshima, no Japão.
- ✓ Em seguida, exibir o vídeo: A Fabricação de uma bomba nuclear.
Fonte: http://www.dailymotion.com/video/x2h1hc5_a-fabricacao-de-uma-bomba-nuclear_news
- ✓ Por meio do aplicativo de simulação computacional já apresentado, realizar a colisão de um nêutron com o U-235 e U-

238, introduzindo uma discussão entre a diferença de materiais físseis e fissionáveis;

- ✓ Fazendo um gancho com os materiais físseis, demonstrar a importância, assim como as diferenças, no processo de enriquecimento do urânio para a confecção de bomba e pastilhas de combustível nuclear.
 - ✓ Evidenciar, por meio do processo de enriquecimento do urânio, a impossibilidade de uma usina nuclear se tornar, durante um processo falho do seu reator, numa bomba de fissão nuclear.
- **Momento 4:** A fusão do núcleo enquanto futuro da energia atômica.

Dinâmica:

- ✓ Apresentar a importância das reações nucleares no interior da nossa estrela mãe, o Sol, para a manutenção da vida na terra;
- ✓ Discutir os princípios físicos da fusão entre dois núcleos, assim como as condições para que este seja possível de acontecer;
- ✓ Compreender as ideias envolvidas no funcionamento de um reator de fusão do tipo Tokamak.
- ✓ Exibir o vídeo (5min e 48s): Discovery Channel – Energia a Fusão
Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=AmKfL_ixWPY
- ✓ O problema de eficiência energética dos reatores Tokamak e uma visão do futuro na área nuclear;

REFERÊNCIAS:

Para os estudantes:

Material didático preparado pelo próprio professor.

BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. **Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional**. PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.

APÊNDICE 9 PLANO DE AULA Nº 06

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: Julho/2016

Duração: 90 min (2 horas-aula)

Tema da aula: “Produzindo Eletricidade.”

Objetivo Geral:

- Introduzir as discussões sobre o processo de produção de eletricidade.

Objetivos Específicos:

- Problematizar a importância da energia elétrica na sociedade moderna.
- Apresentar a matriz elétrica brasileira fazendo um recorte da fatia atendida pelas duas usinas nucleares em Angra dos Reis.
- Estabelecer uma relação entre o modo de produção de eletricidade da usina hidrelétrica e a termonuclear de Angra dos Reis;
- Apresentar o gerador elétrico enquanto ponto comum entre diferentes tipos de formas de geração de energia, compreendendo, mesmo que de forma simplificada, os princípios físicos no seu funcionamento;
- Repassar informações comuns sobre a tecnologia e produção elétrica de Angra I e Angra II, assim como as previsões feitas para Angra III, em fase final de construção.
- Apresentar o Brasil enquanto a sétima potência planetária em recursos naturais de urânio;
- Possibilitar aos alunos um melhor entendimento sobre o ciclo de transformações do metal de urânio até as pastilhas de urânio enriquecido.

Conteúdo Físico:

- Matriz elétrica brasileira;

- Transformação de energia mecânica em energia elétrica;
- Ciclo do Urânio;
- Informações gerais sobre a central nuclear de Angra dos Reis.;

Recursos instrucionais:

- Material didático;
- Projetor multimídia e computador;

- **Momento 1:** Conhecendo a matriz elétrica Brasileira;

Dinâmica:

Aula expositiva apresentando a matriz elétrica brasileira;

✓ Discutir o contexto nuclear no Brasil, assim como as novas usinas nucleares já previstas no plano nacional de energia;

✓ Principais usinas hidrelétricas no Brasil.

✓ Apresentar vídeo do link a seguir (3min e 47s) e discutir, com auxílio do texto no material didático, o funcionamento de uma hidrelétrica;

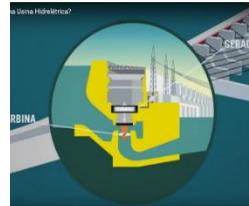
Fonte: <http://migre.me/vlBFR>

✓ Comparando a produção de energia de uma usina hidrelétrica e uma usina nuclear.

✓ Apresentar o vídeo: Energia nuclear em 2 minutos.

Fonte: <http://migre.me/vlBGI>

✓ Discutir o gerador elétrico enquanto ponto comum entre os diversos tipos de fonte energética das nossas usinas elétricas.



Vídeo 1: Como funciona uma Hidrelétrica

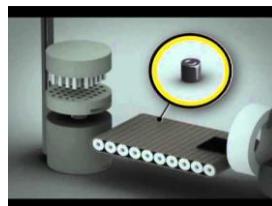


Vídeo 2: Energia Nuclear em 2 minutos.

- **Momento 2:** Socializar informações comuns às usinas nucleares brasileiras;

Dinâmica:

- ✓ Apresentar a tecnologia dos reatores nucleares das três usinas de Angra, isso é, reatores de água leve do tipo PWR.
- ✓ Informar dados sobre Angra I, II e III, referente ao tempo de operação comercial, território ocupado e potencial bruto de produção elétrica, relacionando cada uma à sua capacidade de abastecimento.
- ✓ Evidenciar o Brasil enquanto potência em recursos naturais de urânio.
- ✓ Realizar um passo a passo desde a mineração do urânio até a produção das pastilhas de combustível;
- ✓ Apresentar vídeo da INB sobre o ciclo do Urânio.
Fonte: <http://migre.me/vlBJm>
- ✓ Curiosidades sobre a extração do urânio e segurança dos trabalhadores no garimpo deste mineral;



Vídeo 3: Ciclo do Urânio - INB

REFERÊNCIAS:

Para os estudantes:

Material didático preparado pelo próprio professor.

BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. **Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional**. PNL D 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.

APÊNDICE 10 PLANO DE AULA Nº 07

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: Julho/2016

Duração: 90 min (2 horas-aula)

Tema da aula: “Arquitetura dos reatores nucleares de Angra dos Reis.”

Objetivo Geral:

- Compreender o funcionamento de um reator nuclear do tipo PWR.

Objetivos Específicos:

- Indicar aspectos considerados durante o planejamento de uma instalação nuclear como Angra dos Reis.
- Caracterizar o reator PWR em seus três sistemas independentes: circuito primário, secundário e sistema de refrigeração.
- Apresentar os componentes de um reator nuclear assim como compreender a função de cada um deles no processo de produção de energia elétrica;
- Identificar as barreiras de contenção à radioatividade na estrutura de uma usina nuclear;
- Apresentar o reator nuclear utilizado em pesquisas na área, localizado na USP, o IEA-R1.
- Discutir o plano de emergência em Angra dos Reis caso ocorra algum incidente grave;
- Classificar os rejeitos radioativos e apontar suas formas de armazenamento hoje existentes no Brasil.

Conteúdo Físico:

- Engenharia de um reator nuclear;
- Transformação de energia mecânica em energia elétrica;
- Segurança nuclear;
- Classificação dos rejeitos atômicos;

Recursos instrucionais:

- Material didático;
- Projetor multimídia e computador;

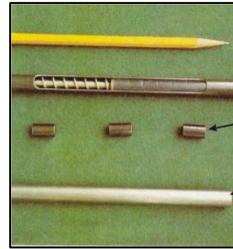
○ **Momento 1:** Arquitetura de um reator do tipo PWR: Circuito Primário;

Dinâmica:

Apontar a importância do estudo dos acidentes nucleares passados para os projetos de usinas no presente e futuro, assim como os eventos de risco levados em conta durante o planejamento de uma instalação nuclear.;

✓ Trazer de volta a discussão sobre os processos envolvidos desde a mineração até a produção da pastilha de combustível nuclear;

✓ Por meio da apresentação das varetas de combustível, trabalhar a ideia desta enquanto primeira barreira de contenção à radioatividade;



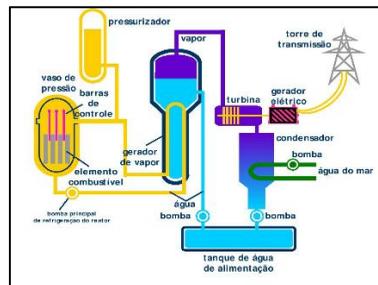
Pastilhas e varetas utilizadas no elemento combustível.

✓ Vislumbrar aspectos da montagem do elemento combustível no núcleo do reator;

✓ Consolidar a importância das barras de controle no núcleo do reator enquanto mecanismo de segurança. Os absorvedores de nêutrons.

✓ Evidenciar o vaso de pressão enquanto segunda barreira de contenção à radioatividade;

✓ Acentuar a discussão em torno do grau de importância exercido pelo pressurizador na tecnologia PWR, reatores de 2ª geração.



Reator nuclear de 2ª geração - PWR

- ✓ Construir um imaginário na relação direta do gerador de vapor na comunicação entre os circuitos primário e secundário;
- ✓ Mostrar a importância na independência entre os circuitos.;
- **Momento 2:** Arquitetura de um reator do tipo PWR: Circuito secundário e sistema de refrigeração;

Dinâmica:

- ✓ Apresentar o caminho percorrido pelo vapor de água no circuito secundário, desde o gerador de vapor até as turbinas do reator, acionando o gerador elétrico.
- ✓ Salientar a importância do sistema de refrigeração e sua função na manutenção da temperatura do condensador;
- ✓ Mostrar que o sistema secundário e terciário são independentes, assim como, os motivos de segurança que implicam nesta necessidade;
- ✓ Indicar a mudança no estado físico do fluido na transição entre turbinas e condensador, assim como os processos pelo qual irá passar até reiniciar o ciclo do circuito secundário no gerador de vapor;
- ✓ Recapitular os dois primeiros mecanismos de contenção da radioatividade, isto é, as varetas de combustível e o vaso de pressão e mostrar as carcaças de aço que envolvem os reatores de Angra I e II, suas peculiaridades em cada usina, assim como indica-la como terceira barreira de contenção à radioatividade.
- ✓ Revelar o edifício do reator enquanto 4º mecanismo de contenção, além de medida de segurança contra possíveis impactos externos;
- **Momento 3:** Plano de Emergência em caso de acidentes na usina de Angra;
- - ✓ Apresentar o plano de emergência na usina de Angra dos Reis, comparando com a falta de preparo em outros acidentes nucleares.

- ✓ Exibir o vídeo construído e divulgado pela Eletronuclear sobre o plano de emergência de Angra dos Reis (7min e 33s).

Fonte:



<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/PlanodeEmerg%C3%A2ncia.aspx>

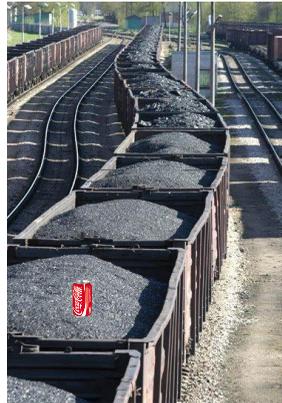
○ **Momento 4:** Rejeitos Radioativos;

- ✓ Definir rejeitos radioativo, ou lixo atômico, conforme determinações da CNEN;

- ✓ Classificar os rejeitos radioativos de acordo com sua atividade;

- ✓ Comparar a produção de lixo atômico, em relação ao de carvão, na produção de eletricidade, durante toda uma vida, para uma pessoa;

- ✓ Depósitos de rejeitos no Brasil;



REFERÊNCIAS:

Para os estudantes:

Material didático preparado pelo próprio professor.

BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. **Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional.** PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.

APÊNDICE 11: PLANO DE AULA Nº 08

Professor: Paulo Sérgio Gai Montedo

Escola: EEB Simão José Hess - SJH

Série: 3ª

Turma: 3º3

Data: Julho/2016

Duração: 90 min (2 horas-aula)

Tema da aula: “Porquê, tecnologicamente, acidentes como os ocorridos em Chernobyl e Fukushima não se repetiriam nas usinas nucleares de Angra dos Reis?”

Objetivo Geral:

- Compreender as diferenças entre o funcionamento dos reatores do tipo BWR, PWR e RBMK.

Objetivos Específicos:

- Compreender os princípios de funcionamento dos reatores envolvidos nos acidentes de Fukushima e Chernobyl.
- Caracterizar as diferenças na operação entre os reatores PWR, BER e RBMK.
- Apresentar as situações que levaram aos acidentes de Fukushima e Chernobyl.
- Identificar as diferenças no projeto do reator de Angra I, II e III, que vieram no sentido de prevenir a possibilidade de reedição dos fator que levaram aos acidentes de Fukushima e Chernobyl.

Conteúdo Físico:

- Engenharia de um reator nuclear do tipo BWR e RBMK;
- Segurança nuclear;

Recursos instrucionais:

- Material didático;
- Projetor multimídia e computador;

- **Momento 1:** Arquitetura de um reator do tipo BWR.

Dinâmica:

✓ Apontar o BWR (Boiling Water Reactor) como a primeira geração dos reatores LWR (Light Water Reactors), isto é, àqueles que utilizam água leve enquanto elemento moderador e refrigerante, além de, como combustível, urânio enriquecido.

✓ Descrever o funcionamento do reator do tipo BWR a partir da figura 75 do material didático;

✓ Discutir os elementos que levaram ao acidente na central nuclear de Fukushima;

✓ Evidenciar as diferenças entre os reatores do tipo BWR e PWR;

✓ Pontuar porque o acidente de Fukushima poderia ter sido evitado caso o reator utilizado fosse do tipo PWR;

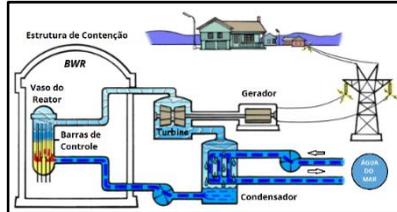


Figura 75: Esquema simplificado do funcionamento de uma usina nuclear com reator do tipo BWR

- **Momento 2:** Arquitetura de um reator do tipo RBMK.

Dinâmica:

✓ Apresentar o reator RBMK a partir de suas peculiaridades, elementos moderadores e de refrigeração, assim como, sua função na antiga União Soviética;

✓ A partir da figura 76 do material didático, discutir os princípios de funcionamento envolvidos no reator do tipo RBMK;

✓ Explicar quais os objetivos iniciais do teste realizado pela equipe responsável pelo funcionamento do reator em Chernobyl;

✓ Indicar as anormalidades que decorreram-se no núcleo do reator até sua explosão;

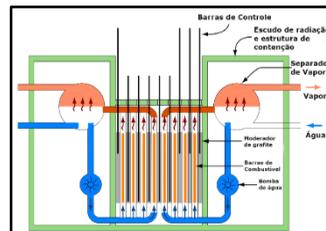


Figura 76: Esquema simplificado do funcionamento do núcleo de um reator do tipo RBMK.

- ✓ Evidenciar as diferenças no projeto das usinas nucleares de Angra dos Reis e de Chernobyl, os quais inviabilizam uma reedição do episódio na central nuclear brasileira.
- ✓ Revelar o edifício do reator enquanto 4º mecanismo de contenção, além de medida de segurança contra possíveis impactos externos;

REFERÊNCIAS:

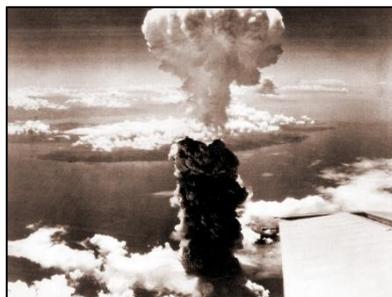
Para os estudantes:

Material didático preparado pelo próprio professor.

BISCUOLA, G. J; VILLAS BÔAS, N; DOCA, R. D. **Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional**. PNLD 2015 - 2017. 2 ed. São Paulo: Saraiva 2013.

APÊNDICE 12

| | |
|--|------------------------|
| Ficha do filme: “Hiroshima: O Dia Seguinte.” | |
| Plano de Trabalho: MNPEF-2016 | Nº da Ficha: 01 |
| Endereço eletrônico: https://www.youtube.com/watch?v=0Lc4kmd6uM | |



Data: Julho de 2016

Professor: Paulo Sérgio G. Montedo

Disciplina: Ensino de Física

1. FICHA TÉCNICA DO FILME:

Título do filme: Hiroshima: O Dia Seguinte.

Atores principais: Sobreviventes à bomba de Hiroshima.

Gênero: Documentário

Ano: 2012

Duração: 41 min

Direção: Desconhecida

Produção: National Geographic

2. SÍNTESE:

O documentário retrata o cenário de devastação pós lançamento da primeira bomba atômica sobre a sociedade civil, em Hiroshima, no dia 6 de agosto de 1945. Apresenta, inicialmente, a história da primeira bomba

atômica sob pontos de vista pessoais muito diferentes, o testemunho minuto a minuto daqueles cuja vida foi mais devastada pela bomba, os sobreviventes e o relatório da equipe científica e militar enviada a Hiroshima para analisar a potência desta nova arma que seu país deixou cair sobre uma cidade e seus moradores. Os profundos segredos da natureza haviam sido revelados. O poder das estrelas fora desatado e convertido em uma tecnologia mortal.

3. IDEIA OU MENSAGEM CENTRAL DO FILME:

O documentário valoriza a dimensão emotiva, a imaginação e a sensibilidade do seu espectador frente ao poder de devastação de uma arma de destruição em massa como a bomba lançada em Hiroshima. Demonstra a preocupação em delimitar os vários estágios envolvidos em uma explosão atômica, do impacto às mazelas da radioatividade, além da resposta do povo japonês ao evento: “Uma única bomba modificou tudo. Nós precisamos aprender. Não podemos cometer o mesmo erro”.

4. QUESTÕES PARA APROVEITAMENTO PEDAGÓGICO:

- Desenvolve alguns dos princípios da engenharia envolvida na construção da bomba atômica, assim como o caráter, altamente sigiloso, no seu processo de concepção e utilização enquanto arma.
- Apresenta o avanço científico e tecnológico na área nuclear impulsionado pela guerra. Neste sentido, permite problematizar o contexto e interesses sociais que legitimam a área nuclear enquanto problema científico a ser pesquisado. Desta forma, é possível problematizar a visão positivista da neutralidade na produção do conhecimento científico.
- Aos 14 min e aos 28min, apresenta o cenário físico envolvido na explosão da little boy.

- Em maior grau, aos 30 minutos, a discussão sobre radioatividade toma corpo. Apresenta-se a manifestação de um inimigo invisível no pós bomba, a população começa e desenvolver sintomas de envenenamento radioativo. Inicia-se uma discussão em torno da falta de conhecimento científico, na época, em torno da exposição do ser humano a altos níveis de radiação. Apenas existiam estudos feitos em animais.
- Aos 34 min é possível ambientarmos uma discussão que envolve a ética no processo de produção do conhecimento científico em função de “um bem maior”.
- Problematizar o mito da ciência sempre benéfica, segura.

5. FRASES DE IMPACTO

- Frases dos cientistas incumbidos de analisar os efeitos da bomba: (39 min)

— “Não existe argumento mais forte em favor da paz, do que a imagem de Hiroshima devastada”.

— “Essas armas agem tão indiscriminadamente e são tão letais, que nós somos obrigados a classifica-las como armas de genocídio. Não há outra alternativa”.

- Frases dos sobreviventes: (40min)

— “Uma única bomba modificou tudo. Nós precisamos aprender. Não podemos cometer o mesmo erro.”

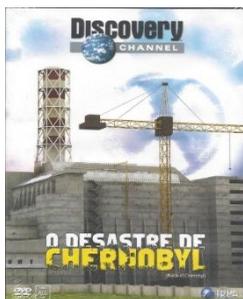
— “A melhor maneira de nos vingarmos do inimigo é aprendendo a perdoar. Eu espero que eu seja capaz de entregar aos meus filhos, um mundo melhor do que aquele que eu recebi, contando a história das lições que nós aprendemos. É isso que eu desejo”.

6. COMENTÁRIOS FINAIS E/OU SUGESTÕES:

O vídeo é muito bom e apresenta uma boa linguagem de comunicação para com os alunos, além de um tempo apropriado a ser desenvolvido durante o período de uma hora aula. Serve enquanto elemento de sensibilização frente aos efeitos devastadores desta tecnologia, instigando-os a conhecer e pesquisar mais sobre o poder de devastação das armas nucleares. Além do que, valoriza uma postura de superação ao evento e paz futura. Deixa implícita a mensagem de fim da produção de armamentos nucleares.

APÊNDICE 13

| | |
|--|------------------------|
| Ficha do filme: “O Desastre de Chernobyl” | |
| Plano de Trabalho: MNPEF-2016 | Nº da Ficha: 02 |
| Endereço eletrônico: https://www.youtube.com/watch?v=bv4AqZsfHs | |



Data: Julho de 2016

Professor: Paulo Sérgio G. Montedo

Disciplina: Ensino de Física

1. FICHA TÉCNICA DO FILME:

Título do filme: O Desastre de Chernobyl.

Atores principais: Não definido.

Gênero: Documentário

Ano: 2006

Duração: 95 min

Direção: Desconhecida

Produção: Discovery Channel

2. SÍNTESE:

O documentário retrata o acidente nuclear de Chernobyl, ocorrido no dia 26 de abril de 1986 e luta contra o tempo travada por milhares de soviéticos, a qual jamais poderá ser esquecida. Durante os oito meses que se seguiram à explosão da central nuclear, 800 mil jovens soldados,

mineiros, bombeiros e civis de todas as regiões da antiga União Soviética, trabalharam sem descanso na tentativa de diminuir os efeitos da radioatividade, e com isso tentar salvar o mundo de outra provável tragédia, uma segunda explosão. Apresenta não apenas os efeitos da explosão como os fatos que marcaram o ocorrido, como também, o escandaloso processo de manipulação das informações e falta de estudos oficiais que se seguem ao evento. Milhares de pessoas foram, e continuam sendo contaminadas pela radioatividade em Chernobyl e cidades vizinhas. Faz o retrato das mutações genéticas, provavelmente oriunda de uma alimentação com comida contaminada, das gerações futuras ao desastre e, por fim, alerta sobre os perigos da tecnologia nuclear.

3. IDEIA OU MENSAGEM CENTRAL DO FILME:

Valoriza o acesso à informação por parte do espectador sobre o que realmente ocorreu neste incidente. Tendo em vista a manipulação por parte do governo soviético e a barbárie protagonizada pelo inimigo invisível, a radioatividade, partilha de um sentimento de perplexidade sobre os rumos que a energia nuclear pode assumir em mãos humanas, além de refletir sobre o cuidados e a necessidade de maiores informações sobre os riscos imbricados às sociedades que trilham o caminho nuclear enquanto alternativa à crise energética.

4. QUESTÕES PARA APROVEITAMENTO PEDAGÓGICO:

- O vídeo é muito rico para a realização de uma discussão sobre os efeitos da radioatividade e sua caracterização enquanto inimigo invisível.
 - ❖ Um sabor estranho surge no paladar das pessoas da cidade (Iodo radioativo).
 - ❖ Equipamento fotográfico pifando, negativos escurecidos, imagens ruins, fotos expostas à radioatividade.
 - ❖ Os sintomas iniciais da exposição à radiação começam a aparecer, enjoos, náuseas, vômitos.
 - ❖ Deterioração da medula óssea e o aparecimento de queimaduras horríveis que destroem todos os tecidos.

- ❖ As máquinas fotográficas captavam a manifestação da radiação sendo emitida pelo chão.
- Aos 10 minutos a unidade de exposição à radioatividade, Roentgen, é apresentada, assim como os níveis aceitáveis e até mesmo aqueles que poderiam levar um ser humano à morte. Neste trecho, é interessante que o filme seja pausado e estes valores enfatizados, pois servirão de referência no decorrer do filme para compreender a exposição dos trabalhadores responsáveis pela descontaminação da área, os liquidadores, no pós acidente, assim como as consequências que isto trouxe à saúde destes.
- Roupas de chumbo passam a ser utilizadas pelos liquidadores. Qual a função do chumbo neste contexto?
- Para que serviam as pílulas de iodo que passaram a ingerir quando as primeiras medidas frente ao ocorrido passaram a serem adotadas?
- Discutir os efeitos e formas de contaminação radioativa.
 - ❖ Partículas radioativas foram levadas pelas nuvens e começam a cair com a chuva. O vento carrega as partículas contidas no ar até outras localidades.
 - ❖ Nuvem radioativa atingindo outros países. Alerta da Suécia! Negação da França.
 - ❖ Alimentos contaminados, cânceres, mutações genéticas das gerações futuras (A partir de 1h e 25 min, temos imagens fortíssimas de crianças deformadas em função da radioatividade, possivelmente, contida nos alimentos).
- Possibilidade de enfatizar a diferença entre contaminação radioativa e exposição à radioatividade.
- Precipitação radioativa 100 vezes maior do que as duas bombas lançadas em Hiroshima e Nagasaki.
- É possível constatar uma falta de preparo técnico absurda dos profissionais e delegação científica frente às medidas de

segurança em caso de acidentes. O que isso significa na organização de uma central nuclear na atualidade?

- Porque, segundo trecho do documentário, eram necessários 60 homens para realizar o trabalho que um único, em condições normais, faria em uma hora?
- Porque os robôs utilizados para retirar os dejetos de grafite altamente contaminados deixaram de funcionar?
- Aos 34 minutos existe um erro conceitual comum no que tange às discussões nucleares. O documentário dá a entender que o magma de material radioativo, em contato com a água, causaria uma explosão nuclear de dimensões maiores que a bomba atômica de Hiroshima e Nagasaki. Assumir esta informação, significa aceitar que uma usina nuclear por vir a se tornar, em um processo falho, uma bomba atômica, o que não é verdadeiro. Esta segunda explosão, caso ocorresse, teria como elemento ativador gases inflamáveis produzidos por reações químicas entre os elementos que lá continham, assim como o foi a primeira explosão, que rompeu o teto do prédio do reator e espalhou material radioativo sobre o céu da Ucrânia.
- O filme permite problematizar o mito envolvendo a perspectiva salvacionista da ciência, onde uma nova tecnologia apenas é utilizada se for segura, isto é, a ciência sempre benéfica.

5. FRASES DE IMPACTO

- A beleza da radioatividade:
 - “Eram várias cores muito brilhantes. Laranja, vermelho, azul, parecia um arco-íris. Foi lindo.”
- Efeitos da radioatividade no corpo humano:

— “Você não sabe quanto tempo vai viver ou que doença vai acabar matando você, não sabe quais os efeitos que isso terá nos seus filhos, se é que vai poder ter filhos. Só o que sabemos é que esse inimigo invisível está nos devorando por dentro, como um verme. Para nós, a guerra continua e aos poucos estamos deixando esse mundo”

- Perigo das armas nucleares:

— “Chernobyl nos mostrou o que realmente acontece com a energia nuclear em mãos humanas. Calculamos que o nosso míssil mais poderoso, o SS-18 era tão poderoso quanto cem Chernobyls.”

— “O SS-18 era a ogiva que os americanos mais temiam e tínhamos dois mil e setecentos deles (mísseis) todos apontados para os Estados Unidos. Dois mil e setecentos, imagine a destruição que eles causariam.”

— “Chernobyl convenceu a todos. Tanto soviéticos como americanos, perceberam a magnitude dos vulcões atômicos sobre os quais os dois países estavam sentados. Não só esses dois países, mas o mundo inteiro.”

- Democratização da informação:

— “Se o desenvolvimento nuclear para uso civil promete trazer soluções para problemas como combustíveis fósseis e aquecimento global, esse cenário nos lembra que essa é uma opção com sérias consequências, que requer o maior cuidado e informações exatas sobre os riscos que apresenta.”

6. COMETÁRIOS FINAIS E/OU SUGESTÕES:

- O documentário tem caráter informativo, e não técnico, sobre o acidente.
- Devido ao tempo, 95 minutos, convém realizá-lo com um intervalo de alguns minutos, ou em dias diferentes. Dentre as possibilidades de momentos para executar a pausa, sugiro que

esta seja feita aos 39 min e 30s, onde encerra-se o primeiro ciclo do acidente no contexto do documentário. Desta forma, as medidas de precaução para que a segunda explosão nunca venha a ocorrer, seria exibida em um segundo momento.

- Há uma animação, com 10 minutos, que caracteriza o desenrolar técnico que levou ao acidente. Serve enquanto ótima complementação a este documentário. O vídeo é facilmente encontrado no YouTube sobre o nome: Entenda o acidente nuclear de Chernobyl (<https://www.youtube.com/watch?v=9-uDPiNVBIA>)

APÊNDICE 14

| | |
|---|------------------------|
| Ficha do filme: “Linha Direta Justiça: O Acidente Radiológico com Césio 137 em Goiânia” | |
| Plano de Trabalho: MNPEF-2016 | Nº da Ficha: 03 |
| Endereço eletrônico: http://www.poderjuridico.com.br/linha-direta-justica-cesio-137/ | |



Data: Julho de 2016

Professor: Paulo Sérgio G. Montedo

Disciplina: Ensino de Física

1. FICHA TÉCNICA DO FILME:

Título do filme: Linha Direta Justiça: O Acidente com Césio 137

Atores principais: Domingo Meirelles (apresentador) e as vítimas do acidente.

Gênero: Documentário

Ano: 2007

Duração: 38 min

Direção: Milton Abirached

Produção: Rede Globo

2. SÍNTESE:

O programa linha direta retrata o caso do maior acidente radiológico já ocorrido. Ele se deu na cidade de Goiânia, estado de Goiás, no ano de 1987. Uma capsula de um aparelho de radioterapia foi abandonada em uma antiga clínica e encontrada por trabalhadores do setor de reciclagem. O dispositivo, após alguns dias, é encaminhado a um ferro velho e lá rompido. O brilho emitido pelo material no interior da capsula chama a

atenção, e Devair, dono do ferro velho, passa a cuidá-lo com grande zelo, compartilhando com sua esposa, irmão e amigos mais próximos. As pessoas passam a manifestar sintomas de mal estar. A Capsula é levada à vigilância sanitária. A CNEN toma conhecimento e intervém para tentar conter a contaminação radioativa. Vítimas acontecem. O preconceito, devido à falta de informação, impera.

3. IDEIA OU MENSAGEM CENTRAL DO FILME:

O documentário valoriza a historicidade do ocorrido. Estimula a discussão e curiosidade sobre o assunto, ocorrido em território nacional, mas também denuncia o despreparo da CNEN para lidar com o caso, assim como a falta de informação e conseqüente preconceito com as vítimas do acidente. A dimensão emotiva, por meio da reconstituição de alguns momentos decisivos neste incidente, dialoga de maneira incisiva com o espectador sobre os perigos da radioatividade.

4. QUESTÕES PARA APROVEITAMENTO PEDAGÓGICO:

- O papel da CNEN no descarte da capsula de césio-137, assim como qualquer material que contenha algum tipo de radioisótopo em atividade. Como era antes do incidente em Goiânia e como é hoje?
- Contaminação radioativa, manifestação dos sintomas: Queimadura pelo corpo; diarreia; fraqueza; queda de cabelo; ausência de paladar.
- Rede de contaminação radioativa estabelecida após contato das pessoas com o material. Forma direta: contato com a capsula e seu material fosforescente. Forma indireta, contato com material radioativo por meio de objetos contaminados: dinheiro; transporte coletivo, etc...
 - ❖ Devair, o pai, leva o pó para mostrar para a filha, Leide, dizendo a menina que o brilho nada mais é do que um truque de mágica. A menina fica encantada e é chamada

para o jantar. Sem lavar as mãos, ingere a substância depositada sob sua pele ao comer um ovo cozido.

- Diferença entre contaminação e exposição à radioatividade.
- Populares tentam impedir que Leide, menina vítima do céσιο, seja enterrada no cemitério da cidade.
- Preconceito às vítimas do Césio.
- Qual a origem no brilho do Césio-137?
- Notificação e ação da CNEN para controlar o caso. Avaliar os erros e acertos nos procedimentos.
 - ❖ Sem saber o que acontecia, durante a noite, as pessoas eram retiradas de casa e encaminhando todos ao estádio olímpico de Goiânia. Lá são feitas as triagens das pessoas contaminadas.
 - ❖ No dia seguinte, as áreas mais afetadas são isoladas, a PM, responsável pela ação, não tinha conhecimento do que de verdade acontecia, tendo sido chamados para lidar com um vazamento de gás. Lá, sem nenhum tipo de proteção, tornam-se vítimas do céσιο.
 - ❖ Contadores de radioatividade muitas vezes eram desligados na triagem para que não causassem pânico na população.
- O material de céσιο contido na capsula era solúvel em água, o que facilitou o espalhamento e contaminação.

5. FRASES DE IMPACTO

— “Eu me apaixonei pelo brilho da morte.”

— “A morte é uma companhia permanente das vítimas do céσιο. A morte física, a morte psicológica, a morte social, especialmente esta, pois estas pessoas, desde aquele momento elas perderam sua identidade.”

— “Então é justo quando algumas vítimas dizem que receberam menor consideração do que o lixo radioativo.”

— “O acidente foi uma lição, mas eu não creio que as coisas estejam muito melhores não. Eu acho que continua se tratando energia nuclear, de uma forma muitas vezes confusa, escondendo a necessidade do cuidado com o material radioativo.”

6. COMENTÁRIOS FINAIS E/OU SUGESTÕES:

- O vídeo é muito bem construído, com riqueza de detalhes e, devido ao fato de ter sido produzido vinte anos após o ocorrido, não incorre em alguns erros comuns, sobre radioatividade, de produções anteriores.
- Um dos únicos poréns deste vídeo é a qualidade que deixa a desejar.

APÊNDICE 15

| | |
|--|------------------------|
| Ficha do filme: “Segundos Fatais: A Usina Nuclear de Fukushima.” | |
| Plano de Trabalho: MNPEF-2016 | Nº da Ficha: 04 |
| Endereço eletrônico: https://www.youtube.com/watch?v= 0Lc4kmd6uM | |



Data: Julho de 2016

Professor: Paulo Sérgio G. Montedo

Disciplina: Ensino de Física

1. FICHA TÉCNICA DO FILME:

Título do filme: Segundos Fatais: A Usina Nuclear de Fukushima.

Atores principais: Indefinido.

Gênero: Documentário

Ano: 2014

Duração: 46 min

Direção: Desconhecida

Produção: National Geographic

2. SÍNTESE:

O documentário descreve o passo a passo do desastre de Fukushima, desde o terremoto, a queda de energia, o tsunami e consequentes explosões dos reatores 1 e 3 seguidas do incêndio do reator 4.

3. IDEIA OU MENSAGEM CENTRAL DO FILME:

O documentário valoriza a informação, dentro de um quadro esquemático, sobre os motivos que levaram a explosão dos reatores 1 e 3 em Fukushima, além do incêndio nas piscinas do reator 4.

4. QUESTÕES PARA APROVEITAMENTO PEDAGÓGICO:

- Conflito ético sobre a abertura ou não das válvulas de pressão do reator, o que viria a acarretar possíveis emissões de material radioativo na atmosfera.
- Vazamento radioativo: Na tentativa de controlar o aumento da temperatura nas piscinas do reator 4, técnicos jogam água sobre esta que escapa para o oceano.
- Erros no planejamento da usina: Muros de contenção para ondas de até 6 metros de altura haviam sido construídos, mas não deram conta. Todas as medidas de segurança não foram suficientes para proteger Fukushima
- A ocorrência de eventos extremos e a fragilidade dos estudos estatísticos para antevê-los: Tepko, a companhia que gerava a usina, pode ter sido negligente nos estudos que poderiam ter evitado o desastre. “— (...) a cia pode ter sido negligente no período anterior ao tsunami. Em 2002, a TEPKO, tomou parte em um estudo sobre o impacto de tsunamis sobre usinas e concluiu que havia chances de zero por cento de que um terremoto grande o bastante para causar um tsunami pudesse afetar a usina de Fukushima nos próximos 30 anos. Estavam errados!” A TEPKO afirma que, levando em conta todas as informações conhecidas, tomou as precauções apropriadas. Dizem que a escala do tsunami foi além de qualquer coisa que pudessem ter previsto e que desde o acidente, eles fizeram tudo para estabilizar os reatores.
- A explosão não foi nuclear, mas sim de gases: Aos 31 minutos e 50 segundos, a engenharia envolvida no colapso dos reatores BWR são trazidas à discussão. Em seguida (35 min), a explosão

é apresentada como resultado de gases, altamente inflamáveis, de hidrogênio, resultado da interação agressiva entre o zircônio, vapor e água.

- A falta de informações se repete em todos os casos: “— Radiação nuclear se espalhou. Residentes acreditam que foram informados de muito pouco e tarde demais sob os perigos potenciais causados pelas explosões.”
- Discurso científico: “Imediatamente após o incidente o primeiro ministro perguntou aos especialistas —o que acham que vai acontecer a Fukushima agora? Nenhum deles deu uma resposta clara. A única coisa que disseram foi que uma explosão de hidrogênio não iria acontecer devido ao projeto das usinas. E pensamos: Se não acreditarmos nos que eles dizem, em quem acreditaremos?”
- Alemanha decide encerrar seu programa nuclear e concentrar suas finanças para pesquisas de fontes de energia renovável. A Suíça e Itália seguiram o exemplo.

5. COMENTÁRIOS FINAIS E/OU SUGESTÕES:

O vídeo é muito bom no critério informativo, no entanto, começa de maneira mais ampla, desenvolve os temas e depois os retoma novamente. Desta forma, caso haja um tempo menor para apresentação do vídeo, é possível, a partir dos 27 minutos e 57 segundos, rodá-lo e ter o passo a passo na falha do funcionamento dos reatores e consequente explosões. Serão 18 minutos de vídeo e o resultado é bastante satisfatório, conseguindo dar conta de explicar o incidente.