



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
FÍSICA LICENCIATURA**



**O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Renan Pereira Gomes

Campo Grande, MS

2025

**O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Renan Pereira Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura
em Física da Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Licenciatura em Física

Orientadora: Prof. Isabela Porto Cavalcante

Coorientador: Prof. Hamilton Perez Soares Corrêa

Campo Grande, MS

2025

Agradecimento

Agradeço aos meus familiares que me apoiaram nessa longa caminhada da graduação, em especial minha mãe e meu pai que sempre estiveram ao meu lado. Meu imenso agradecimento aos professores do curso, em especial os meus orientadores Prof. Hamilton Perez Soares Corrêa e Profa. Isabela Porto Cavalcante, que me ajudaram durante essa etapa final do curso de licenciatura e as experiências que vivenciei ao longo da graduação.

Resumo

Este trabalho tem por finalidade apresentar uma proposta de Sequência Didática (SD) sobre a temática de Física Nuclear destinada ao Ensino Médio (EM). Sua relevância se baseia na necessidade de se introduzir tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), como previsto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a Educação Básica (EB), documento que tem caráter normativo e define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais as quais os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da EB, incluindo competências e habilidades relacionadas à compreensão do mundo físico, tecnológico e as transformações promovidas pela ciência ao longo do tempo. Em nossa investigação, observamos que há uma carência de materiais didáticos que abordem a Física Nuclear de forma contextualizada e a dificuldade em conectar esses conceitos, de forma atrativa, com a realidade de alunos do EM. Para o trabalho, procuramos trazer uma contribuição no sentido de sanar este problema no campo do ensino por nós identificado, para que a inserção de tal temática seja efetiva nas escolas do EM. Adotamos para o desenvolvimento da SD uma perspectiva metodológica no enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS); acreditamos que este enfoque é especialmente relevante para o ensino de Física Nuclear, pois permite aos alunos compreenderem as relações entre os conceitos científicos, os desenvolvimentos tecnológicos, como a geração de energia e aplicações médicas, e os impactos sociais e éticos associados, como a questão das armas nucleares e os debates sobre o uso da energia nuclear, possibilitando uma formação crítica e cidadã. Como resultados finais, apresentamos uma SD de Física Nuclear a partir de uma abordagem CTS e foi feita uma análise dentro dessa abordagem do material produzido, que para nós mostrou-se adequado, apresentando as principais características da abordagem.

Palavras-chave: Ensino Médio, Física Nuclear, Física Moderna e Contemporânea, Base Nacional Comum Curricular.

Abstract

This paper aims to present a didactic sequence proposal (SD) on the nuclear physics theme intended for high school (EM). Its relevance is based on the need to introduce topics of Modern and Contemporary Physics (FMC) provided for in the Common Curriculum National Base (BNCC) for Basic Education (EB), a document that has a normative character and defines the organic and progressive set of essential learning which students should develop throughout EB stages and modalities, including skills related to understanding the physical, technological world and the transformations promoted by science over time. In our investigation, we observe that there is a lack of teaching materials that address nuclear physics in a contextual way and the difficulty in connecting these concepts, in an attractive way, with the reality of EM. For this work, we seek to make a contribution to remedy this problem in the field of teaching identified by us, so that the insertion of such a theme is effective in the schools of the EM. In the SD development, we adopt a methodological perspective in the Science, Technology and Society (CTS) approach; we believe that this approach is especially relevant to nuclear physics teaching, as it allows students to understand the relationships between scientific concepts, technological developments such as power generation and medical applications, and associated social and ethical impacts, such as the question of nuclear weapons and debates on the use of nuclear energy, enabling critical and citizen formation. As final results, we present a Nuclear Physics SD from a CTS approach; an analysis of the material produced was carried out within this approach; in our perspective the material proved to be adequate, presenting the main characteristics of the approach.

Keywords: Secondary Education, Nuclear Physics, Modern and Contemporary Physics, National Common Core Curriculum.

Sumário

1. Introdução	8
2. Abordagem Teórica	12
2.1 Ciência, Tecnologia e Sociedade	12
2.2 Revisão da literatura de artigos em revistas da área.....	17
3. Encaminhamento metodológico	43
4. Resultados e discussões	48
4.1. Etapa 1	49
4.2. Etapa 2	51
4.3. Etapa 3	53
4.4. Etapa 4	55
4.5. Etapa 5	59
4.6. Etapa 6	63
4.7. Etapa 7	66
5. Discussões sobre a SD elaborada	69
6. Considerações Finais	72
Referências	74
Anexos.....	80
Anexo 1	81
Anexo 2	84
Anexo 3	89
Anexo 4	93
Anexo 5	106
Anexo 6	110

Capítulo 1

Introdução

A situação curricular da Física no EM tem sido objeto de amplas discussões entre pesquisadores da área de ensino de Ciências, resultando em propostas que buscam uma maior contextualização dos conceitos científicos (KRASILCHIK & MARANDINO, 2007). Nesse contexto, emerge a necessidade de um ensino que permita uma abordagem com enfoque da ciência e tecnologia dentro de um contexto social contemporâneo, capaz de ressaltar o desenvolvimento da ciência como parte integrante da cultura humana e, portanto, sujeito a transformações históricas, sociais, econômicas e ambientais (SANTOS & MORTIMER, 2009). Tal abordagem é especialmente relevante para o ensino de Física Nuclear, temática que, conforme proposto neste trabalho, pode ser explorada por meio de SD que vise não apenas à compreensão dos conceitos físicos envolvidos, mas também à análise crítica das implicações tecnológicas e sociais associadas.

Por que abordar a Física Nuclear no Ensino Médio?

A Física Nuclear (FN) é uma temática que suscita debates na sociedade contemporânea, em particular, sobre questões ligadas a geração de energia, que vão desde o seu potencial energético até os riscos associados à sua utilização (SMITH, 2020). Essa dualidade de percepções reflete a complexidade do tema e reforça a necessidade de uma abordagem aprofundada no contexto educacional. Nesse sentido, a inserção de tópicos relacionados à Física Nuclear no EM se mostra fundamental para a formação de cidadãos críticos e conscientes (SILVA & OLIVEIRA, 2021). Conforme apontam as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2018), é essencial que os alunos desenvolvam a capacidade de compreender e avaliar as implicações científicas, tecnológicas, sociais e ambientais associadas à produção e ao uso da energia nuclear.

A configuração curricular da disciplina de Física no EM é objeto de debate no âmbito da pesquisa em ensino de Ciências (MOREIRA & NARDI, 2017). Deste debate, emergem propostas que preconizam um ensino pautado na abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), com o intuito de evidenciar o desenvolvimento científico como um empreendimento intrinsecamente ligado à cultura humana e, conseqüentemente, influenciado por transformações de ordem social, ambiental, econômica e histórica (AIKENHEAD, 1994), dessa forma propiciando uma compreensão mais ampla do papel da ciência no mundo contemporâneo (PINHEIRO et al., 2007).

Esta perspectiva vai além da mera transmissão de conceitos descontextualizados; nesse sentido, a adoção de uma abordagem CTS no Ensino de Física se apresenta como um caminho promissor para a formação de cidadãos críticos e conscientes, capazes de analisar as implicações das inovações científicas e tecnológicas em suas vidas e na sociedade como um todo. Particularmente, tópicos de Física Moderna e Contemporânea como a Física Nuclear despertam a curiosidade dos alunos e abrem portas para o entendimento do mundo subatômico e suas aplicações.

A Física Nuclear constitui um ramo da Física dedicada ao estudo e investigação dos constituintes e das interações no núcleo atômico, bem como os fenômenos a ele associados (KRANE, 1988). Este campo de estudo abrange a investigação de processos como o decaimento radioativo, as transições de energia nuclear, a fissão e a fusão nuclear, que envolvem a liberação de grandes quantidades de energia (TIPLER, 1981). Além de seu papel fundamental na compreensão da estrutura da matéria, a Física Nuclear possui aplicações práticas de grande impacto social, que vão desde a geração de energia, com debates acalorados sobre seus benefícios e riscos, até o desenvolvimento de técnicas avançadas para diagnósticos e tratamentos médicos, como a radioterapia e a medicina nuclear (FERNANDES & SANTOS, 2019). A compreensão desses fenômenos e de suas aplicações é, portanto, crucial não apenas para o avanço científico, mas também para a formação de cidadãos informados e aptos a participar de discussões relevantes sobre os rumos da sociedade contemporânea.

Em nosso trabalho, buscamos transpor a dissociação entre a formação científica e a prática docente, um desafio presente na formação de professores de Física e Ciência no Brasil, sob a perspectiva da abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Ao discutir o conteúdo de Física Nuclear e apresentar alternativas didáticas para sua aplicação no ensino médio (EM), buscamos equipar professores com ferramentas para integrar o conhecimento científico com as demandas sociais e tecnológicas contemporâneas. Essa abordagem permite que os professores desenvolvam um ensino de física mais relevante e contextualizado, capaz de despertar o interesse dos alunos e promover a criticidade e pro atividade de estudantes do EM.

Ao adotar uma abordagem CTS, esperamos colaborar para a formação dos professores, em particular de Física, para que possa superar a fragmentação do conhecimento, problema este apontado por Perin e Malavasi (2018). Dessa forma, o trabalho promove uma visão mais integrada e contextualizada da ciência e suas implicações na sociedade.

Em suma, a problemática identificada na formação de professores, marcada pela dissociação entre conhecimento científico e prática docente, torna a discussão sobre a contextualização do ensino de Física Nuclear ainda mais pertinente. Diante disso, este trabalho busca oferecer uma proposta didática na forma de uma SD que, além de promover a compreensão dos conceitos de Física Nuclear, sem requisitar conhecimentos prévios específicos, também se estrutura de forma a ser facilmente aplicável no contexto do ensino médio.

Acreditamos que o trabalho aqui apresentado, ao aliar o rigor científico a uma abordagem contextualizada e interdisciplinar, sob a ótica CTS, contribui para a formação de professores mais preparados para enfrentar os desafios contemporâneos, inspirar seus alunos a descobrirem as maravilhas e as implicações da Física Nuclear no mundo que os cerca e que promova novas reflexões e iniciativas que visem a aprimorar o ensino de Física. Assim, adotamos como delineamento do trabalho:

Objetivo Geral:

Propor uma SD com abordagem CTS para o ensino de Física Nuclear no Ensino Médio, visando à compreensão dos conceitos físicos e à análise crítica das implicações tecnológicas e sociais do tema;

Objetivos Específicos:

Realizar uma revisão da literatura com relação à Física Nuclear de artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), a revista Química Nova na Escola (QNEsc) e a revista Física na Escola (FEsc) desde 2004 até 2024;

Contextualizar o ensino de Física Nuclear, relacionando-o com questões contemporâneas como geração de energia, saúde e meio ambiente;

Abordar as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade no contexto da Física Nuclear;

Desenvolver a capacidade dos alunos de analisar criticamente as implicações da Física Nuclear na sociedade;

Abordar as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade no contexto da Física Nuclear.

Fornecer ferramentas didáticas, por meio de uma SD numa abordagem CTS, para que o professor possa explorar as relações entre a Física Nuclear, seus desenvolvimentos

tecnológicos e seus impactos na sociedade, promovendo uma visão mais ampla da ciência;

Facilitar a aplicação da SD no contexto do Ensino Médio, sem exigir conhecimentos prévios específicos dos alunos;

Despertar o interesse dos alunos pela Física Nuclear e suas aplicações;

Contribuir à promoção da formação de cidadãos críticos e conscientes sobre as implicações da Física Nuclear no mundo contemporâneo.

Capítulo 2

Abordagem teórica

Nesta seção, aprofundamos os referenciais teóricos que sustentam este trabalho: o Ensino de Ciências com enfoque em CTS e o ensino de Física Nuclear. O enfoque CTS, ao conectar a ciência com a tecnologia e a sociedade, permite explorar as implicações sociais e éticas da Física Nuclear. Essa abordagem, além de promover a interdisciplinaridade com áreas como Química, Biologia, História e Geografia, estimula a participação ativa dos estudantes em debates sobre temas sociocientíficos relevantes ao seu cotidiano. Com base em artigos acadêmicos, publicados entre 2004 e 2024, nos periódicos: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Química Nova na Escola (QNEsc) e Física na Escola (FESc), exploramos o panorama do ensino de Física Nuclear nesse período. Essa revisão da literatura forneceu o embasamento teórico para a elaboração da SD para o ensino de Física Nuclear.

2.1 - Ciência, Tecnologia e Sociedade

A evolução da Ciência e da Tecnologia, em especial após a Revolução Industrial, impulsionou um avanço tecnológico exponencial que transformou a humanidade. As mudanças sociais, culturais e ambientais são inegáveis, impactando desde o nosso cotidiano até as estruturas de poder. No entanto, as abordagens tradicionais de ensino de ciências, ao ignorarem essa complexa interação, apresentam uma visão limitada e distorcida da Ciência e da Tecnologia. Conforme descrito por Hayne e Wyse (2018), essa visão linear, isola a ciência da sociedade, retratando-a como uma atividade neutra e isenta de valores, ignorando os aspectos sociais, políticos, éticos e culturais intrínsecos à sua construção.

Embora o conhecimento científico seja uma ferramenta poderosa para a compreensão do mundo, essa perspectiva cientificista e reducionista limita seu potencial, restringindo sua capacidade de abordar as questões complexas que permeiam nossa realidade, uma vez que essa visão aplica a ideia de que a ciência e o método científico são a única forma de explicar a realidade e a verdade. Para que este conhecimento seja profícuo, é crucial romper com essa visão ingênua e abraçar a natureza indagadora do conhecimento científico, reconhecendo sua interação constante com a sociedade, como por exemplo os impactos sociais causados pelos avanços tecnológicos e como a ciência é impactada por influências sociais, tais como impactos econômicos.

As abordagens tradicionalistas de educação, ancoradas em uma visão cientificista e reducionista de Ciência e Tecnologia, podem acarretar consequências preocupantes:

- **Salvacionismo e determinismo tecnológico:** Propagam a crença de que a ciência e a tecnologia detêm todas as soluções para os problemas da humanidade, ignorando as dimensões sociais, políticas e éticas envolvidas (AULER & DELIZOICOV, 2006). Essa visão ingênua superestima o poder da ciência e desconsidera a complexidade dos desafios enfrentados pela sociedade.

- **Mito da neutralidade científica:** Perpetuam a ilusão de que a ciência é "pura" e desinteressada, isenta de influências ideológicas e responsabilidades sociais (JAPIASSU, 2011). Essa crença mascara os vieses e valores presentes na produção científica e impede uma análise crítica do papel da ciência na sociedade.

- **Supervalorização da ciência:** Contribuem para a dominação ideológica exercida pelo discurso científico (SANTOS & MORTIMER, 2000). Ao privilegiar o conhecimento científico em detrimento de outras formas de saber, essa visão hierarquiza e exclui, reforçando desigualdades e limitando a participação democrática na construção do conhecimento.

É fundamental superar essas visões distorcidas e promover uma educação científica que reconheça a complexa relação entre ciência, tecnologia e sociedade. A abordagem CTS surge em contraposição à visão reducionista e linear da Ciência e Tecnologia (C&T), buscando compreendê-las em seu contexto social e histórico.

Ao reconhecer a influência de fatores sociais e políticos na produção científica e tecnológica, e os impactos que estas geram na sociedade (NASCIMENTO & VON LINSINGEN, 2006), o ensino com ênfase em CTS empodera os alunos a assumirem uma postura crítica, desconstruindo o mito do cientificismo e a crença ingênua de que a Ciência e Tecnologia são panaceias para todos os males da humanidade.

Segundo Bazzo (2002), apesar das promessas de progresso, questões sociais como a fome, as guerras, a desigualdade social e a degradação ambiental persistem, evidenciando a complexa interação entre ciência, tecnologia e sociedade. Nesse contexto, a alfabetização e o letramento científico desempenham um papel crucial na formação cidadã, promovendo uma compreensão da ciência como construção coletiva a serviço da sociedade (CHASSOT, 2003). Essa perspectiva, alinhada com a visão freireana, incentiva a leitura de mundo, o pensamento crítico e a ação transformadora, reconhecendo o indivíduo como agente social construtor de sua própria história. Embora o movimento CTS tenha se iniciado na década de 1960, sua implementação no Brasil ainda enfrenta

desafios (SOUZA et al., 2012). É preciso intensificar esforços para superar essa lacuna e garantir que a educação científica promova a alfabetização e o letramento em C&T, habilitando os cidadãos a compreenderem o discurso científico, participarem de debates e tomarem decisões informadas (SANTOS & SCHNETZLER apud SANTOS & MORTIMER, 2002).

A abordagem CTS propõe uma educação científica que, conforme Roberts (1991), se fundamenta em concepções que transcendem a mera transmissão de conhecimentos científicos, buscando formar cidadãos críticos e participantes:

1. **Ciência como atividade humana:** A ciência é apresentada como uma construção humana, intrinsecamente ligada à tecnologia e às questões sociais. Ela não se limita a descrever o mundo, mas também o transforma, exercendo poder e influência sobre o ambiente e as pessoas.
2. **Sociedade e tomada de decisões:** A sociedade busca desenvolver, tanto no público em geral quanto nos cientistas, uma compreensão mais sofisticada de como as decisões sobre questões sociocientíficas são tomadas. Isso implica reconhecer os fatores sociais, políticos e econômicos que influenciam as escolhas relacionadas à Ciência e à Tecnologia.
3. **Estudante como agente de mudança:** O aluno é visto como um indivíduo capaz de tomar decisões informadas e compreender as implicações da Ciência e Tecnologia na sociedade. Ele é incentivado a desenvolver uma postura crítica e a participar ativamente de debates sobre questões sociocientíficas.
4. **Professor como mediador:** O professor assume o papel de mediador no processo de aprendizagem, orientando os alunos na exploração das complexas inter-relações entre Ciência, Tecnologia e sociedade. Ele promove a reflexão crítica, o diálogo e a construção coletiva do conhecimento.

Para compreender as complexas interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, é crucial adotar uma perspectiva relacional que evidencie as diferentes dimensões do conhecimento. A interdisciplinaridade, e até mesmo a transdisciplinaridade, tornam-se ferramentas essenciais para abarcar as múltiplas perspectivas e interconexões entre essas áreas (STRIEDER & KAWAMURA, 2009).

Com o intuito de promover uma compreensão mais profunda e contextualizada da relação CTS, este projeto de ensino e pesquisa propõe uma abordagem dinâmica e diversificada, que se materializa pela:

- **Abordagem de conteúdos por meio de temas filosóficos e sociais:** A inclusão de perspectivas filosóficas e sociais enriquece a discussão sobre Ciência e Tecnologia, permitindo que os alunos reflitam sobre as implicações éticas, morais e culturais do desenvolvimento científico e tecnológico.
- **Sessões de discussões:** O diálogo e a troca de ideias são fundamentais para a construção do conhecimento. As sessões de discussões estimulam o pensamento crítico, a argumentação e o desenvolvimento da capacidade de expressão.
- **Solução de problemas:** A aplicação do conhecimento na resolução de problemas concretos contextualiza o aprendizado e demonstra a relevância da Ciência e da Tecnologia para a sociedade.
- **Estudos de caso:** A análise de casos reais permite que os alunos apliquem seus conhecimentos a situações complexas e desenvolvam habilidades de análise e interpretação.
- **Construção de modelos e artefatos tecnológicos:** A atividade prática de construção de modelos e artefatos estimula a criatividade, a curiosidade e o aprendizado significativo.
- **Uso de fatos da Filosofia e História da(s) Ciência(s):** A compreensão do desenvolvimento histórico e filosófico da Ciência e da Tecnologia fornece uma base sólida para a análise crítica do presente.
- **Discussões em grupo sobre questões científicas e tecnológicas:** O trabalho em grupo favorece a colaboração, a troca de conhecimentos e o desenvolvimento de habilidades sociais.

Ao integrar essas diferentes estratégias, o trabalho visa promover uma educação científica mais engajadora, crítica e contextualizada.

Um aspecto relevante do Ensino de Ciências com enfoque CTS é sua flexibilidade. Essa metodologia permite diversas abordagens, desde uma perspectiva mais tradicional, com foco em informações sobre tecnologia e sociedade, até uma abordagem investigativa,

na qual os conteúdos são explorados a partir de questões e problemas do contexto social dos estudantes.

Santos e Mortimer (2000, p. 15) observam que "nem todas as propostas de ensino, que vêm sendo denominadas CTS, estão centradas nas inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade". Essa diversidade de abordagens levou ao estabelecimento de diferentes classificações de cursos CTS, cada um com seu foco e metodologia específicos. É fundamental que educadores compreendam essas diferentes classificações para que possam escolher a abordagem mais adequada ao seu contexto e aos seus objetivos de ensino.

No Quadro 1, apresentamos um resumo das possíveis categorias de ensino com enfoque CTS.

Quadro 1 – Diferentes Níveis de aplicações da metodologia CTS e suas características.

Categoria	Descrição
1. Conteúdo de CTS como elemento de motivação.	Ensino tradicional de ciências acrescido da menção ao conteúdo de CTS com a função de tornar as aulas mais interessantes.
2. Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de pequenos estudos de conteúdo de CTS incorporados como apêndices aos tópicos de ciências. O conteúdo de CTS não é resultado do uso de temas unificadores.
3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrados aos tópicos de ciências, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS. Esses conteúdos formam temas unificadores.
4. Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo de CTS.	Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e a sua sequência, mas a seleção do conteúdo científico ainda é feita a partir de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros é muito semelhante àquela da categoria 3, embora a sequência possa ser bem diferente.
5. Ciências por meio do conteúdo de CTS.	CTS organiza o conteúdo e sua sequência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo de CTS. A lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes a partir de uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.
6. Ciências com conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem.
7. Incorporação das Ciências ao conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do currículo. O conteúdo relevante de ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da ciência.
8. Conteúdo de CTS.	Estudo de uma questão tecnológica ou social importante. O conteúdo de ciências é mencionado somente para indicar uma vinculação com as ciências

Fonte: Adaptado de (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 15-16.)

Dessa forma, de acordo com as categorias apresentados no Quadro 1, o nosso trabalho se encaixa na categoria 4 - Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo de CTS.

2.2 - Revisão da literatura de artigos em revistas da área

Na área da Educação e do Ensino de Ciências, a Física Nuclear (FN) constitui um ramo do ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) dedicado ao estudo dos constituintes e das interações no núcleo atômico, bem como dos fenômenos a ele associados. Este campo de estudo abrange a investigação de processos como o decaimento radioativo, as transições de energia nuclear, a fissão e a fusão nuclear, que envolvem a liberação de grandes quantidades de energia e a transmutação de elementos (BONFIM & STRIEDER, 2022).

A Física Nuclear, apesar de sua complexidade, pode ser ensinada de forma instigante e acessível no Ensino Médio. Ao conectar o conteúdo com o cotidiano dos alunos e utilizar a abordagem CTS, podemos despertar a curiosidade, o pensamento crítico e a consciência cidadã em relação a essa área fundamental da ciência. É crucial que os alunos compreendam não apenas os conceitos científicos, mas também as implicações tecnológicas, sociais e ambientais da Física Nuclear.

Acreditamos que essa abordagem curricular, aliada a metodologias inovadoras e recursos didáticos adequados, pode contribuir para uma aprendizagem mais significativa e para a formação de cidadãos críticos e conscientes sobre o papel da Física Nuclear na sociedade.

As metodologias inovadoras rompem com os modelos tradicionais de ensino, buscam criar experiências de aprendizagem mais engajadas e significativas para os alunos. Para alcançar esse objetivo, diversos recursos, que vão além dos livros didáticos e das aulas expositivas, são usados para trazerem dinamismo e interatividade para a sala de aula. Entre os recursos presentes nas metodologias inovadoras, cita-se a:

- Utilização de recursos didáticos variados como quadro, giz, vídeos, simulações, jogos, experimentos e debates, para tornar o aprendizado mais dinâmico e interativo;
- Promoção de participação ativa dos alunos em atividades de pesquisa, discussão e apresentação de trabalhos, incentivando a autonomia e o protagonismo.

A Física Nuclear, embora complexa, pode ser abordada de maneira instigante ao conectar o conteúdo com o cotidiano dos alunos. É possível despertar a curiosidade, o pensamento crítico e a consciência cidadã, em relação a essa área fundamental da ciência.

No contexto da Educação Básica (EB), a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no EM tem sido defendida como uma forma de atualizar o currículo e aproximá-lo da realidade dos estudantes. Autores como Terrazzan (1992) e Ostermann & Moreira (2000) argumentam, no final do século XX, que a FMC, por tratar de temas mais atuais e muitas vezes presentes em artefatos tecnológicos do cotidiano, possibilita um ensino de física mais significativo e contextualizado, estimulando o interesse e a aprendizagem dos alunos.

A Física Nuclear como parte integrante da FMC, além de seu papel fundamental na compreensão da estrutura da matéria, possui aplicações práticas de grande impacto social, que vão desde a geração de energia, com debates acalorados sobre seus benefícios e riscos, até o desenvolvimento de técnicas avançadas para diagnósticos e tratamentos médicos, como a radioterapia e a medicina nuclear (FERNANDES & SANTOS, 2019). A compreensão desses fenômenos e de suas aplicações é, portanto, crucial não apenas para o avanço científico, mas também para a formação de cidadãos informados e aptos a participar de discussões relevantes sobre os rumos da sociedade contemporânea, incluindo a matriz energética e as políticas públicas em saúde (BOCH, 2018).

Desde 2018, a BNCC preconiza, em suas habilidades e competências, que os estudantes ao final do EM devem ser capazes de “analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições...” (BRASIL, 2018, p. 540) e, também, que a área de Ciências Naturais deve apresentar conteúdos associados às relações entre “matéria e energia, possibilitando, por exemplo, a avaliação de potencialidades e de limites e riscos do uso de diferentes materiais e/ou tecnologias para tomar decisões responsáveis e consistentes diante dos diversos desafios contemporâneos” (BRASIL, 2018, p. 540). Portanto, se faz importante a presença do ensino FN no âmbito escolar.

Neste trabalho, buscamos para uma abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) do ensino de Física Nuclear, uma compreensão ampla e crítica acerca das interações entre a Ciência&Tecnologia, Tecnologia&Sociedade e Sociedade&Ciência. De forma a tornar essa abordagem mais concreta, elegemos quatro critérios que

acreditamos serem importantes e que podem se manifestar na prática do ensino de FN no EM nesta perspectiva:

- a) **Abordar as implicações sociais e éticas da energia nuclear:** Discutir os riscos e benefícios da energia nuclear, os impactos socioambientais de acidentes nucleares, o problema do resíduo nuclear e a questão da proliferação de armas nucleares.
- b) **Conectar a Física Nuclear com a tecnologia:** Mostrar como a Física Nuclear está presente em tecnologias como a medicina nuclear (radioterapia, diagnóstico por imagem), a produção de energia (usinas nucleares), a indústria (esterilização de alimentos, controle de qualidade) e a datação de artefatos históricos.
- c) **Incentivar a participação dos alunos em debates sobre temas sociocientíficos:** Promover discussões sobre a utilização da energia nuclear, o desenvolvimento de armas nucleares, os avanços da medicina nuclear e os desafios da gestão de resíduos radioativos.
- d) **Desenvolver projetos interdisciplinares que integrem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento:** Realizar projetos que relacionem a Física Nuclear com a Química, Biologia, História, Geografia, entre outras disciplinas, para que os alunos compreendam as interconexões entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

Revisão de artigos da RBEF (2004-2024)

Com o objetivo de aprofundar a análise sobre o ensino de Física Nuclear e identificar as principais tendências e abordagens utilizadas em pesquisas acadêmicas, realizamos uma revisão de artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) da Sociedade Brasileira de Física (SBF). A busca abrangeu o período de 2004 a 2024 e delimitou-se a artigos que abordassem especificamente o ensino da Física Nuclear, excluindo trabalhos que tratassem de temas como Física Atômica, Física de Partículas e Mecânica Quântica, a fim de garantir uma análise mais focada no escopo desta pesquisa.

A busca na RBEF foi realizada utilizando palavras-chave como "Física Nuclear", "radioatividade", "fissão nuclear", "fusão nuclear" e "física médica". Escolhemos a RBEF como primeira fonte de pesquisa por ser um periódico de relevância na área de Ensino de Física no Brasil, publicando trabalhos de Física reconhecido pela comunidade de professores de Física do Ensino Médio como uma revista de interesse. O período escolhido para análise teve o intuito de abarcar as últimas duas décadas de pesquisa em

Ensino de Física Nuclear, permitindo identificar as principais tendências e evoluções nesse campo.

A seleção buscou levar em consideração a presença de ao menos um dos quatro critérios definidos anteriormente na seção 2.2. Os artigos foram organizados no Quadro 2, apresentada a seguir, contendo o ano de publicação, o título e os autores de cada trabalho. Essa tabela servirá como base para a análise e discussão dos principais resultados encontrados na revista.

Quadro 2: Revisão de artigos da Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) (2004-2024) com os critérios apresentados

Ano	Título	Autor(es)	Critério(s)
2005	- Mulheres na Física: Lise Meitner	Mizrahi, S. S.	d
2011	- Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade	Cordeiro, M. D.; Peduzzi, L. O. Q.	b, c
2013	- Decaimentos nucleares em uma câmara de nuvens	Laganá, C.	b
	- Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade	Cordeiro, M. D.; Peduzzi, L. O. Q.	d
2014	- Montagem e teste de detector Geiger Muller usando tubo SBM19	Kakuno, E. M.	b
	- Princípios do cálculo de blindagem em radioterapia	Paiva, E.	b, c
2018	- Os fundamentos quânticos da Ressonância Magnética Nuclear	Dieguez, C. T.; Montanheiro, L. V.; Cleto, L. B. C.; Bonfim, M. J.C.; Dartora, C. A.	b, c
2020	- Os dados nucleares da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) como aporte científico no Ensino de Física Nuclear	Orengo, G.; Schäffer, D.	b, c
2021	- Uma nova estratégia para o ensino de física nuclear e radioatividade para o novo ensino médio: auto aprendizagem guiada por aplicativo web	Fernandez, J. V. M.; Lixandrão Filho, A. L.; Guedes, S.; Monteleone, P. D.; Prearo, I.; Cordeiro, G.; Hernandes, A. A.; Hadler Neto J. C.	a, b, c, d,
2023	- Física de Partículas no ensino médio Parte II: Física Nuclear	Guio, T. C. C.; Dorsch, G. C.	a, b, c
	- A circulação de pessoas, ideias e técnicas: a FFCL da USP no início das pesquisas de Física Nuclear no Brasil	Oliveira, F. F.; Guerra, A.; Moura, C. B.	a, b, c
	- Uma introdução aos métodos computacionais em física a partir do problema do decaimento radioativo	Ferreira, M. J. B.; Oliveira, B.F.; Gonçalves, A. M.	b
	- Simulações de experimentos didáticos em física médica com TOPAS MC	Neto, R. S. R.; Souza, F. M. L.; André, L.E; Fidelis, Rocha, A. M.; Santana, L. G. O.; Rosa, L. A. R.; Cardoso, S. C.	b, c

2024	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação da equação de Schrödinger ao modelo nuclear de camadas: obtenção dos números mágicos - Implementação de um laboratório virtual de física médica 	Gomes, M. M.; Amorim, R.; Santos, W. C.; Rispoli, V. C.; Cardoso, L. X. Soares, R. S.; Santos, S. P.; Marques, C. C.; Carvalho, G.; Santos, F. F. M.; Yoshizumi, M. T.; Alva, T. A. P.; Trombini, H.	b b, d
------	--	---	---------------

Fonte: Autor

O artigo “Mulheres na Física: Lise Meitner”, publicado por Salomon S. Mizrahi, (MIZRAHI, 2005) apresenta a trajetória da física austríaca Lise Meitner, destacando suas contribuições para a ciência, especialmente no campo da Física Nuclear, e os desafios que enfrentou como mulher e judia em uma sociedade marcada pelo preconceito e pela perseguição nazista. Este artigo pode ser uma ferramenta para o ensino de física, indo além da mera apresentação de conceitos e fórmulas, contextualizando a história da física e humanizando a ciência. Mostrar que a física é feita por pessoas, isso torna a disciplina mais próxima dos alunos e desperta a curiosidade, mostrando a evolução do conhecimento, podendo assim ser usado como material base para indicar aos alunos que a ciência não possui um caráter estático e é influenciada por agentes externos e os desafios enfrentados por cientistas mulheres.

O artigo “Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade” (CORDEIRO e PEDUZZI, 2009) descreve um estudo histórico do período inicial de desenvolvimento da radioatividade, de 1899 a 1913. Os autores revisam a história da radioatividade de 1899 a 1913, incluindo a descoberta da partícula alfa por Rutherford, a teoria da desintegração atômica dos elementos, a classificação das radiações alfa e beta, o conceito de meia-vida, a descoberta da isotopia, a descoberta do núcleo e as contribuições de Rutherford para o desenvolvimento inicial da radioatividade. Os autores também discutem algumas das características importantes da natureza da ciência e do empreendimento científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. O artigo se propõe a ser um recurso para o ensino superior, contextualizando a física moderna historicamente e filosoficamente. Busca promover uma formação mais crítica e reflexiva sobre a radioatividade e seus impactos dentro e fora da ciência, oferecendo uma nova perspectiva sobre o ensino da radioatividade. O artigo pode ser usado no EM para discutir o método científico no contexto da descoberta da radioatividade e ilustrar como as descobertas científicas muitas vezes são feitas como parte de um esforço coletivo.

O artigo “Decaimentos nucleares em uma câmara de nuvens” (LAGANÁ, 2013), apresenta imagens de decaimentos alfa de uma fonte radioativa de Amerício-241 obtidas com uma câmara de nuvens de baixo custo. O autor utiliza essas imagens como ponto de partida para discutir conceitos relacionados à passagem de partículas carregadas pela matéria e para desenvolver um modelo simples de estrutura nuclear. O autor conclui que a utilização da câmara de nuvens e a análise das imagens dos decaimentos alfa podem servir como uma ferramenta didática eficaz para ilustrar conceitos de Física Nuclear e Física de Partículas para o ensino superior, além de introduzir os estudantes a técnicas de análise de dados experimentais. Demonstra como um experimento simples e de baixo custo pode ser utilizado para explorar conceitos complexos de Física Nuclear e estimular a curiosidade dos estudantes sobre o mundo subatômico. O artigo oferece uma oportunidade para discutir sobre as partículas envolvidas nos decaimentos nucleares e como essas partículas interagem com a matéria.

Os autores do artigo “Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade” (CORDEIRO e PEDUZZI, 2013) analisam como o conhecimento científico é transformado em conhecimento escolar, um processo chamado de Transposição Didática. O autor argumenta que livros didáticos geralmente apresentam conteúdos de forma descontextualizada, o que pode levar a equívocos sobre a natureza da ciência. Em particular, o autor examina como a radioatividade é apresentada em um livro didático usado na formação de professores e futuros cientistas. A análise se concentra em como o livro didático descontextualiza a radioatividade, removendo-a de suas origens histórico-filosóficas. Os autores argumentam que essa descontextualização pode levar a uma compreensão incompleta da natureza da ciência e do trabalho científico e defendem a inclusão de uma perspectiva histórica e filosófica no ensino da radioatividade, a fim de proporcionar uma compreensão mais completa e realista da natureza da ciência. O artigo pode ser usado para abrir uma discussão refletiva com os alunos sobre como a falta de contexto histórico e social nas explicações sobre a radioatividade pode limitar a compreensão do tema, tornando-o mais difícil de ser apreendido e desinteressante.

Em seu artigo, Silva (2014) descreve de forma clara e detalhada a montagem de um detector Geiger Muller (GM) utilizando um tubo comercial SBM19 e componentes eletrônicos comuns. O autor apresenta um guia passo a passo para a construção do detector, incluindo diagramas e explicações do funcionamento do circuito. O artigo também discute os princípios físicos por trás do funcionamento do detector GM, o que o

torna uma ferramenta útil para o Ensino de Física Moderna no Ensino Médio. Além disso, o autor apresenta resultados de medidas de radiação em diferentes materiais, o que demonstra a aplicação prática do detector. O artigo pode ser utilizado para explicar o funcionamento do tubo Geiger-Muller, que é a parte central do detector. Após a montagem do detector, os alunos podem realizar medições de radiação ambiente e a interpretação dos resultados ajuda a desenvolver habilidades de análise de dados e compreensão de como os cientistas medem a radiação em suas pesquisas.

O artigo “Princípios do cálculo de blindagem em radioterapia” de Eduardo de Paiva (2014) apresenta um grande potencial para ser utilizado como material de apoio no ensino de física, especialmente em cursos no nível médio e superior que abordem temas como Física Nuclear (FN), radiação e suas aplicações. O texto conecta conceitos físicos com a área da saúde, especificamente a radioterapia, despertando o interesse dos alunos e demonstrando a aplicação prática da Física em situações reais. A discussão sobre os diferentes materiais de blindagem e sua influência na espessura final, incentiva os alunos a analisar e comparar diferentes soluções para um problema, desenvolvendo habilidades de raciocínio e tomada de decisão. O artigo pode ser usado para introduzir os alunos aos diferentes tipos de radiação (alfa, beta e gama), seus efeitos no corpo humano e como essas radiações são usadas no tratamento de doenças como o câncer e pode ser uma introdução ao conceito de blindagem em radioterapia, que é fundamental para garantir a segurança dos pacientes, profissionais da saúde e do público em geral.

O artigo “Os fundamentos quânticos da Ressonância Magnética Nuclear” (DIEGUEZ et al., 2018) apresenta uma introdução abrangente sobre os princípios da ressonância magnética nuclear (RMN). Os autores começam discutindo o contexto histórico da RMN e, em seguida, fornecem uma descrição detalhada da Física por trás do fenômeno. Eles descrevem o comportamento dos spins nucleares em um campo magnético, além disso, o artigo explora as condições necessárias para realizar experimentos de RMN e fornece uma visão geral dos aparatos experimentais típicos. O artigo pode ser utilizado como material de apoio em cursos superiores de Física, Química ou Engenharia, para introduzir os conceitos da RMN e suas aplicações. Este trabalho, embora apresente conceitos complexos da Física Quântica, pode ser uma ferramenta valiosa para o professor do Ensino Médio aprofundar seus conhecimentos sobre a Ressonância Magnética Nuclear. Com adaptações e seleção cuidadosa de trechos, o professor pode usar o artigo para enriquecer suas aulas, abordando temas como: o

espectro eletromagnético, a interação da radiação com a matéria e aplicações da física na medicina. A compreensão da RMN, mesmo que de forma simplificada, permite conectar a Física com o dia a dia dos alunos, despertando a curiosidade científica e abrindo portas para discussões sobre tecnologia e saúde. O artigo pode ser utilizado para mostrar aos alunos como a RMN tem várias aplicações em medicina, especialmente na criação de imagens do corpo humano.

O artigo “Os dados nucleares da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) como aporte científico no Ensino de Física Nuclear” (ORENGO e SCHÄFFER, 2020) explora o uso do banco de dados nucleares da Agência Internacional de Energia Atômica (*International Atomic Energy Agency - IAEA*) como ferramenta didática para o ensino de Física Nuclear. Os autores usam a Terapia por Captura de Nêutrons pelo Boro (*Boron Neutron Capture Therapy - BNCT*) como um estudo de caso para ilustrar como os dados da IAEA podem ser usados para responder perguntas sobre Física Nuclear. Os autores concluem que o banco de dados é uma ferramenta valiosa para o ensino de Física Nuclear e que pode ser usado para responder uma variedade de perguntas sobre reações nucleares. Eles também observam que o BNCT é um tópico interessante e oportuno que pode ser usado para envolver professores e estudantes do Ensino Médio e Superior, fazendo uso desse banco de dados nucleares, ajudando a dar mais significado aos conceitos da Física Nuclear, que na maioria das vezes pareça ser um terreno epistemológico árido para sua compreensão, talvez, por se lidar com um “mundo” cujas dimensões são da ordem de 10^{-15} m. O artigo pode ser utilizado para dar aos alunos a oportunidade de aprender a interpretar dados científicos de maneira crítica. Eles podem ser desafiados a analisar os dados em busca de padrões, discrepâncias ou incertezas, ajudando a desenvolver habilidades de pensamento crítico e analítico.

O artigo “Uma nova estratégia para o ensino de física nuclear e radioatividade para o novo ensino médio: auto aprendizagem guiada por aplicativo web” (FERNANDEZ et al., 2021) descreve um aplicativo web desenvolvido no auxílio dos alunos e professores a se adequarem ao conteúdo de radiações da BNCC no novo Ensino Médio. O aplicativo inclui diversas habilidades da BNCC, abordando diversas vertentes do tema de radiações, das disciplinas de física, química, biologia e até mesmo matemática. A escolha da ferramenta baseou-se no perfil dos alunos e na acessibilidade, de modo que não é necessário nenhum requisito de sistema para o acesso ao conteúdo, basta apenas um dispositivo móvel (*smartphone*, computador ou *tablet*), com acesso à internet. Os conteúdos abordados incluem: Contexto histórico da radioatividade; Conceitos de

radiação e de Física Nuclear; Detector Geiger; Simulador de Detector Geiger. O aplicativo pode ser usado como um guia de aula para os professores bem como um material de apoio para os estudantes. O uso do aplicativo se adéqua também à modalidade de ensino-híbrido (presencial/online) e pode ser aplicado como base para elaboração de trabalhos, sejam de caráter individual ou em grupo pelos estudantes. O conteúdo do artigo pode ser utilizado no ensino médio para promover a compreensão de conceitos fundamentais de física nuclear e radioatividade de uma maneira moderna e interativa, utilizando as tecnologias digitais.

O artigo “Física de Partículas no ensino médio Parte II: Física Nuclear” (GUIO e DORSCH, 2023) apresenta uma proposta inovadora para o ensino da Física Nuclear no Ensino Médio, com foco na alfabetização científica e na relação entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (CTSA). A sequência didática proposta parte do experimento de Rutherford-Geiger-Marsden, que evidenciou a existência do núcleo atômico, e avança para a discussão da força nuclear, dos decaimentos radioativos e da energia nuclear. A abordagem CTSA é explorada em diversos momentos, como na discussão da energia nuclear e seus impactos socioambientais, incluindo as armas nucleares, a matriz energética e os acidentes em usinas nucleares. A leitura do artigo é recomendada para professores de Física do Ensino Médio que buscam novas abordagens para o ensino da Física Nuclear, com foco na alfabetização científica e na perspectiva CTSA. O artigo conecta a Física Nuclear com a tecnologia em diversos momentos, explorando as aplicações dos conceitos e princípios da Física Nuclear em diferentes áreas tecnológicas. O trabalho não propõe explicitamente o desenvolvimento de projetos interdisciplinares que integrem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento, no entanto, destaca as potencialidades da temática para a realização de projetos interdisciplinares, mencionando a possibilidade de diálogos com professores de outras áreas, como história, geografia, filosofia, sociologia e biologia. O artigo pode ser utilizado na participação com os alunos em debates sobre as questões éticas e políticas associadas ao uso da energia nuclear.

Os autores do trabalho, “A circulação de pessoas, ideias e técnicas: a FFCL da USP no início das pesquisas de física nuclear no Brasil” (OLIVEIRA, GUERRA e MOTTA, 2023), analisam a trajetória do grupo de pesquisa em Física Nuclear da Universidade de São Paulo (USP). O grupo, liderado pelo físico ítalo-ucraniano Gleb Wataghin, teve papel crucial no desenvolvimento da Física Nuclear no Brasil e no reconhecimento internacional da ciência brasileira. O artigo oferece uma análise

detalhada da trajetória do grupo de pesquisa, demonstrando como a circulação de pessoas, ideias e técnicas foi fundamental, além de destacar a importância da colaboração internacional e da troca de conhecimentos para o desenvolvimento científico do país. O artigo pode ser usado como ponto de partida para discussões em sala de aula sobre a História da Física Nuclear no Brasil e os desafios enfrentados por países em desenvolvimento na construção de uma comunidade científica, promover uma reflexão sobre o papel da ciência na sociedade, a importância do investimento em pesquisa básica e os desafios éticos relacionados à ciência e tecnologia.

“Uma Introdução aos Métodos Computacionais em Física a partir do Problema do Decaimento Radioativo” (FERREIRA et al., 2023) é um artigo que se propõe a introduzir os métodos computacionais e a programação científica para estudantes de Física. O artigo aborda o problema do decaimento radioativo e apresenta duas abordagens computacionais para resolvê-lo: integração numérica e simulação estocástica. É um excelente recurso para estudantes de Física que desejam aprender sobre métodos computacionais e programação científica. Fornece uma introdução completa ao assunto e demonstra como esses métodos podem ser aplicados para resolver um problema clássico da Física, o decaimento radioativo. Apesar de abordar um tema relevante para o Ensino Médio (decaimento radioativo), não seria a melhor escolha para aplicação direta nesse nível de ensino. Para um professor de Ensino Médio, o artigo pode servir como um guia para aprofundar seus conhecimentos sobre o decaimento radioativo e explorar novas possibilidades para o ensino com o uso de ferramentas computacionais e abordagens interdisciplinares.

“Simulações de experimentos didáticos em física médica com TOPAS MC” (NETO et al., 2023) é um artigo que explora a aplicação do código de Monte Carlo TOPAS na simulação de experimentos didáticos para o ensino de Física Médica, focando na disciplina de Física das Radiações. Os autores argumentam que a ferramenta TOPAS MC, por sua interface amigável e curva de aprendizado curta, facilita a introdução de professores e alunos ao método de Monte Carlo (MC), permitindo a simulação de diversos cenários de interação da radiação com a matéria. O trabalho apresenta uma série de simulações didáticas, de modo a avaliar a influência que os seguintes parâmetros possuem aos cenários escolhidos nas simulações: estatística das curvas pelo número de histórias, tamanho do campo de irradiação, meios homogêneos e heterogêneos, e feixes incidentes de diferentes naturezas. Os resultados demonstram a influência desses parâmetros em curvas de dose em profundidade, e os autores disponibilizam os arquivos de entrada e saída, além de um programa auxiliar em Python, para que os leitores possam replicar e

adaptar as simulações. O artigo em sua forma original está adequado para o Ensino Superior, porém alguns de seus conceitos podem ser introduzidos no Ensino Médio de forma adaptada. Para professor do Ensino Médio que busca se atualizar e inovar suas aulas de Física, pode ser uma ferramenta valiosa, com criatividade e adaptações, o professor pode usar o conteúdo do artigo para despertar o interesse dos alunos pela ciência e mostrar a importância da Física no mundo moderno.

O artigo “Aplicação da equação de Schrödinger ao modelo nuclear de camadas: obtenção dos números mágicos” (GOMES et al., 2024) apresenta uma abordagem didática para a descrição do núcleo atômico com base no modelo de camadas. Os autores utilizam a equação de Schrödinger para analisar dois sistemas baseados na teoria de campo médio, modelando as interações nucleares e eletromagnéticas por osciladores harmônicos, sendo que em um dos sistemas, a interação entre os spins dos núcleons é considerada. Recomenda-se a leitura deste artigo a estudantes e aos professores de Física Nuclear no ensino superior, bem como para pessoas interessadas em aprofundar seus conhecimentos sobre a estrutura do núcleo atômico. O artigo utiliza linguagem técnica e matemática avançada não sendo recomendado para o Ensino Médio, utiliza conceitos de Física Quântica e Nuclear que geralmente são abordados em nível superior.

O artigo “Implementação de um Laboratório Virtual de Física Médica” (SOARES et al., 2024) descreve a criação de um laboratório virtual que permite explorar conceitos de Física Médica de maneira semelhante aos abordados experimentalmente. O laboratório virtual, desenvolvido em linguagem Python e com interface gráfica Streamlit, oferece experimentos guiados e livres, contextualização histórica e curiosidades sobre o tema. O LabFISMED, assim chamado o laboratório virtual, é uma ferramenta complementar à prática presencial, que permite explorar aspectos inatingíveis em experimentos reais e alcançar pessoas que não teriam a oportunidade de vivenciar essa experiência. O artigo menciona que o laboratório virtual foi desenvolvido para estudantes do Ensino Médio e Superior. Os experimentos guiados, em particular, foram elaborados com roteiros básicos e avançados que levam em consideração o grau de conhecimento do estudante, incluindo aqueles que estão cursando o Ensino Médio. Além disso, o LabFISMED é uma ferramenta prática e organizada para aprender sobre experimentos de física, o que pode ser especialmente útil para estudantes do Ensino Médio que estão começando a se aprofundar no assunto. O artigo pode ser usado para introduzir os alunos ao campo da física médica e explicar o uso de laboratórios virtuais, para ilustrar como eles oferecem uma forma

segura, acessível e econômica de realizar experimentos de Física, sem a necessidade de equipamentos caros ou ambientes controlados.

Em suma, os artigos analisados oferecem um panorama abrangente sobre o Ensino da Física, com foco na área da Física Nuclear e suas aplicações. As diferentes abordagens, que vão desde a história da ciência até a utilização de ferramentas computacionais e laboratórios virtuais, demonstram a riqueza e a diversidade de recursos disponíveis para enriquecer o aprendizado. A análise crítica desses trabalhos contribui para a construção de um ensino de física mais engajador, contextualizado e interdisciplinar, capaz de despertar a curiosidade e o interesse dos estudantes pelo mundo subatômico e suas implicações na sociedade.

Revisão de artigos do CBEF (2004-2024)

Prosseguindo com o levantamento de trabalhos sobre o ensino de Física Nuclear, realizamos uma revisão de artigos publicados no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) entre 2004 e 2024. A busca se restringiu a artigos que abordassem exclusivamente o ensino da Física Nuclear, utilizando palavras-chave como “Física Nuclear”, “radioatividade”, “fissão nuclear”, “fusão nuclear” e “física médica”. Assim como na análise da RBEF, a escolha do CBEF se justifica por sua relevância na área de Ensino de Física no Brasil e seu amplo acesso à comunidade de professores de Física do Ensino Médio.

No Quadro 3, apresentamos os artigos selecionados, levando em consideração a os quatro critérios, apresentados na seção 2.2, organizados em: o ano de publicação, o título e os autores de cada trabalho. A tabela servirá como base para a análise e discussão dos trabalhos levantados na revista.

Quadro 3: Revisão de artigos publicados no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) entre 2004 e 2024 com os critérios apresentados

Ano	Título	Autor(es)	Critério(s)
2004	- Radioatividade Natural em Amostras Alimentares	Melquiades, F. L.; Appoloni, C. R.	b, d
2010	- Fenomenologia Nuclear: Uma Proposta Conceitual para o Ensino Médio	Souza, M. A. M.; Dantas, J. D.	b,d
2010	- As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino.	Cordeiro, M. D.; Peduzzi, L. O. Q.	c,d
2012	- Laboratório Virtual de Física Moderna: Atenuação da Radiação pela Matéria	Silva, N. C.	d
2015	- Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores	Soares, A. A.; Moraes, L. E.	c,d

	interativos		
2016	- Resenha: “Aulas de Marie Curie: anotadas por Isabelle Chavannes em 1907”	Souza, G. F.	c
2017	- Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo A inserção da Física Moderna e - Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino - aprendizagem sobre a radioatividade	Boff, C. A.; Bastos, R. O.; Melquiades, F. L. Batista, C. A.; Siqueira, M.	c c,d
2021	- Luz, Câmera, Alfabetização Científica! Compreendendo o protagonismo de Marie Curie pela obra cinematográfica Radioactive.	Melo, M. G. de A.; Heerd, B.	d
2022	- A Transposição Didática do Fenômeno da Radioatividade em Manuais Escolares de Física	Silva Junior, A. C. da; Silva, L. L. da.	d

Fonte: Autor

O artigo “Radioatividade Natural em Amostras Alimentares” (MELQUIADES e APPOLONI, 2004) aborda a importância da medida de traços radioativos em alimentos e no ambiente para monitorar os níveis de radiação aos quais o homem está exposto. O estudo se concentra na análise de amostras de leite em pó por meio da espectrometria gama de alta resolução, com o objetivo de identificar e quantificar a presença de radionuclídeos. Os resultados indicam que os níveis de ^{40}K , ^{137}Cs e ^{232}Th encontrados foram considerados normais e seguros para consumo humano, abaixo dos limites máximos permitidos. O texto pode ser uma ferramenta valiosa para o Ensino Médio, conectando conceitos de Física, Química e Biologia com a realidade dos alunos. Usando o material como referência em sala de aula, é possível trabalhar conceitos de forma contextualizada, desenvolver atividades de leitura e interpretação, utilizar softwares ou plataformas online para simular o decaimento radioativo, promover debates sobre saúde pública e meio ambiente, conectando com o cotidiano. Ao utilizar o artigo como ponto de partida, o professor pode criar um ambiente de aprendizagem engajador, despertando a curiosidade dos alunos.

O artigo, “Fenomenologia Nuclear: Uma Proposta Conceitual para o Ensino Médio” (SOUZA e DANTAS, 2010), argumenta a favor da inclusão de temas de Física Nuclear no Ensino Médio de forma conceitual, explorando a importância histórica e tecnológica de fenômenos nucleares na sociedade moderna. Os autores defendem que a complexidade matemática não deve ser um obstáculo para a compreensão dos conceitos básicos e que a utilização de recursos didáticos como simulações em Java e softwares

gratuitos com ambientes gráficos interativos pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Há uma apresentação detalhada de diversos fenômenos nucleares, incluindo decaimento alfa e beta, efeito Möessbauer, fissão e fusão nuclear. Recomendamos a leitura deste artigo por professores e alunos do Ensino Médio interessados em aprimorar o conhecimento sobre Física Nuclear. O artigo pode ser utilizado para introduzir a fenomenologia nuclear, que se refere ao estudo das propriedades e comportamentos dos núcleos atômicos e suas interações

O artigo, “As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino” (CORDEIRO e PEDUZZI, 2010), explora o uso didático das Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie no ensino da radioatividade, destacando as implicações motivacionais, histórico-epistemológicas e conceituais. Os autores argumentam que as conferências são um recurso valioso para aproximar os alunos do contexto científico da época e promover uma compreensão mais profunda do desenvolvimento da ciência, desmistificando a imagem do cientista genial e isolado. O artigo conclui que a leitura das Conferências do casal Curie representa um recurso didático rico e motivador para o ensino da radioatividade, promovendo a motivação dos alunos, a compreensão da natureza da ciência e a discussão de conceitos-chave. Os autores defendem que a inserção de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos no ensino de ciências contribui para uma formação mais completa e contextualizada dos alunos. O artigo oferece uma oportunidade para abordar a história da radioatividade e o impacto das descobertas de Pierre e Marie Curie no ensino de Física, especialmente no contexto do Ensino Médio.

O artigo, “Laboratório Virtual de Física Moderna: Atenuação da Radiação pela Matéria” (SILVA, 2012), explora a interação da radiação ionizante com a matéria e a implementação de uma simulação computacional para estudar esse fenômeno. A simulação, que modela um sistema de detecção de radiação com fonte, detector e materiais atenuadores, permite investigar a atenuação da radiação em diferentes cenários. O autor discute os detalhes do cálculo da atenuação, explorando as peculiaridades da interação da radiação com a matéria. Além disso, o artigo apresenta exemplos de uso e sugestões de atividades exploratórias, discutindo como a simulação se relaciona com os experimentos de física em laboratório e abordando as motivações e desafios do uso de simulações no Ensino Médio, contribuindo para a aprendizagem de conceitos importantes e o desenvolvimento de habilidades científicas. É importante que o professor adapte a linguagem do artigo e da simulação ao nível de compreensão dos alunos do Ensino Médio.

O trabalho “Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos” (SOARES e MORAES, 2015), explora o uso de simuladores interativos para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no nível médio. Os autores argumentam que a FMC, embora importante, ainda é pouco explorada no EM, e que o uso de tecnologias como simuladores pode auxiliar na compreensão de conceitos complexos, despertando o interesse dos estudantes. Eles apresentam um estudo de caso com turmas do EM da rede pública, onde utilizaram simuladores do projeto PhET (Physics Education Technology), plataforma digital gratuita da Universidade de Colorado que explora o conceito de simulações aplicáveis ao campo das ciências da natureza e matemática para os quais a experimentação possa contribuir para o processo de aprendizagem, para abordar temas como espectroscopia, radioatividade e física nuclear. Os resultados do estudo indicam que o uso dos simuladores auxiliou na compreensão dos tópicos, despertando o interesse dos estudantes e promovendo a interação entre eles e o professor. Os autores concluem que os simuladores interativos são ferramentas valiosas para o ensino, e que seu uso pode contribuir para uma melhor compreensão e interesse dos estudantes por esses temas. O artigo se apoia na teoria sociointeracionista de Vygotsky para embasar a pesquisa. Os resultados do estudo de caso são promissores e fornecem evidências empíricas para apoiar o uso dessa tecnologia em sala de aula.

O artigo trata-se da resenha (SOUZA, 2016) do livro: “Aulas de Marie Curie: anotadas por Isabelle Chavannes em 1907”, escrito por Chavannes, aluna de Curie. Livro que explora uma faceta menos conhecida da famosa cientista Marie Curie: a de educadora. Chavannes (2007) debruça sobre o que documentou nas aulas de física para crianças de 7 a 13 anos. A obra revela detalhes do método de ensino de Curie nas aulas ministradas na École de Physique (Sorbonne). Descreve dez aulas, cada uma explorando um tema de Física Elementar. Curie adotava um método dialógico e investigativo, incentivando a participação dos alunos e a construção do conhecimento por meio de experimentos e observações. O artigo pode ser usado como um recurso indireto para o ensino de Física Nuclear, ao inspirar a adoção de métodos de ensino investigativos e práticos. A abordagem de Marie Curie, focada na experimentação, observação e descoberta, pode ser aplicada para tornar o aprendizado da Física Nuclear mais engajador e significativo para os alunos.

Boff, Bastos e Melquiades (2017) propõem duas práticas de baixo custo para o ensino de Física Nuclear. A primeira prática envolve a medição dos filhos do Radônio-222 coletados do ar de ambientes fechados, utilizando uma câmara de ionização de baixo

custo. A segunda prática envolve a medição do alcance de partículas alfa emitidas pelos filhos do Tório-232 presentes em camisinhas de lampião. Os autores argumentam que a experimentação é uma parte importante do ensino de Física Nuclear e que as práticas propostas podem ajudar a superar as dificuldades financeiras e de acessibilidade, fornecendo uma maneira acessível de os alunos aprenderem sobre Física Nuclear. O artigo fornece instruções detalhadas sobre como conduzir as práticas, incluindo uma breve visão geral dos conceitos de Física Nuclear relevantes para as práticas. A utilização das práticas requer que o professor esteja informado sobre as normas de segurança e garanta que os alunos estejam cientes dos riscos e precauções necessárias. No entanto, a necessidade desses cuidados pode limitar a aplicação no Ensino Médio.

Batista e Siqueira (2017) propõem uma sequência de ensino-aprendizagem inovadora sobre radioatividade para o Ensino Médio, utilizando-se de uma metodologia de pesquisa participativa e cíclica. O estudo se fundamenta na Pesquisa baseada em Projeto e na Sequência de Ensino-Aprendizagem, com o objetivo de inserir a Física Moderna e Contemporânea (FMC) na sala de aula de forma não tradicional. A sequência didática, implementada em turmas de dois Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia no sul da Bahia. Os autores utilizaram vídeos, textos, atividades lúdicas e exercícios para mediar o processo de ensino-aprendizagem. Destaque para as atividades “instabilidade nuclear” e “quebra-cabeça radioativo”, que proporcionaram uma experiência prática e instigante aos alunos. A sequência de ensino-aprendizagem proposta, com suas atividades e recursos didáticos, pode servir como modelo para outros professores que desejem abordar a radioatividade em suas aulas de forma inovadora e contextualizada.

Como ferramenta para promover a alfabetização científica e tecnológica (ACT), o artigo de Melo e Heerdt (2021) analisa o filme “Radioactive 2019”. Os autores argumentam que o filme pode ser utilizado para discutir questões relacionadas à natureza da ciência, gênero na ciência, radioatividade e o modelo linear de desenvolvimento. Eles utilizam a técnica de Análise de Conteúdo de Bardin para analisar o filme e mostram como ele pode ser usado para discutir temas importantes como a construção do conhecimento científico, o papel da mulher na ciência e as implicações sociais da ciência e tecnologia. Os autores concluem que o filme pode ser uma ferramenta valiosa para promover a ACT e que ele pode ser usado para discutir questões importantes sobre a ciência e sua relação com a sociedade, promovendo a alfabetização científica e

tecnológica. O filme pode ser complexo e desafiador para usar em sala de aula, especialmente com alunos mais jovens, sendo que o artigo não discute como o filme pode ser usado em diferentes contextos educacionais.

O artigo de Silva Júnior e Silva (2022) analisa a transposição didática do tema da radioatividade em livros didáticos de física do ensino médio. Os autores identificaram que os livros apresentam uma visão simplificada e distorcida da história da radioatividade, o que pode levar a uma compreensão equivocada da natureza da ciência. O artigo destaca o papel fundamental dos professores na transposição didática interna e sugere que devem estar atentos às distorções presentes nos livros didáticos e buscar complementá-los com outras fontes de informação, como artigos científicos, livros de história da ciência e materiais audiovisuais, contribuindo para a reflexão sobre o ensino da Física e para a melhoria da qualidade da educação científica. Os autores destacam a importância de uma abordagem histórica contextualizada, que leve em conta as controvérsias, os erros e as incertezas inerentes ao processo de construção do conhecimento científico. Essa abordagem pode ajudar os alunos a compreenderem a natureza da ciência e evitar que tenham uma visão distorcida sobre como o conhecimento científico é produzido. O artigo pode ajudar a contextualizar a forma como a radioatividade é introduzida no ensino médio, abordando a necessidade de usar exemplos simples e visualizações para facilitar o entendimento dos alunos com a inclusão de exemplos históricos, como as descobertas de Pierre e Marie Curie, que ajudaram a fundamentar a compreensão moderna da radioatividade.

Em síntese, os artigos analisados no Caderno Brasileiro de Ensino de Física proporcionam um panorama rico e diversificado sobre as abordagens para o ensino da Física Nuclear no Ensino Médio. As propostas contemplam desde recursos tradicionais, como livros e artigos, até ferramentas inovadoras como simulações e filmes, demonstrando a importância de diversificar as estratégias didáticas. A necessidade de contextualizar o ensino, conectando os conceitos à realidade dos alunos e promovendo a interdisciplinaridade, experimentação, leitura crítica e debates sobre temas sociocientíficos são cruciais para um aprendizado. As estratégias e recursos discutidos nos artigos oferecem aos professores ferramentas valiosas para tornar o ensino e o aprendizado engajador, despertando a curiosidade e o interesse dos alunos.

Revisão de artigos da Química Nova na Escola e da Física na Escola (2004-2024)

Visando aprofundar o levantamento sobre o ensino de Física Nuclear, revisamos artigos das revistas Química Nova na Escola (QNEsc) e Física na Escola (FEsc) entre 2004 e 2024, focando em trabalhos que abordam o seu ensino FN e utilizando as mesmas palavras-chave usadas anteriormente, conforme realizado na RBEF e no CBEF. A escolha da QNEsc e FEsc se deve à sua relevância na área de Ensino de Ciências no Brasil e ao amplo acesso que proporciona a professores de Química e Física do Ensino Médio.

No Quadro 4, apresentamos os artigos selecionados, considerando os mesmos quatro critérios adotados nas outras duas análises e organizados da seguinte forma: ano de publicação, título e autores de cada trabalho. Esse quadro servirá como base para a análise e discussão dos trabalhos levantados na revista.

Quadro 4: Revisão de artigos da Química Nova na Escola e da Física na Escola (2004-2024) com os critérios apresentados na seção 2.2

Revista	Ano	Título	Autores	Critério(s)
QNEsc	2004	- A radioatividade e a história do tempo presente	Merçon, Fábio; Quadrat, Samantha Viz	a,b,d
	2010	- Elemento químico rádio	Afonso, J. C.	a,b
	2010	- Radônio	Afonso, J. C.	A
	2011	- O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX	Lima, R. da S.; Pimentel, L. C. F.; Afonso, J. C.	a,b
	2024	- Radioatividade: entre o bem e o mal	Lopes, R. B.; Coutinho, H. N.; Rodrigues, J. M.; Toledo, E. J. L.	c,d
FEsc	2006	- Cidade do Átomo, um Software para o Debate Escolar sobre Energia Nuclear	Eichler, M. L.; Jungles, F.; Del Pino, J. C.	C
	2007	- O que é irradiação? E contaminação radioativa?	Rodrigues Júnior, A. A.	a,d
	2010	- Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio	Siqueira, M.; Pietrocola, M.	d
		- Um modelo concreto para o estudo da estabilidade nuclear no Ensino Médio	Schappo, M. G.	d
	2020	- Física Médica no Ensino Médio	Terini, R. A.	a,b,c,d
	2021	- O ensino de radioatividade na perspectiva da aprendizagem significativa: Uma proposta de sequência didática	Schneider, R. e Bellucco, A.	D
2022	- Um roteiro para a inserção da fusão nuclear no Ensino Médio	Santos, C. A.	b,d	

Fonte: Autor

O artigo “A Radioatividade e a História do Tempo Presente” (MERÇON e QUADRAT, 2004) explora a relação entre a radioatividade e os eventos históricos do século XX, desde sua descoberta até seus impactos na sociedade. Ele se enquadra na abordagem CTS, pois examina a radioatividade de forma contextualizada, entrelaçada com eventos do século XX, como a Segunda Guerra Mundial e a Guerra Fria, considerando as dimensões históricas, sociais, éticas e políticas, e demonstrando a interação complexa e a influência mútua entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Ele aborda as implicações sociais e éticas da energia nuclear, incluindo a corrida armamentista, os desastres nucleares e o debate sobre o uso pacífico da energia nuclear. O texto ilustra como a ciência impulsionou o desenvolvimento de tecnologias que impactaram a sociedade, gerando debates sobre segurança, saúde e políticas energéticas, integrando conhecimentos de história, física, química e ciências sociais para uma análise abrangente, característica da interdisciplinaridade CTS. O artigo pode ser usado para iniciar a discussão sobre a descoberta da radioatividade e suas implicações para a ciência e a sociedade, como em relação à medição da idade de materiais e fósseis através da datação por carbono-14 e outros métodos radioativos, as implicações políticas e sociais da radioatividade, especialmente durante o século XX e as aplicações da radioatividade presentes no mundo contemporâneo.

A abordagem CTS se encaixa no artigo “Elemento Químico Rádio” de Júlio Carlos Afonso (2010) por considerar as relações entre esses três elementos (ciência, tecnologia e sociedade). O texto aborda a descoberta do rádio (ciência) e o desenvolvimento de métodos para sua produção (tecnologia), além de discutir as implicações sociais e os impactos que o uso do rádio teve na sociedade, como a euforia inicial, as promessas de cura, os riscos à saúde e o declínio do seu uso. Aspectos como a regulamentação trabalhista e os congressos internacionais de radiologia também são mencionados, destacando a interação complexa entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando como a descoberta de um novo elemento químico e o desenvolvimento de suas aplicações tecnológicas podem gerar expectativas e euforia, mas também riscos e desafios. A regulamentação e a conscientização sobre os perigos da radiação são exemplos de como a sociedade responde aos avanços científicos e tecnológicos, buscando proteger a saúde e o bem-estar das pessoas. Ao adaptar o texto e utilizar diferentes recursos pedagógicos, o professor poderá usá-lo para promover uma aprendizagem mais significativa e contextualizada, despertando o interesse dos alunos pela ciência e incentivando a reflexão crítica sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade,

podendo ser utilizado para apresentar o rádio (Ra) aos alunos como um elemento químico da tabela periódica, destacando suas propriedades e introduzir a importância histórica de sua descoberta

O artigo “Radônio” (AFONSO, 2010) aborda diversos aspectos científicos e tecnológicos sobre o elemento químico, incluindo sua descoberta, propriedades, ocorrência, riscos à saúde e aplicações. O radônio é um gás nobre radioativo que ocorre naturalmente, sendo a segunda maior causa de câncer de pulmão nos Estados Unidos. No trabalho, o autor descreve a natureza da radioatividade, incluindo o decaimento radioativo do urânio que origina o radônio, as propriedades físico-químicas do gás são relacionadas aos seus efeitos na saúde e no ambiente. O texto também aborda os métodos científicos de detecção e medição do radônio, incluindo o desenvolvimento de instrumentos e técnicas de análise, além das aplicações tecnológicas do radônio, como na braquiterapia para tratamento de câncer, na detecção de falhas geológicas e como traçador radioativo. A importância da conscientização pública sobre os riscos do radônio é enfatizada, promovendo a educação e informação sobre medidas de prevenção e mitigação. As questões éticas relacionadas à exposição humana a substâncias radioativas também são abordadas. Ao combinar o artigo com atividades e discussões que explorem as dimensões CTS, o professor poderá proporcionar uma experiência de aprendizado mais engajadora e significativa para seus alunos, desenvolvendo habilidades de pesquisa, análise crítica e pensamento reflexivo.

O artigo “O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX” (LIMA et al., 2011) explora o impacto inicial da radioatividade no início do século XX. A descoberta do rádio gerou grande entusiasmo e esperança, levando a várias aplicações na vida cotidiana, apesar da compreensão limitada dos seus efeitos na saúde. A euforia inicial deu lugar a uma visão mais crítica com o aumento dos relatos de problemas de saúde e o aprofundamento dos estudos científicos sobre a radioatividade. O artigo serve como um lembrete da importância da cautela e do rigor científico na aplicação de novas tecnologias, especialmente na área da saúde. As práticas médicas questionáveis, como a utilização de água radioativa e medicamentos com radioatividade adicionada, muitas vezes baseadas em "teorias" sem fundamento científico, colocavam em risco a saúde da população. O texto pode ser usado em sala de aula para abordar a história da ciência, mostrando como o conhecimento científico evoluiu ao longo do tempo, e a natureza da ciência, desmistificando a visão da ciência como um conjunto de verdades absolutas. Pode ser

usado para alertar sobre os perigos da automedicação e do uso indiscriminado de substâncias sem comprovação científica, e para discutir a ética na ciência, debatendo os limites éticos da pesquisa e da aplicação de novas tecnologias. O professor pode usar estratégias didáticas como leitura e discussão em grupos, pesquisa e apresentação de casos históricos, simulações de debates e produção de materiais informativos, utilizando recursos complementares como imagens, vídeos, reportagens, livros e sites.

O artigo “Radioatividade: entre o bem e o mal” (LOPES et al., 2024) examina como a revista *Veja* retrata a radioatividade, avaliando se a revista cumpre as funções do jornalismo científico. Os autores concluem que a maioria das matérias retrata a radioatividade de forma negativa, mesmo quando atendem às funções do jornalismo científico, além de apresentarem conceitos equivocados ou vagos. Os autores discutem a importância da mídia na divulgação científica e apontam caminhos para garantir o direito ao exercício da cidadania, como o uso de matérias jornalísticas para discussões em sala de aula e a formação de cientistas com habilidades de comunicação. Apesar de focar em uma única revista, o que pode limitar a generalização das conclusões, o artigo oferece uma análise crítica da cobertura da radioatividade na revista *Veja*, revelando a necessidade de uma abordagem mais completa e precisa sobre o tema. As sugestões apresentadas no artigo são relevantes para a melhoria da educação científica e a promoção de um debate mais informado sobre a radioatividade. O artigo pode ser utilizado como uma provocação, para os alunos poderem discutir como a sociedade reage ao novo conhecimento científico, considerando tanto as expectativas quanto os medos gerados pelas tecnologias nucleares.

O artigo “Cidade do Átomo, um Software para o Debate Escolar sobre Energia Nuclear” (EICHLER et al., 2006) descreve o desenvolvimento e as características do software educativo *Cidade do Átomo*. O software é projetado para envolver os alunos em atividades de resolução de problemas, jogos de papéis e simulações, com o objetivo de promover a compreensão do tema e estimular o debate sobre a produção de energia nuclear. O software apresenta um cenário fictício na *Cidade do Átomo*, que possui uma usina nuclear, nele os alunos assumem o papel de investigadores e devem tomar decisões sobre a expansão da usina, com base em informações coletadas em atividades como: análise de amostras de água e solo, inspeção radiológica e depoimentos de personagens. O artigo destaca a importância da estratégia pedagógica de jogos de papéis (conhecido na língua inglesa como “Role-playing game” - RPG), que permite aos alunos explorar diferentes perspectivas e argumentos sobre o tema. O software inclui personagens com

diferentes opiniões sobre a energia nuclear, o que incentiva os alunos a debaterem e formularem suas próprias conclusões, promovendo o ensino de ciências de forma interativa e envolvente. O software busca estimular o pensamento crítico e a participação dos alunos em debates sobre temas relevantes da sociedade, como a produção de energia nuclear e seus impactos. O artigo permite a discussão de como o software pode ser utilizado no contexto educacional, ajudando os alunos a entender as complexidades da energia nuclear e a refletir sobre suas vantagens e desvantagens.

O artigo “O que é irradiação? E contaminação radioativa?” (RODRIGUES JÚNIOR, 2007) busca esclarecer de forma didática a temática da radiação, frequentemente envolta em mitos e preocupações. O autor diferencia os conceitos de irradiação e contaminação radioativa, demonstrando como a irradiação, ao contrário do que muitos pensam, não torna objetos ou seres vivos radioativos. A explicação sobre a diminuição da radiação com o quadrado da distância da fonte e o mecanismo de propagação da contaminação radioativa, por contato direto ou indireto com o material radioativo, contribuem para a compreensão do tema. O autor critica o uso de termos vagos e imprecisos em notícias sobre acidentes radioativos, como a expressão “a área está extremamente radioativa”, defende o uso de termos mais precisos e informativos, que reflitam a real situação, como “a área ficará isolada em um raio de tantos metros até que os técnicos procedam ao resgate do material”. Argumenta que o uso de termos precisos é importante para evitar o pânico e a desinformação, e que a mídia tem o dever de informar a população de forma clara e objetiva. O texto cumpre o objetivo de elucidar a diferença entre irradiação e contaminação radioativa, desmistificando o tema e promovendo uma compreensão mais clara sobre a radiação.

No trabalho, “Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio” (SIQUEIRA e PIETROCOLA, 2010), os autores tratam da Física Nuclear, especificamente do experimento de espalhamento de Rutherford, fato fundamental para o desenvolvimento da física nuclear e para a compreensão da estrutura do átomo. O experimento, realizado no início do século XX, demonstrou que o átomo possui um núcleo pequeno e denso, onde concentra a maior parte da sua massa e possui carga positiva. O artigo descreve uma atividade didática que simula o experimento de Rutherford, utilizando materiais simples como bolinhas e placas de madeira. Essa atividade tem como objetivo principal facilitar a compreensão do experimento e do conceito de modelo científico pelos alunos do ensino médio. Ao reproduzir o experimento de forma simplificada, os alunos podem visualizar e entender melhor o conceito de

espalhamento e como ele foi utilizado para investigar a estrutura do átomo. No entanto, o artigo não se aprofunda em detalhes específicos da Física Nuclear, como os tipos de radiação, as propriedades dos núcleos atômicos ou as reações nucleares. O foco principal é o ensino do conceito de modelo científico e a utilização do experimento de Rutherford como exemplo de como os modelos são construídos e validados na ciência.

A publicação “Um modelo concreto para o estudo da estabilidade nuclear no Ensino Médio” de Maurício G. Schappo (2010), apresenta um modelo didático inovador para o ensino de Física Nuclear no nível médio. O autor propõe a utilização de materiais simples e de baixo custo, como ímãs, bolas de plástico e velcro, para a construção de um modelo que simula as interações entre prótons e nêutrons no núcleo atômico. Essa abordagem permite que os alunos visualizem e compreendam conceitos abstratos, como a força nuclear forte e a estabilidade nuclear, de forma mais concreta e intuitiva. A utilização de materiais do dia a dia torna a aprendizagem mais engajadora e estimulante, despertando o interesse dos alunos pela Física Nuclear. O autor argumenta que a visualização e a manipulação do modelo permitem que os alunos estabeleçam conexões entre o mundo macroscópico e o mundo microscópico, facilitando a compreensão de conceitos complexos. O modelo proposto, além de simples e de baixo custo, é eficaz na promoção da aprendizagem significativa e no desenvolvimento da intuição física dos alunos, contribuindo para a superação dos desafios no ensino de conceitos abstratos e para o desenvolvimento de uma maior compreensão dos alunos da Física Nuclear.

O artigo “Física Médica no Ensino Médio” de Ricardo A. Terini (2020), defende a inclusão de temas ligados à Física Médica no currículo do EM. O autor destaca a importância crescente dessa área na saúde, com aplicações em radioterapia, diagnóstico por imagens e medicina nuclear. Terini explora como tópicos de Física Médica, como ultrassom, raios X e Ressonância Magnética Nuclear (RMN), podem ser integrados ao currículo e abordados de forma interdisciplinar, conectando a Física com Biologia, Química e História. Essa abordagem pode tornar o aprendizado mais interessante e mostrar a aplicação prática dos conceitos da física, motivando os alunos a se aprofundarem no tema. O autor também discute a importância da Física Médica na formação cidadã, abordando temas como ciência básica versus ciência aplicada, comunicação científica, riscos e benefícios da energia nuclear e a carreira de físico médico. O artigo conclui que a inclusão da Física Médica no EM pode motivar os estudantes a se aprofundarem no estudo da física e à formação profissional na área. O artigo pode ser utilizado com os alunos na explicação sobre o conceito de Física Médica,

sua importância, as tecnologias médicas e tratamentos que fazem uso dos princípios de Física, especialmente voltados para a Física Nuclear

O artigo, “O ensino de radioatividade na perspectiva da aprendizagem significativa: Uma proposta de sequência didática” (SCHNEIDER e BELLUCO, 2021), explora a integração da FMC no EM, focado na radioatividade. Propõe uma sequência didática (SD) baseada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, dividida em quatro etapas: introdução ao tema, história da radioatividade, princípios da radioatividade e mitos e verdades sobre radioatividade. A SD visa desenvolver o pensamento crítico dos alunos por meio de recursos didáticos como simulações, mapas conceituais e recursos audiovisuais, buscando tornar o aprendizado mais engajador e eficaz. A proposta se destaca por abordar um tema atual e relevante, geralmente, negligenciado no ensino médio. A inclusão de atividades diversificadas e recursos didáticos visa promover o conhecimento prévio e a participação ativa dos alunos na construção do conhecimento, problematizando e contextualizando o tema. Apesar de não apresentar resultados de aplicação prática da SD, o artigo oferece uma estrutura inovadora para o ensino de radioatividade, com potencial para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem e formar cidadãos mais informados e críticos sobre o tema.

O artigo “Um roteiro para a inserção da fusão nuclear no Ensino Médio”, de Carlos Alberto dos Santos (2022), propõe a inclusão do tema da Fusão Nuclear no currículo do EM, apresentando um histórico desde as primeiras especulações, descoberta da radioatividade, até os dias atuais, incluindo os desafios tecnológicos e a necessidade de altas temperaturas e confinamento do plasma para realizar a fusão nuclear. O autor também descreve o funcionamento do Tokamak, principal equipamento para a obtenção de energia a partir da fusão nuclear, e os avanços em direção ao "breakeven", ponto em que a energia produzida pela fusão se iguala à energia necessária para iniciar e manter a reação. Conclui ao final com a importância do "breakeven" para o futuro da energia de fusão e os desafios para que se torne uma fonte de energia comercialmente viável. O artigo sugere como estratégia para introduzir o tema da Fusão Nuclear no EM, a notícia da equipe do JET (Joint European Torus) que alcançou recordes de obtenção de energia em um reator Tokamak.

As análises demonstram como cada artigo pode se encaixar em uma perspectiva CTS, explorando as diversas dimensões da interação entre ciência, tecnologia e sociedade. As resenhas foram informativas, capturando os pontos principais de cada artigo e suas contribuições para o debate sobre o ensino da Física Nuclear. Além disso,

se estabeleceram conexões entre os artigos, mostrando como se apresentam na literatura nas últimas duas décadas, destacou-se o potencial de cada artigo como ferramenta de ensino, para promover uma aprendizagem significativa e reflexão crítica dos alunos. A partir desta análise, verificamos a importância de maior aprofundamento do tema e da abordagem CTS, e seria muito útil para professores e estudantes que desejam explorar a radioatividade, física nuclear e física médica de forma crítica e interdisciplinar.

Com essa revisão da literatura da área, é possível estabelecer a frequência com que os critérios estabelecidos neste trabalho são apresentados nos artigos analisados, como indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Quadro de frequência dos critérios (%) nos artigos analisados

	<i>a</i> (%)	<i>b</i> (%)	<i>c</i> (%)	<i>d</i> (%)
RBEF	20,0	86,6	53,3	26,6
CBEF	0,0	20,0	50,0	80,0
QNEsc	80,0	60,0	20,0	40,0
FEsc	28,6	28,6	28,6	85,7

Fonte: Autor

Com os dados presentes na Tabela 1, mostra-se que os trabalhos analisados apresentam de forma mais predominante o critério d (desenvolver projetos interdisciplinares que integrem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento) e o critério menos presente nos trabalhos analisados é o critério a (abordar as implicações sociais e éticas da energia nuclear).

Capítulo 3

Encaminhamento metodológico

O ensino de Física Nuclear frequentemente se limita a conceitos abstratos e descontextualizados. Buscando superar essa dificuldade, este trabalho de caráter descritivo-discursivo, propõe a elaboração de uma SD para o ensino da Física Nuclear.

A SD se apresenta como um instrumento para o ensino, visando promover uma reflexão crítica sobre o currículo de ciências e a construção de conhecimentos socialmente relevantes. Para isso, propõe-se uma abordagem de ensino dialogada, que estimule a participação ativa dos alunos, a expressão de seus conhecimentos prévios e a construção de novos conhecimentos sobre a Física Nuclear.

Nosso objetivo é explorar as potencialidades da SD a partir da perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), visando um ensino e aprendizado mais engajado e contextualizado.

A metodologia CTS usa no ensino de ciências e tecnologia a reflexão crítica sobre seu impacto na sociedade, foco em pensamentos divergentes, soluções de problemas, simulações, controvérsias e debates; esta metodologia possui três objetivos gerais: aquisição de conhecimentos, utilização de habilidades e o desenvolvimento de valores (BYBEE, 1987).

Nosso desafio foi o de organizar uma SD, a partir da análise dos artigos apresentados, integrando as diferentes perspectivas e abordagens. Nela se leva em consideração a progressão dos conceitos, a introdução histórica e contextualizada da Física Nuclear, a exploração de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), culminando em atividades que promovam a alfabetização científica e a reflexão sobre as implicações sociais e tecnológicas da área.

A interdisciplinaridade e a contextualização são elementos norteadores, garantindo que o conhecimento seja construído de forma crítica e reflexiva, estimulando o interesse e a participação ativa dos alunos.

A utilização de diferentes recursos didáticos, como atividade experimental, simulações, vídeos, textos e debates, contribui para a construção de um aprendizado mais dinâmico e engajador.

Para uma abordagem curricular para o ensino de FN no EM, visando uma aprendizagem mais engajadora e crítica, propomos, utilizando a abordagem CTS, a seguinte estrutura:

i. Estrutura do Átomo:

- Iniciar com a composição básica do átomo (prótons, nêutrons e elétrons), introduzindo o conceito de núcleo atômico.
- Discutir o desenvolvimento histórico dos modelos atômicos e a evolução do conhecimento científico.
- Relacionar a estrutura atômica com as propriedades dos elementos químicos.

ii. Radioatividade:

- Abordar os diferentes tipos de decaimento radioativo (alfa, beta e gama), o conceito de meia-vida e suas aplicações.
- Explorar exemplos concretos do uso da radioatividade na datação de fósseis, na medicina nuclear (diagnóstico e tratamento) e em outras áreas.
- Discutir os riscos e benefícios da radiação, promovendo a conscientização sobre o uso responsável da tecnologia nuclear.

iii. Fissão e Fusão Nuclear:

- Explicar os processos de fissão e fusão nuclear, diferenciando suas características e aplicações.
- Abordar a geração de energia nuclear, seus impactos socioambientais e o debate sobre a sustentabilidade dessa fonte energética.
- Discutir o papel da tecnologia nuclear na produção de energia, armamentos e avanços científicos.

iv. Aplicações da Física Nuclear:

- Mostrar a presença da Física Nuclear no cotidiano, como suas aplicações nas áreas da medicina (radioterapia, diagnóstico por imagem), indústria (esterilização de alimentos, controle de qualidade) e geração de energia (usinas nucleares).
- Apresentar exemplos de tecnologias e inovações que utilizam princípios da Física Nuclear.
- Estimular a pesquisa e o debate sobre as implicações éticas e sociais do desenvolvimento e aplicação da Física Nuclear.

O material elaborado foi organizado em uma sequência de sete etapas com um caráter modular atrelado a elas, para que a SD consiga se adaptar a realidade do docente que decida aplicá-la, explorando os conceitos essenciais para o aprendizado.

1ª Etapa: Desvendando o Átomo, uma viagem histórica

A primeira etapa da sequência didática tem como objetivo introduzir os modelos atômicos, conteúdo fundamental para a compreensão da estrutura da matéria. A abordagem histórica e interdisciplinar, relacionando Física e História, permite contextualizar a evolução do conhecimento sobre os átomos. Essa perspectiva proporciona aos alunos uma compreensão mais completa, que vai além dos aspectos técnicos e científicos, ao conectar as descobertas aos seus contextos sociais e históricos.

2ª Etapa: Mergulhando no Espectro Eletromagnético, Radiação Ionizante versus Não Ionizante

Com o objetivo de apresentar o espectro da radiação eletromagnética aos estudantes, esta etapa explora as diversas formas de radiação, seus usos tecnológicos e seus potenciais riscos e benefícios. Abordando a distinção crucial entre radiação ionizante e não ionizante, busca-se desmistificar a ideia de que toda radiação é prejudicial. Essa etapa se alinha aos parâmetros “Conectar a Física Nuclear com a tecnologia” e “Desenvolver projetos interdisciplinares que integrem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento”, promovendo uma compreensão abrangente e contextualizada do tema.

3ª Etapa: Decaimento Radioativo em Ação, uma simulação com dados

Com o objetivo de aprofundar a compreensão do decaimento radioativo, esta etapa propõe um experimento que simula esse processo, conectando-o aos conceitos de fusão e fissão nuclear, com ênfase nesta última como principal mecanismo de geração de energia nuclear. A atividade inclui a análise de textos-base, promovendo a interdisciplinaridade com Língua Portuguesa e abrindo caminho para conexões com outras áreas como Geografia, saúde e tecnologia. Ao explorar a aplicação da Física Nuclear na produção de energia em usinas nucleares, a etapa visa demonstrar a relevância do tema no mundo contemporâneo.

4ª Etapa: A Física Nuclear em Ação, explorando aplicações e implicações

Com o objetivo de ampliar a visão dos alunos sobre a Física Nuclear, esta etapa explora suas diversas aplicações em áreas como medicina, geração de energia e indústria. Ao conectar a Física Nuclear com o cotidiano, a etapa promove discussões sobre as aplicações médicas e industriais, despertando o interesse dos alunos e demonstrando a relevância do tema no mundo contemporâneo. Essa abordagem cumpre os parâmetros “Conectar a Física Nuclear com a tecnologia” e “Incentivar a participação dos alunos em

debates sobre temas sociocientíficos”, estimulando a reflexão crítica e a participação ativa dos estudantes.

5ª Etapa: Aprendendo com o Passado, acidentes Radioativos e suas lições

Com o objetivo de analisar as implicações do uso da radiação, esta etapa apresenta alguns dos acidentes mais impactantes envolvendo materiais radioativos no Brasil e no mundo. A partir de uma perspectiva histórica, a etapa promove a interdisciplinaridade entre a Física Nuclear e outras áreas como Química, Biologia, História e Geografia, explorando as causas, consequências e impactos sociais desses acidentes, com ênfase no descarte inadequado de materiais radioativos. Essa abordagem aprofunda a compreensão dos riscos e desafios relacionados à radiação, cumprindo os parâmetros “Abordar as implicações sociais e éticas da energia nuclear” e “Desenvolver projetos interdisciplinares que integrem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento”.

6ª Etapa: O Dia Seguinte, compreendendo o impacto devastador das Armas Nucleares

Com o objetivo de abordar os perigos e as devastadoras consequências do uso de armas nucleares, esta etapa contempla a exibição de trechos do filme “O Dia Seguinte” (1983), visando gerar um momento de reflexão nos alunos e promover uma discussão orientada sobre o tema. A análise crítica do filme busca explorar as implicações do uso de armas nucleares, questionando sua justificativa e abordando as consequências para a sociedade e para o meio ambiente. Essa atividade interdisciplinar, que integra a Física Nuclear com áreas como Filosofia, Biologia e Química, cumpre os parâmetros “Abordar as implicações sociais e éticas da energia nuclear”, “Incentivar a participação dos alunos em debates sobre temas sociocientíficos” e “Desenvolver projetos interdisciplinares que integrem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento”.

7ª Etapa: Júri Simulado, um debate Nuclear em Mato Grosso do Sul

Com o objetivo de promover uma análise crítica e reflexiva sobre a energia nuclear, esta etapa propõe um júri simulado sobre a implementação de uma usina nuclear no estado de Mato Grosso do Sul. Os alunos, divididos em grupos, argumentam a favor ou contra a implementação, considerando diferentes perspectivas: histórica, econômica, social e ambiental. Essa atividade estimula a participação dos estudantes em debates sobre temas sociocientíficos, desenvolve a capacidade de argumentação e promove a interdisciplinaridade, abordando as implicações sociais e éticas da energia nuclear e suas

áreas de atuação. O júri simulado atende aos quatro critérios adotados no projeto, integrando os diversos aspectos da Física Nuclear em um contexto real e relevante.

Capítulo 4

Resultados e discussões

SD elaborada em uma abordagem CTS

A SD elaborada nesta proposta, para abordar aspectos de Física Nuclear, apresenta possibilidades de, com destaque, avaliar os seus riscos e benefícios locais e globais. Buscou-se desenvolver a alfabetização científica e tecnológica, visando a auxiliar o aluno na construção de conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões científico-tecnológicas na sociedade e atuar na solução dessas questões.

Apresentamos uma SD estruturada em sete etapas, na qual o professor atua como mediador, orientando os alunos na compreensão dos conceitos-chave e estimulando o debate sobre a relevância da Física Nuclear no dia a dia. A SD foi elaborada com ênfase na relação entre a Física Nuclear e o cotidiano, explorando tanto seus benefícios quanto os riscos e desafios relacionados ao seu uso. Apenas como referência, indicamos, em cada etapa, a quantidade de aulas (consideradas aulas de 50 minutos cada) necessárias para o seu desenvolvimento.

4.1 Etapa 1: Desvendando o Átomo, uma viagem histórica

Objetivo: Apresentar os principais modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história, desde a Grécia Antiga até Bohr, destacando as contribuições de cada um para a compreensão da estrutura atômica e suas implicações na Física Nuclear.

Conteúdo: Modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.

Sugestão de duração: 03 Aulas

Ponto de Partida:

- **Provocação:** O professor inicia a etapa com a seguinte pergunta norteadora: “O que vocês sabem sobre o átomo?”. Após ouvir as respostas dos alunos, o professor fará uma breve introdução sobre a importância do átomo como constituinte fundamental da matéria, e como seu estudo é essencial para a Física Nuclear e diversas outras áreas da ciência e tecnologia.

Material:

- Texto base sobre a história dos modelos atômicos (Anexo 01).
- Materiais para a confecção das maquetes: bolas de isopor, placas de isopor, alfinetes, canetas hidrográficas, cola, tinta, pincel e outros materiais que os alunos considerem interessantes para a atividade.

Metodologia e Desenvolvimento:

1. **Exposição dialogada:** O professor apresenta uma visão geral da evolução dos modelos atômicos, desde as primeiras ideias na Grécia Antiga até o modelo de Bohr, contextualizando cada modelo em seu período histórico e destacando as contribuições de cada cientista.
2. **Leitura e discussão:** O professor entrega o texto base sobre a história dos modelos atômicos (Anexo 01) para leitura individual ou em grupo. Em seguida, promove uma discussão sobre o texto, esclarecendo dúvidas e incentivando os alunos a compartilharem suas impressões sobre a leitura.
3. **Construção de maquetes:** Os alunos são divididos em grupos e cada grupo é responsável por construir uma maquete de um dos modelos atômicos estudados (Dalton, Thomson, Rutherford ou Bohr). O professor orienta a atividade, auxiliando os grupos na escolha dos materiais, na interpretação dos modelos e na confecção das maquetes.
4. **Apresentação das maquetes:** Cada grupo apresenta sua maquete para a turma, explicando o modelo atômico escolhido, suas principais características e sua importância histórica. O professor e os demais alunos podem fazer perguntas e

comentários sobre as apresentações.

Avaliação: A avaliação da etapa será feita de forma contínua, considerando o envolvimento dos alunos na confecção das maquetes (opcional), a qualidade das apresentações e a compreensão dos conceitos relacionados aos modelos atômicos.

Observações:

- O professor pode enriquecer a aula com vídeos, imagens e outros recursos visuais sobre a história dos modelos atômicos.
- É interessante que os alunos pesquisem sobre os cientistas que desenvolveram os modelos atômicos (Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr), buscando informações sobre suas vidas e suas contribuições para a ciência.
- Ao final da etapa, o professor pode promover uma discussão sobre a importância dos modelos atômicos para a Física Nuclear e suas aplicações na sociedade, como na medicina, na energia nuclear e em outras áreas.

4.2 Etapa 2: Mergulhando no Espectro Eletromagnético, Radiação Ionizante versus Não Ionizante

Objetivo: Apresentar o espectro eletromagnético, enfatizando as diferenças entre radiação ionizante e não ionizante, seus usos, benefícios, riscos e a presença da radiação no cotidiano. Desmistificar a ideia de que toda radiação é inerentemente perigosa.

Sugestão de duração: 02 Aulas

Ponto de Partida:

- **Provocação:** O professor inicia a etapa com a seguinte pergunta norteadora: “O que é radiação e por que ela é tratada com tanto receio?”. Após ouvir as respostas dos alunos, o professor fará uma breve introdução sobre a natureza da radiação, como ela se propaga e a importância de estudá-la para entender diversos fenômenos naturais e tecnológicos (Anexo 02).

Material:

- Projetor
- Quadro branco/lousa e canetas/giz
- Material de apoio sobre o espectro eletromagnético e Questionário Avaliativo (Anexo 02)

Metodologia e Desenvolvimento:

1. **Apresentação dialogada:** O professor apresenta o espectro eletromagnético utilizando o projetor, explorando a imagem do site da NASA (<https://science.nasa.gov/ems/>), que permite visualizar as diferentes faixas de frequência, seus comprimentos de onda, tamanhos de objetos comparáveis e equipamentos que operam em cada faixa. É crucial destacar a pequena faixa de frequência da luz visível em relação ao restante do espectro. O professor explica que a radiação é uma forma de transmissão de energia que pode ocorrer através de partículas ou ondas eletromagnéticas, com a mesma velocidade de propagação (300.000 km/s), diferenciando-se pela frequência e energia.
2. **Discussão guiada:** O professor, com o auxílio do material de apoio (Anexo 02), aprofunda a discussão sobre o espectro eletromagnético, abordando as características de cada faixa (ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e gama), seus usos (telecomunicações, fornos de micro-ondas, controles remotos, visão, bronzeamento, medicina, processos nucleares), e a distinção fundamental entre radiação ionizante e não ionizante.
 - **Radiação Ionizante:** O professor explica que a radiação ionizante possui

energia suficiente para remover elétrons de átomos ou moléculas, podendo causar danos ao DNA e outras estruturas celulares. Apresenta exemplos como radiação alfa, beta, gama e raios X, detalhando suas características, poder de penetração e exemplos de fontes radioativas (naturais e artificiais).

- **Radiação Não Ionizante:** O professor explica que a radiação não ionizante não possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas, mas pode interagir com a matéria de outras formas, como aquecimento (micro-ondas, infravermelho) ou efeitos biológicos indiretos (queimaduras solares por UV). Apresenta exemplos como ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível e ultravioleta, detalhando seus usos e possíveis riscos em caso de exposição excessiva.
3. **Trabalho em grupos:** Os alunos, organizados em duplas ou trios, recebem o questionário (Anexo 02) para responder e discutir em grupo. O professor circula pela sala, auxiliando os grupos, tirando dúvidas e incentivando a reflexão sobre os temas abordados.
 4. **Socialização e debate:** Após o trabalho em grupo, o professor promove uma discussão geral sobre as respostas do questionário, permitindo que os alunos compartilhem suas conclusões e aprendam uns com os outros. O professor pode aprofundar a discussão sobre temas como os riscos e benefícios da radiação, a presença da radiação no cotidiano e a importância de uma visão crítica sobre o tema.

Avaliação: A avaliação da etapa será feita de forma contínua, considerando o envolvimento do aluno no trabalho em grupo (opcional), a qualidade das respostas do questionário e a compreensão dos conceitos relacionados ao espectro eletromagnético, radiação ionizante e não ionizante.

4.3 Etapa 3: Decaimento Radioativo em Ação, uma simulação com dados

Objetivo: Observar o fenômeno do decaimento radioativo por meio de uma analogia com dados de tabuleiro, comparando os resultados obtidos nos lançamentos dos dados com o comportamento teórico esperado. Conectar o decaimento radioativo com os conceitos de fissão e fusão nuclear, explorando o papel da instabilidade nuclear nesses processos.

Sugestão de duração: 02 Aulas

Ponto de Partida:

- **Provocação:** O professor inicia a etapa com a seguinte pergunta norteadora: “Vimos nas aulas anteriores que a radiação eletromagnética se apresenta em um espectro. Mas como essa radiação é emitida pelos materiais e por quê?”. Após ouvir as respostas dos alunos, o professor introduz o conceito de instabilidade nuclear e como ela está relacionada à emissão de radiação.

Conteúdo: Decaimento radioativo, fissão nuclear e fusão nuclear.

Material:

- Dados de tabuleiro (um conjunto para cada grupo)
- Papel milimetrado (uma folha para cada grupo)
- Roteiro experimental (Anexo 03)

Metodologia e Desenvolvimento:

1. **Discussão inicial:** O professor retoma a discussão sobre a instabilidade nuclear, explicando que alguns núcleos atômicos são instáveis devido ao excesso de energia ou ao desequilíbrio entre o número de prótons e nêutrons. Essa instabilidade leva ao decaimento radioativo, um processo espontâneo em que o núcleo libera energia e/ou partículas para se tornar mais estável. O professor introduz os conceitos de fissão e fusão nuclear como processos relacionados à instabilidade nuclear, explicando que a fissão envolve a quebra de núcleos pesados em núcleos menores, enquanto a fusão envolve a união de núcleos leves para formar núcleos mais pesados.
2. **Apresentação do experimento:** O professor apresenta o experimento com dados de tabuleiro como uma simulação do decaimento radioativo. Explica que cada dado representa um núcleo instável e que o lançamento dos dados simula o processo de decaimento. A remoção dos dados com face par simula a transformação de núcleos instáveis em núcleos estáveis.
3. **Realização do experimento:** Os alunos, divididos em grupos, seguem o roteiro experimental (Anexo 03) para realizar a simulação do decaimento radioativo com

os dados. A cada lançamento, os alunos registram o número de dados restantes e constroem um gráfico no papel milimetrado.

4. **Análise dos resultados:** Após a realização do experimento, os grupos analisam seus gráficos e comparam os resultados obtidos experimentalmente com o comportamento teórico esperado para o decaimento radioativo, que é uma curva de decaimento exponencial. O professor discute com os alunos as possíveis fontes de erros na simulação e como o experimento se relaciona com o decaimento radioativo real.
5. **Conexão com fissão e fusão nuclear:** O professor retoma a discussão sobre fissão e fusão nuclear, explicando como esses processos estão relacionados ao decaimento radioativo. Enfatiza que a fissão é utilizada em reatores nucleares e armas nucleares, enquanto a fusão é o processo que alimenta as estrelas.

Avaliação: A avaliação da etapa será feita de forma contínua, considerando a participação dos alunos nas discussões, o envolvimento na atividade experimental, a qualidade das respostas do questionário e a compreensão dos conceitos relacionados ao decaimento radioativo.

Observações:

- O professor pode referenciar a datação radioativa de artefatos e fósseis com a simulação, apresentando como ela ocorre através do comportamento simulado no experimento, do decaimento radioativo, apresentado no gráfico e o tempo de meia vida do material.

4.4 Etapa 4: A Física Nuclear em Ação, explorando aplicações e implicações

Objetivo: Ampliar a visão dos alunos sobre a Física Nuclear, explorando suas diversas aplicações em áreas como medicina, geração de energia e indústria. Compreender o processo de fissão nuclear e suas implicações. Discutir as aplicações médicas e industriais da Física Nuclear, incentivando a pesquisa, a comunicação científica e o debate sobre os aspectos éticos e sociais relacionados a essas aplicações.

Sugestão de duração: 03 Aulas

Ponto de Partida:

- **Provocação:** O professor inicia a etapa com a seguinte pergunta norteadora: “Por que é importante estudar e entender as aplicações da física nuclear de forma responsável e segura?”. Após ouvir as respostas dos alunos, o professor contextualiza a importância da Física Nuclear no mundo moderno, destacando seus benefícios e desafios.

Conteúdo:

- Aplicações da Física Nuclear na medicina, geração de energia e indústria.
- Processo de fissão nuclear e suas implicações.
- Usos da energia nuclear na geração de energia elétrica.
- Aplicações médicas da Física Nuclear (diagnóstico e tratamento).
- Aplicações industriais da Física Nuclear (controle de qualidade, análise de materiais etc.).

Material:

- Textos de referência sobre as aplicações da Física Nuclear nas áreas médica, energética e industrial (Anexo 04).
- Recursos para pesquisa: livros, internet etc.
- Materiais para apresentação: cartolina, canetas hidrográficas, computador, projetor etc.

Metodologia e Desenvolvimento:

1. **Debate inicial:** O professor promove um debate sobre a pergunta norteadora, incentivando os alunos a expressarem suas opiniões e conhecimentos prévios sobre as aplicações da Física Nuclear.
2. **Divisão em grupos e sorteio:** Os alunos são divididos em grupos e cada grupo recebe, por sorteio, uma das três áreas de aplicação da Física Nuclear: medicina, energia ou indústria.

3. **Pesquisa e estudo:** Os grupos realizam pesquisas sobre a área sorteada, utilizando os textos de referência (Anexo 04) e outros recursos disponíveis. O professor orienta a pesquisa, auxiliando os alunos na busca por informações relevantes e confiáveis.
4. **Elaboração da apresentação:** Os grupos organizam as informações coletadas e elaboram uma apresentação sobre a área sorteada, destacando as principais aplicações da Física Nuclear, os benefícios, os desafios e as implicações éticas e sociais.
5. **Apresentação dos trabalhos:** Cada grupo apresenta seu trabalho para a turma, utilizando os recursos que considerarem mais adequados (cartolina, slides, etc.). O professor e os demais alunos podem fazer perguntas e comentários sobre as apresentações.

Avaliação:

- Qualidade da pesquisa e das informações coletadas.
- Organização e clareza da apresentação.
- Domínio do tema e capacidade de responder a perguntas.
- Trabalho em equipe e colaboração entre os membros do grupo.

Observações:

- O professor pode incentivar a criatividade dos alunos na elaboração das apresentações, sugerindo o uso de recursos visuais, vídeos, e outros materiais que tornem a apresentação mais dinâmica e interessante.
- O professor pode referenciar a datação radioativa de artefatos com a simulação
- É importante que o professor promova uma discussão sobre as implicações éticas e sociais das aplicações da Física Nuclear, incentivando os alunos a refletir sobre os benefícios e riscos de cada aplicação.
- Ao final da etapa, o professor pode apresentar uma síntese da temática da etapa, como a elaboração de um mapa conceitual, para sistematizar os conhecimentos adquiridos durante a etapa.

Resenha dos três textos (Anexo 04):

1 – Energia Nuclear, uma matriz energética complexa e controversa

O texto “Energia Nuclear, uma matriz energética complexa e controversa” oferece uma análise abrangente da energia nuclear, desde seus fundamentos e aplicações até suas vantagens, desvantagens e desafios. Aborda os dois processos principais de geração de

energia nuclear: fissão, utilizada na maioria das usinas, e fusão, ainda em desenvolvimento. O texto destaca a importância da energia nuclear na matriz energética global, com cerca de 14% da eletricidade mundial sendo gerada por essa fonte, concentrada em países como França, Japão e Estados Unidos.

Além disso, o texto explora as complexidades da energia nuclear, apresentando vantagens como a não emissão de gases de efeito estufa e a alta densidade energética, mas também desvantagens como o risco de acidentes e a questão do resíduo nuclear. O funcionamento de uma usina nuclear, com suas múltiplas barreiras de segurança, e o processo de geração de energia também são descritos. Por fim, o texto conclui que a energia nuclear é uma fonte complexa e controversa, com um futuro dependente de avanços tecnológicos, diálogo transparente e gestão responsável.

2 – A Física a Serviço da Saúde, uma jornada do átomo ao Corpo Humano

O texto “A Física a Serviço da Saúde, uma jornada do átomo ao Corpo Humano” traça um panorama da influência da física no desenvolvimento de técnicas médicas, desde as descobertas iniciais dos raios X e da radioatividade até as modernas técnicas de imagem e tratamento médico. A radiografia, a medicina nuclear e a radioterapia surgiram como resultado da aplicação desses conceitos fundamentais da física, abrindo caminho para o desenvolvimento de ferramentas diagnósticas e terapêuticas essenciais.

O texto explora também como a física impulsionou a criação de técnicas como o PET-SCAN e a ressonância magnética nuclear, que revolucionaram a capacidade de visualizar o corpo humano e diagnosticar doenças. A fusão do PET com a tomografia computadorizada (PET-CT) e o uso da radioterapia no tratamento do câncer ilustram a contínua contribuição da física para a medicina. Por fim, o texto destaca a importância da Física Médica como uma disciplina que integra esses conhecimentos, impulsionando a inovação e o avanço da saúde humana.

3 – A Física Nuclear, uma ferramenta essencial para a Indústria Moderna

O texto “A Física Nuclear, uma ferramenta essencial para a Indústria Moderna” explora as diversas aplicações da Física Nuclear no contexto industrial, demonstrando seu papel crucial para aprimorar processos, garantir a qualidade e segurança de produtos, e impulsionar a inovação. A radiografia industrial, que permite visualizar o interior de objetos sem danificá-los, e a radiometria, utilizada para controle de qualidade na produção de materiais, são exemplos de como a Física Nuclear contribui para a eficiência e segurança industrial.

Além disso, o texto destaca o uso da irradiação na conservação de alimentos e esterilização de materiais médicos, a aplicação de técnicas nucleares na análise da composição e estrutura de materiais, e a capacidade da radiação para modificar propriedades e criar materiais mais resistentes. O texto finaliza ressaltando a importância da Física Nuclear para a segurança industrial, com o uso de sensores e detectores para monitorar níveis de radiação em ambientes de alto risco.

4.5 Etapa 5: Aprendendo com o Passado, acidentes Radioativos e suas lições

Objetivo: Apresentar alguns dos acidentes radioativos mais impactantes da história do Brasil e do mundo, destacando suas causas e consequências. Promover uma reflexão crítica sobre os riscos da radiação, a importância da segurança nuclear e as lições que podemos aprender com esses eventos. Estimular a pesquisa e o desenvolvimento de habilidades de comunicação e apresentação.

Sugestão de duração: 02 Aulas

Ponto de Partida:

- **Provocação:** O professor inicia a etapa com a seguinte pergunta norteadora: “O que é um acidente radioativo?”. Após ouvir as respostas dos alunos, o professor contextualiza a importância de conhecer os acidentes radioativos para prevenir futuros eventos e garantir o uso seguro da radiação.

Conteúdo:

- Acidentes radioativos: causas, consequências e impactos.
- Acidente de Chernobyl (1986): contexto histórico, falhas de segurança, consequências para a saúde humana e o meio ambiente.
- Acidente de Goiânia (1987): exposição ao césio-137, consequências para a saúde das vítimas e impacto social.
- Medidas de prevenção de acidentes radioativos: regulamentação, fiscalização, treinamento e conscientização.

Material:

- Projetor e caixa de som
- Vídeos sobre acidentes radioativos:
 - Chernobyl 1986: <https://www.youtube.com/watch?v=GLZRGKJm1W8>
 - Consequências de Chernobyl: <https://youtu.be/h8Dzyn7hMKU>
 - Acidente com Césio-137 em Goiânia: <https://youtu.be/UrtenQ77IUA?si=C6h84doC6t6DAsa4>
- Recursos para pesquisa: livros, internet, artigos científicos etc.
- Materiais para apresentação: cartolina, canetas hidrográficas, computador, projetor etc.

Metodologia:

1. **Exibição dos vídeos:** O professor exhibe os vídeos sobre os acidentes radioativos, incentivando os alunos a observarem as causas, consequências e impactos de cada

evento.

2. **Discussão orientada:** Após a exibição dos vídeos, o professor promove uma discussão orientada, abordando os seguintes tópicos:
 - Causas e consequências dos acidentes.
 - Impactos na saúde humana e no meio ambiente.
 - Lições aprendidas e medidas de prevenção.
 - Responsabilidade social e ética no uso da radiação.
3. **Pesquisa “mitos e verdades”:** Os alunos, divididos em grupos, pesquisam sobre os acidentes de Chernobyl e Goiânia, e sobre medidas de prevenção de acidentes radioativos. Cada grupo deve elaborar uma lista de “dois mitos e duas verdades” sobre cada acidente.
4. **Apresentação dos trabalhos:** Os grupos apresentam seus trabalhos para a turma, utilizando diferentes formatos (quadro, giz, vídeos, slides, cartazes, exposições etc.). O professor e os demais alunos podem fazer perguntas e comentários sobre as apresentações.

Avaliação:

- Qualidade da pesquisa e das informações coletadas.
- Clareza e criatividade na apresentação dos trabalhos.
- Capacidade de distinguir “mitos e verdades” sobre os acidentes abordados.
- Trabalho em equipe e colaboração entre os membros do grupo.

Observações:

- O professor pode complementar a exibição dos vídeos com fotos, imagens e depoimentos de pessoas afetadas pelos acidentes radioativos.
- É importante sensibilizar os alunos sobre o sofrimento causado pelos acidentes radioativos e a importância de prevenir novos eventos.
- O professor pode encerrar a etapa com um convite a profissionais da área de radioproteção, caso haja esta possibilidade, para palestrar sobre o tema e compartilhar suas experiências.
- A atividade de “mitos e verdades” visa desmistificar crenças equivocadas sobre a radiação e promover uma visão científica e crítica sobre o tema.

Resenha dos vídeos:

Vídeo 1 – Entenda o Acidente Nuclear de Chernobyl na Ucrânia há 30 anos

O vídeo “Entenda o Acidente Nuclear de Chernobyl na Ucrânia há 30 anos” do canal 10 MINUTES, publicado em 24 de abril de 2016, relembra o desastre nuclear de Chernobyl, ocorrido em 25 de abril de 1986.

O vídeo descreve o teste de segurança que deu errado no reator 4 da usina nuclear, causando uma série de explosões e liberando uma enorme quantidade de material radioativo na atmosfera. As imagens e a narração retratam o caos e a destruição causados pelo acidente, mostrando o incêndio incontrolável, a nuvem de fumaça radioativa e os bombeiros lutando contra o desastre sem equipamento de proteção adequado.

O vídeo também destaca o heroísmo dos 500 mil homens que trabalharam para conter o desastre e evitar uma segunda explosão ainda mais devastadora. As imagens inéditas de jornalistas que se arriscaram para documentar o evento e os relatos dos sobreviventes ajudam a ilustrar a magnitude da tragédia e o impacto duradouro do acidente.

O vídeo termina com uma reflexão sobre as consequências do desastre de Chernobyl, que continuam a afetar a região e o mundo décadas depois. A mensagem principal é de que o desastre de Chernobyl serve como um lembrete dos perigos da energia nuclear e da importância da segurança e da responsabilidade na gestão de tecnologias complexas.

Vídeo 2 – Chernobyl: as terríveis consequências

O sítio *Nerdologia*, em seu vídeo “Chernobyl: as terríveis consequências”, explora o desastre nuclear de Chernobyl sob diferentes perspectivas, indo além da mera descrição do acidente. O vídeo, publicado em 7 de fevereiro de 2017, analisa as motivações políticas por trás da divulgação de informações sobre o acidente, tanto pela União Soviética quanto pelos Estados Unidos, contextualizando-as dentro da Guerra Fria. Através de uma linguagem clara e imagens impactantes, o vídeo examina as consequências do desastre, incluindo o impacto na saúde da população, a contaminação ambiental e a criação de zonas de exclusão.

Além disso, o *Nerdologia* discute o papel da mídia na cobertura do evento, destacando como a desinformação e a propaganda influenciaram a percepção pública do desastre. O vídeo também aborda a criação da Associação Mundial de Operadores Nucleares e a assinatura de acordos internacionais de segurança nuclear como consequência direta de Chernobyl, demonstrando como o desastre impulsionou a cooperação global em questões de segurança nuclear.

Por fim, o vídeo levanta questões éticas sobre o uso da energia nuclear, explorando o dilema entre a necessidade de energia e os riscos inerentes à tecnologia. “Chernobyl: as terríveis consequências” é um convite à reflexão sobre as lições aprendidas com o desastre e os desafios que ainda enfrentamos em relação à segurança e à transparência no uso da energia nuclear. Com mais de 1 milhão de visualizações, o vídeo demonstra a relevância do tema e o interesse do público em compreender as complexas implicações do desastre de Chernobyl.

Vídeo 3 – O maior desastre Radioativo da História do Brasil

O vídeo “O maior desastre Radioativo da História do Brasil” do Canal Nostalgia, apresentado por Felipe Castanhari, narra o acidente com o Césio-137 em Goiânia, em 1987. Publicado em 11 de agosto de 2021, o vídeo já acumula mais de 4 milhões de visualizações. Através de animações e da narrativa de Castanhari, o vídeo reconstitui a história do acidente desde o momento em que catadores de lixo encontram um aparelho de radioterapia abandonado em uma clínica desativada, até as consequências devastadoras da contaminação por radiação. O vídeo aborda o sofrimento das vítimas, o pânico generalizado na cidade e a luta dos sobreviventes contra o preconceito e os problemas de saúde.

O acidente, classificado como nível 5 na escala internacional de acidentes nucleares, teve um impacto profundo na vida dos moradores de Goiânia e deixou um legado de medo e desconfiança em relação à radiação. O vídeo destaca a história da pequena Leide, de apenas seis anos, que se tornou símbolo da tragédia após ingerir acidentalmente o pó de césio-137. Além das vítimas fatais, o acidente deixou centenas de pessoas contaminadas e causou danos irreparáveis à saúde de muitas outras, que sofreram com doenças como câncer, problemas respiratórios e hemorragias.

O vídeo do Canal Nostalgia cumpre um importante papel ao resgatar a memória do acidente com o Césio-137 e conscientizar as novas gerações sobre os perigos da radiação e a importância da segurança no manejo de materiais radioativos. Através de uma linguagem acessível e recursos visuais, o vídeo traz à tona um capítulo sombrio da história brasileira e nos convida a refletir sobre as responsabilidades e as consequências do uso da tecnologia nuclear.

4.6 Etapa 6: O Dia Seguinte, compreendendo o impacto devastador das Armas Nucleares

Objetivo: Abordar o desenvolvimento e o uso de armas nucleares, explorando suas consequências e perigos, com foco nos impactos humanitários, sociais e ambientais. Promover uma reflexão crítica sobre a corrida armamentista e a necessidade de paz e desarmamento nuclear, utilizando o filme “O Dia Seguinte” (1983) como ferramenta de sensibilização e análise.

Sugestão de duração: 02 Aulas

Ponto de Partida:

- **Provocação:** O professor inicia a etapa com a seguinte pergunta norteadora: “Durante a Segunda Guerra Mundial, as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki sofreram com o uso de bombas nucleares lançadas pelos EUA. Vocês sabem dizer as consequências deste fato para o local?”. Após ouvir as respostas dos alunos, o professor contextualiza o cenário da Guerra Fria e a corrida armamentista, que levaram ao desenvolvimento e à proliferação de armas nucleares.

Conteúdo:

- Histórico do desenvolvimento de armas nucleares: Projeto Manhattan, Hiroshima e Nagasaki.
- Tipos de armas nucleares e seus efeitos: bomba atômica, bomba de hidrogênio.
- Consequências do uso de armas nucleares:
 - Destruição em massa e perdas humanas.
 - Efeitos da radiação: doenças, mutações genéticas, contaminação ambiental.
 - Impacto social e psicológico: colapso da infraestrutura, crise humanitária, trauma coletivo.
- Corrida armamentista e seus perigos: escalada de tensões, risco de guerra nuclear, desestabilização global.
- Movimentos de desarmamento nuclear e a busca pela paz.

Material:

- Projetor, mídia ou acesso à internet, computador e caixa de som.
- Trecho do filme “O Dia Seguinte” (1983) – do minuto 54min ao 1h06min
<https://youtu.be/o8T3zLoLQUU?si=LNVS90WzCdGO9eUb>

- Sinopse do filme “O Dia Seguinte”.
- Lista de exercícios (Anexo 05).

Metodologia e Desenvolvimento:

1. **Introdução e contextualização:** O professor apresenta o tema das armas nucleares, abordando o contexto histórico da Guerra Fria e a corrida armamentista (Projeto Manhattan – Anexo 05).
2. **Exibição do filme:** O professor exhibe o trecho selecionado do filme “O Dia Seguinte” (1983), que retrata as consequências devastadoras de um ataque nuclear.
3. **Discussão orientada:** Após a exibição do filme, o professor promove uma discussão orientada sobre os seguintes tópicos:
 - Causas que levaram ao uso de armas nucleares no filme.
 - Impactos do uso de armas nucleares na sociedade e no meio ambiente.
 - Consequências a curto e longo prazo da guerra nuclear.
 - Questões éticas e morais relacionadas ao uso de armas nucleares.
 - Importância do desarmamento nuclear e da busca pela paz.
4. **Resolução da lista de exercícios:** Os alunos respondem à lista de exercícios (Anexo 05), que aborda os temas discutidos na etapa, com questões que estimulam a reflexão e o aprofundamento do conhecimento sobre as armas nucleares.

Avaliação:

- Qualidade das respostas da lista de exercícios.
- Capacidade de analisar criticamente o filme e relacioná-lo com o conteúdo da etapa.
- Compreensão das consequências e perigos das armas nucleares.
- Desenvolvimento de uma postura crítica e reflexiva sobre a corrida armamentista e a necessidade de paz.

Observações:

- O professor pode complementar a exibição do filme com imagens, vídeos e depoimentos sobre as vítimas de Hiroshima e Nagasaki.
- É importante sensibilizar os alunos sobre o sofrimento causado pelas armas nucleares e a importância de prevenir seu uso.
- O professor pode encerrar essa etapa com uma palestra sobre o tema, convidando os professores de História e Geografia da escola ou mesmo especialistas em

relações internacionais e desarmamento, caso possível.

Resenha do Filme:

O Dia Seguinte (1983) é uma obra cinematográfica ficcional que retrata as consequências devastadoras de uma guerra nuclear. A trama se desenrola em Lawrence, Kansas, acompanhando a vida de cidadãos comuns que se veem subitamente diante da iminência de um ataque nuclear. O filme retrata o medo e a incerteza da população, os preparativos para o desastre e o caos que se instala após as explosões. As cenas de destruição em massa, a luta pela sobrevivência em meio à radiação e a perda de entes queridos compõem um retrato cru e realista do horror da guerra nuclear.

O filme vai além da mera representação da catástrofe, explorando também as consequências a longo prazo da guerra nuclear. A escassez de recursos, a contaminação ambiental, as doenças e a desintegração social são retratadas de forma contundente, mostrando o impacto profundo e duradouro do conflito na vida dos sobreviventes. O filme levanta questões sobre a fragilidade da civilização e a importância da paz.

Com mais de 2 horas de duração, “O Dia Seguinte” é um filme emocionante e perturbador que nos convida a refletir sobre os perigos da corrida armamentista e a necessidade de buscar soluções pacíficas para os conflitos internacionais.

Link do filme completo: <https://youtu.be/NHGdZN29p3Q?si=Ov2DWvIC93wN04bw>

4.7 Etapa 7: Júri Simulado, um debate Nuclear em Mato Grosso do Sul

Objetivo: Promover um debate crítico e reflexivo sobre a implementação de uma usina nuclear em Mato Grosso do Sul, considerando diferentes perspectivas: histórica, econômica, social, ambiental e de segurança. Desenvolver habilidades de pesquisa, argumentação, trabalho em equipe e comunicação oral. Estimular a participação ativa dos alunos em um ambiente de simulação jurídica.

Sugestão de duração: 03 Aulas

Ponto de Partida:

- **Simulação com professores:** O professor inicia a etapa realizando uma breve simulação de júri simulado com a participação de outros professores (Química, Biologia, etc.), demonstrando o funcionamento da atividade e os diferentes papéis dos participantes.
- **Estudantes atuando:** Após, os estudantes são divididos em grupos denominados “Júri”, “Defensores” e “Acusadores”, para realizarem pesquisa a partir dos materiais disponibilizados e preparação dos argumentos a serem apresentados no júri simulado.

Conteúdo:

- Energia nuclear: vantagens, desvantagens e implicações.
- Impacto ambiental de usinas nucleares: geração de resíduos radioativos, risco de acidentes.
- Segurança em usinas nucleares: medidas de prevenção e mitigação de riscos.
- Aspectos sociais e econômicos da energia nuclear: geração de empregos, custos de produção, impacto nas comunidades locais.
- O caso de Mato Grosso do Sul: potencial para geração de energia nuclear, fatores favoráveis e desfavoráveis.

Material:

- Materiais de pesquisa: reportagens, artigos, documentos, vídeos, etc. (sugestões abaixo).
- Materiais para o júri simulado: cartolina, canetas hidrográficas, computador, projetor etc.

Metodologia:

1. **Divisão em grupos:** Os alunos são divididos em três grupos: “Júri”, “Defensores” e “Acusadores”.
 - **Júri:** Atua como “jurados”, ouvindo os argumentos de ambos os lados e formulando perguntas.
 - **Defensores:** Defendem a implementação da usina nuclear em MS, apresentando argumentos favoráveis.
 - **Acusadores:** Argumentam contra a implementação da usina, apresentando os riscos e desvantagens.
2. **Pesquisa e preparação:** Os grupos realizam pesquisas sobre o tema, utilizando os materiais disponíveis e buscando informações relevantes para fundamentar seus argumentos.
3. **Orientação do professor:** O professor acompanha o processo de pesquisa e preparação dos grupos, auxiliando na organização das ideias, na busca por fontes confiáveis e na elaboração dos argumentos.
4. **Realização do júri simulado:** O júri simulado é realizado em sala de aula, seguindo as regras básicas de um julgamento. Os grupos apresentam seus argumentos, respondem a perguntas do júri e defendem suas posições, conforme orientação no Anexo 06.
5. **Debate e decisão:** Após a apresentação dos argumentos, o júri se reúne para deliberar e anunciar sua decisão sobre a implementação da usina nuclear em MS.

Sugestões de materiais de pesquisa:

- “Com novos projetos, setor de celulose de MS pode produzir energia equivalente a 3,8 hidrelétricas de Jupia”:

<https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2024/11/29/com-novos-projetos-setor-de-celulose-de-ms-pode-produzir-energia-equivalente-a-5-hidreletricas-de-jupia.ghtml>

- Acidente com Césio-137 em Goiânia (1987):

<https://www.youtube.com/watch?v=UrténQ77IUA>

- “Cientistas dão novo passo em direção à energia de fusão nuclear quase ilimitada”:

<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/cientistas-dao-novo-passo-em-direcao-a->

[energia-de-fusao-nuclear-quase-ilimitada/](#)

- “Governo vê energia nuclear como parte da transição verde e quer Angra 3 até 2028”:

<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/governo-ve-energia-nuclear-como-parte-da-transicao-verde-e-quer-angra-3-ate-2028/>

- Levantar artigos e reportagens sobre acidentes nucleares (Chernobyl, Fukushima).
- Busca de documentos e relatórios sobre a situação energética de Mato Grosso do Sul.
- Busca das Leis e Regulamentações sobre energia nuclear no Brasil.

Avaliação:

- Participação dos alunos na pesquisa e preparação dos argumentos.
- Qualidade da argumentação e domínio do tema.
- Capacidade de trabalhar em equipe e respeitar diferentes pontos de vista.
- Desempenho durante o júri simulado: clareza na exposição das ideias, capacidade de persuasão, resposta a perguntas.
- Reflexão individual sobre o tema e elaboração de um texto argumentativo apresentando sua posição sobre a implementação da usina nuclear em MS.

Observações:

- O professor pode convidar profissionais da área de energia nuclear, caso seja possível, para assistir ao júri simulado e comentar o desempenho dos alunos.
- É importante garantir que o júri simulado seja conduzido em um ambiente de respeito e democracia, onde todos os alunos tenham a oportunidade de expressar suas opiniões e argumentar livremente.
- A etapa pode ser encerrada com uma discussão final sobre as diferentes perspectivas apresentadas no júri simulado e a importância do debate informado para a tomada de decisões sobre questões sociocientíficas complexas.

Capítulo 5

Discussões sobre a SD elaborada

A SD, estruturada em sete etapas, visa promover a alfabetização científica, estimular a reflexão sobre as implicações sociais e tecnológicas da Física Nuclear e incentivar a participação ativa dos alunos.

Sua construção levou em consideração a progressão dos conceitos, a introdução histórica e contextualizada da Física Nuclear, a exploração de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e a promoção de atividades que estimulem o pensamento crítico e a construção do conhecimento. A interdisciplinaridade e a contextualização foram elementos norteadores em todo o processo, procurando garantir que o conhecimento seja construído de forma crítica e reflexiva.

Para orientar a elaboração da SD, foram definidas quatro categorias de análise, que permeiam todas as etapas:

- i. Desenvolver projetos interdisciplinares que integrem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento.
- ii. Conectar a Física Nuclear com a tecnologia.
- iii. Abordar as implicações sociais e éticas da energia nuclear.
- iv. Incentivar a participação dos alunos em debates sobre temas sociocientíficos.

A seguir, apresentamos uma breve discussão de cada etapa da SD, destacando como os critérios foram contemplados e os principais resultados esperados:

1ª Etapa: Desvendando o Átomo, uma viagem histórica

Critérios: Desenvolver projetos interdisciplinares; conectar a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento.

Resultados: Compreensão da evolução histórica dos modelos atômicos e sua importância para a Física Nuclear; desenvolvimento da visão crítica sobre a construção do conhecimento científico; integração com a História e outras áreas do conhecimento.

2ª Etapa: Mergulhando no Espectro Eletromagnético, Radiação Ionizante versus Não Ionizante

Critérios: Conectar a Física Nuclear com a tecnologia; desenvolver projetos interdisciplinares.

Resultados: Compreensão do espectro eletromagnético e seus diferentes tipos de radiação; identificação da presença da radiação no cotidiano; distinção entre radiação

ionizante e não ionizante; discussão sobre os riscos e benefícios da radiação; integração com a tecnologia e outras áreas do conhecimento.

3ª Etapa: Decaimento Radioativo em Ação, uma simulação com dados

CrITÉrios: Desenvolver projetos interdisciplinares; conectar a Física Nuclear com a tecnologia.

Resultados: Compreensão dos fenômenos nucleares como decaimento radioativo, fissão e fusão nuclear; realização de experimento e análise de dados; conexão com a produção de energia e outras aplicações da Física Nuclear; integração com a Língua Portuguesa e outras áreas.

4ª Etapa: A Física Nuclear em Ação, explorando aplicações e implicações

CrITÉrios: Conectar a Física Nuclear com a tecnologia; incentivar a participação dos alunos em debates.

Resultados: Conhecimento das diversas aplicações da Física Nuclear na medicina, geração de energia e indústria; compreensão do processo de fissão nuclear e seus usos; discussão sobre as implicações éticas e sociais da energia nuclear; desenvolvimento de habilidades de pesquisa e apresentação.

5ª Etapa: Aprendendo com o Passado, acidentes Radioativos e suas lições

CrITÉrios: Abordar as implicações sociais e éticas da energia nuclear; desenvolver projetos interdisciplinares.

Resultados: Conhecimento de acidentes radioativos e seus impactos; reflexão sobre os riscos e desafios do uso da radiação; discussão sobre medidas de segurança e prevenção; integração com a História, Geografia, Química e Biologia.

6ª Etapa: O Dia Seguinte, compreendendo o impacto devastador das Armas Nucleares

CrITÉrios: Abordar as implicações sociais e éticas da energia nuclear; incentivar a participação em debates; desenvolver projetos interdisciplinares.

Resultados: Compreensão dos perigos e consequências do uso de armas nucleares; reflexão crítica sobre a corrida armamentista e a necessidade de paz; integração com a Filosofia, Biologia e Química.

7ª Etapa: Júri Simulado, um debate Nuclear em Mato Grosso do Sul

CrITÉrios: Todos as quatro categorias.

Resultados: Debate sobre a implementação de uma usina nuclear em MS, considerando diferentes perspectivas; desenvolvimento de habilidades de pesquisa, argumentação, trabalho em equipe e comunicação; participação ativa em um ambiente de

simulação jurídica; reflexão sobre as implicações sociais, econômicas, ambientais e éticas da energia nuclear.

Acreditamos que a SD elaborada deve promover um aprendizado significativo e contextualizado. A abordagem interdisciplinar, a utilização de diferentes recursos e a promoção de debates e reflexões podem contribuir para a formação dos alunos como cidadãos críticos e conscientes.

Capítulo 6

Considerações Finais

Nosso trabalho oferece uma proposta abrangente e inovadora para o ensino de Física Nuclear no ensino médio. A SD em abordagem CTS, construída com base em uma abordagem interdisciplinar e contextualizada, visa promover a alfabetização científica e estimular o desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos, capacitando-os a compreender e analisar o papel da Física Nuclear na sociedade e no mundo contemporâneo.

A progressão das etapas, desde a introdução histórica dos modelos atômicos até o debate sobre a implementação de uma usina nuclear em Mato Grosso do Sul, deve permitir que os alunos construam seus conhecimentos de forma gradual e significativa. A utilização de diferentes recursos didáticos, como experimentos, vídeos, debates e júri simulado, deve contribuir para tornar o aprendizado mais dinâmico e engajador.

A ênfase na interdisciplinaridade, presente em todas as etapas da SD, deve estimular os alunos a conectarem a Física Nuclear com outras áreas do conhecimento, como História, Química, Biologia, Geografia e Filosofia, ampliando sua compreensão do tema e desenvolvendo uma visão mais crítica e reflexiva sobre as implicações sociais, éticas e tecnológicas da área.

Acreditamos que a aplicação da Sequência Didática (SD) proposta neste trabalho poderá contribuir significativamente para o ensino de Física Nuclear, despertando o interesse dos alunos, promovendo a participação ativa e estimulando a construção de um conhecimento mais profundo e contextualizado. A sequência didática oferece um caminho para que os alunos não apenas compreendam os conceitos da Física Nuclear, mas também desenvolvam habilidades essenciais para o exercício da cidadania, como a capacidade de analisar criticamente informações, participar de debates e tomar decisões sobre questões sociocientíficas complexas.

Para que a aplicação da SD proposta seja efetiva e atenda às necessidades dos alunos nos quais foram aplicados a SD, em um trabalho futuro será importante a montagem de material didático e o nosso trabalho também pode ser ampliado para a área de Filosofia da Ciência através da revisão da literatura feita. A aplicação poderá ocorrer durante as aulas regulares, em unidades curriculares específicas ou em projetos extracurriculares, adaptando-se à realidade de cada docente e unidade escolar. Recomendamos a aplicação da SD para alunos do Ensino Médio, especialmente a partir

do 2º ano, considerando que possuem conhecimento prévio mais abrangente sobre o tema. No entanto, etapas da SD podem ser adaptadas e utilizadas em turmas anteriores, especialmente considerando que a sugestão de duração da SD como um todo resulta em 17 aulas, correspondendo a, no mínimo, 8,5% de todo o ano letivo.

Espera-se que este trabalho inspire professores e pesquisadores a buscarem abordagens inovadoras para o ensino de Física Nuclear, utilizando a SD como ponto de partida para a construção de práticas pedagógicas que possibilitem a formação de alunos mais informados, críticos e participativos na sociedade.

Referências

AFONSO, Júlio Carlos. Elemento químico rádio. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 1, p. 58-59, fev. 2010.

AFONSO, Júlio Carlos. Radônio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 267-268, nov. 2010.

AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. (Ed.). **STS education: International perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994. p. 47-59.

ALVES, I.; BRAZ, C.; PESTANA, S. **Aplicações da Energia Nuclear Apostila educativa Por ELIEZER DE MOURA CARDOSO Colaboradores**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>>.

BATISTA, Carlos Alexandre dos Santos; SIQUEIRA, Maxwell. A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 880-902, 2 dez. 2017.

BONFIM, C. S.; STRIEDER, R. B. Que estamos discutindo sobre radioatividade e energia nuclear na interface Educação CTS/Natureza da Ciência? In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO CTS, 8., 2022. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2022. v. 8, p. 10101024.

BOCH, Layara Baltokoski. **Ensino de Física Nuclear com enfoque CTS por meio da experimentação**. 2018. 82 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática - Mestrado Profissional) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2018.

BOFF, C. A.; BASTOS, R. O.; MELQUIADES, F. L. Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 236-247, abr. 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2018.

BYBEE, R. W. **Science education and the science-technology-society (STS) theme**. **Science Education**, v. 71, n. 5, p.667-683, 1987

CHAVANNES, Isabelle. **Aulas de Marie Curie: anotadas por Isabelle Chavannes em 1907**, tradução de Waldyr Muniz Oliva. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007.

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

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 3601, 2011.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 3602, 2013.

CORRÊA, S. M. F.; SOUZA, J. R. T.; CASTRO, G. A. M. Abordagem CTS no conteúdo de Radioatividade: possíveis contribuições para a participação social do educando. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2023. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: [URL inválido removido]. Acesso em: 20 dez. 2024.

DIEGUEZ, C. M. T.; MONTANHEIRO, L. V.; CLETO, L. B.; BONFIM, M. J. C.; DARTORA, C. A. Os fundamentos quânticos da Ressonância Magnética Nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 140, n. 1, p. e1310, 2018.

EICHLER, Marcelo Leandro; JUNGES, Fernando; DEL PINO, José Claudio. Cidade do Átomo, um Software para o Debate Escolar sobre Energia Nuclear. **Física na Escola**, v. 7, n. 1, 2006.

Energia nuclear no mundo. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/Energia-nuclear-no-mundo.aspx>>.

FERNANDES, M. A.; SANTOS, J. L. Aplicações da Física Nuclear na Medicina: Um Panorama Atual. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 13, n. 1, p. 80-95, 2019.

FERNANDEZ, João Vitor Martins et al. Uma nova estratégia para o ensino de física nuclear e radioatividade para o novo ensino médio: auto aprendizagem guiada por aplicativo web. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20210295, 2021.

GOMES, Mariana M.; AMORIM, Ronni G. G.; SANTOS, Wytler C.; RISPOLI, Vinicius C.; CARDOSO, Leandro X. Aplicação da equação de Schrödinger ao modelo nuclear de camadas: obtenção dos números mágicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, e20240147, 2024.

GUIO, Thaisa Carneiro da Cunha; DORSCH, Glauber Carvalho. Física de Partículas no ensino médio Parte II: Física Nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, p. e20230067, 2023.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física. Vol. 4 (10a. ed.)**. [s.l.] Grupo Gen - LTC, 2016.

HAYNE, L. A.; WYSE, A. T. D. S. Análise da evolução da tecnologia: uma contribuição para o ensino da ciência e tecnologia. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 3, 18 dez. 2018.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KRANE, K. S. **Introductory Nuclear Physics**. New York: John Wiley & Sons, 1988.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. **Ensino de Ciências e Cidadania**. São Paulo: Moderna, 2007.

LAGANÁ, C. Decaimentos nucleares em uma câmara de nuvens. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 3314, 2013.

LIMA, Rodrigo da Silva; PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira; AFONSO, Júlio Carlos. O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 2, p. 92-99, maio 2011.

LOPES, Renylson B.; COUTINHO, Henrique N.; RODRIGUES, Jéssica M.; TOLEDO, Evelyn Jeniffer L. **Radioatividade: entre o bem e o mal**. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 46, n. 1, p. 13-21, fev. 2024.

MELO, M. G. de A.; HEERDT, B. Luz, Câmera, Alfabetização Científica! Compreendendo o protagonismo de Marie Curie pela obra cinematográfica Radioactive. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. 1674-1699, dez. 2021

MELQUIADES, F. L.; APPOLONI, C. R. Radioatividade natural em amostras alimentares. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 120-126, 2004.

MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha Viz. A radioatividade e a história do tempo presente. **Química Nova na Escola**, v. 19, p. 27-30, maio 2004.

MIZRAHI, S. S. Mulheres na Física: Lise Meitner. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 491-493, 2005.

NASA. **Introduction to the Electromagnetic Spectrum - NASA Science**. Disponível em: <https://science.nasa.gov/ems/01_intro/>.

O impacto da física na medicina moderna. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/artigos/o-impacto-da-fisica-na-medicina-morderna/>>.

OLIVEIRA, Fabiano Fernandes de; GUERRA, Andreia; MOURA, Cristiano Barbosa de. A circulação de pessoas, ideias e técnicas: a FFCL da USP no início das pesquisas de física nuclear no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 1 v. 45, p. e20230007, 2023.

ORENGO, Gilberto; SCHÄFFER, Décio. Os dados nucleares da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) como aporte científico no Ensino de Física Nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20190174, 2020.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Física contemporânea na escola média: em busca de uma proposta para a sua inserção. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-30, 2000.

PAIVA, Eduardo de. Princípios do cálculo de blindagem em radioterapia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 3311, 2014.

PERIN, Conceição Solange Bution; MALAVASI, Silvana. A interdisciplinaridade e a formação do professor: breves considerações. **Fopetec - Revista Internacional de Formação de Professores**, Itapetininga, v. 4, n. 2, p. 98-112, abr./jun. 2019

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

RODRIGUES JÚNIOR, Ary de Araújo. O que é irradiação? E contaminação radioativa? **Física na Escola**, v. 8, n. 2, 2007.

SANTOS, Carlos Alberto dos. Um roteiro para a inserção da fusão nuclear no Ensino Médio. **A Física na Escola**, v. 20, n. 1, 2022.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2009.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia– Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ciência & Educação**, v.2, n.2, p.110-132, 2002.

SCHAPPO, M. G. Um modelo concreto para o estudo da estabilidade nuclear no Ensino Médio. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, p. 22-26, 2010.

SCHNEIDER, Renata; BELLUCO, Alex. O ensino de radioatividade na perspectiva da aprendizagem significativa: uma proposta de sequência didática. **A Física na Escola**, v. 19, n. 2, p. 58-62, 2021.

SILVA, A. B.; OLIVEIRA, C. D. O ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: desafios e possibilidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, n. 2, e20210001, 2021.

SILVA, Gilberg Pereira da; PORTO, Claudio Maia. **Inserção do tema de Física Nuclear no Ensino Médio: Desconstruindo e construindo um novo olhar sobre Radioatividade e Energia Nuclear**. Seropédica: Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2019.

SILVA, João da. Construção de um Detector Geiger-Muller de Baixo Custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, n. 2, p. 123-145, 2013.

SILVA JUNIOR, A. C. da; SILVA, L. L. da. A transposição didática do fenômeno da radioatividade em manuais escolares de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, p. 259-287, abr. 2022.

SILVA, N. C. Laboratório Virtual de Física Moderna: Atenuação da Radiação pela Matéria. **Cadernos Brasileiros de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1206-1231, dez. 2012.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, 2010.

SMITH, J. **Nuclear Energy: Between Promise and Peril**. New York: Routledge, 2020.

SOARES, Antonio Augusto; MORAES, Letícia Estevão. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 3, p. 915-933, dez. 2015.

SOARES, R.; SANTOS, S. P. dos; MARQUES, C. C.; CARVALHO, G. de; SANTOS, F. F. M. dos; YOSHIZUMI, M. T.; ALVA, T. A. P.; TROMBINI, H. Implementação de um laboratório virtual de física médica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240076, 2024.

SOUZA, Graziela Ferreira. Resenha: “Aulas de Marie Curie: anotadas por Isabelle Chavannes em 1907”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1161-1165, dez. 2016.

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

TERINI, R. A. Física Médica no Ensino Médio. **A Física na Escola**, v. 18, n. 1, 2020.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TIPLER, P. A. **Física Nuclear**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

Anexos

Anexo 01

Descoberta do átomo, conhecendo estrutura química da matéria.

O conceito da matéria ser composta de átomos é proposto desde os gregos do século V a.C., os pensadores de então preocupavam-se em descobrir se a matéria era contínua ou não, com a linha de pensamento “Podemos quebrar uma rocha em pedaços, e os pedaços em cascalho fino; este ainda pode ser moído até virar areia fina, que pode então ser transformada em pó”, dessa forma, para os gregos do século V a.C., havia um pedaço de rocha mínimo, um “átomo”, que não poderia ser dividido ainda mais.

Aristóteles, um dos mais conhecidos dos antigos filósofos gregos, discordava da ideia de átomos; no século IV a.C, ele apresenta a ideia de que toda matéria é formada por diferentes combinações de quatro elementos – terra, ar, fogo e água. Essa concepção parecia razoável, pois, no mundo que nos cerca, a matéria é vista em apenas quatro formas: sólida (terra), gasosa (ar), líquida (água) ou no estado de labaredas (fogo). Os gregos viam o fogo como o elemento da mudança, pois observavam o fogo promover transformações nas substâncias que eram queimadas; devido a essa linha de pensamento, as ideias de Aristóteles acerca da matéria persistiram por mais de 2.000 anos.

A concepção atômica foi ressuscitada no início dos anos 1800 por um meteorologista inglês e professor escolar inglês, John Dalton, com a explicação sobre a natureza das reações químicas supondo que toda matéria fosse formada de átomos. Em 1803, descrevendo-os como uma partícula indivisível e fundamental que compõe toda a matéria, seu modelo, conhecido como modelo das esferas sólidas, postula que os átomos são partículas esféricas e indivisíveis, que se combinam de maneiras específicas para formar compostos; devido ao fato do átomo ser considerado como partícula esférica e indivisível, este modelo é conhecido como “bola de bilhar”.

Figura 1: Modelo de Dalton



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/modelos-atomicos>

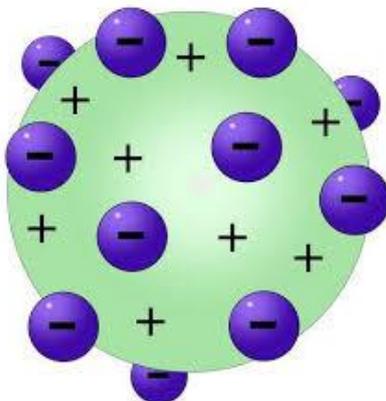
Segundo Dalton, cada elemento é composto por átomos idênticos entre si, mas diferentes de átomos de outros elementos. Este modelo ajudou a estabelecer a ideia de que a matéria é composta de partículas discretas, mas não explicava a estrutura interna do átomo nem as interações que ocorrem dentro dele.

No intuito de estudar a estrutura interna dos átomos, Joseph John Thomson apresenta seu modelo atômico, conhecido como o modelo do “pudim de passas”, foi desenvolvido após a descoberta do elétron pelo mesmo em 1897.

Com base em seus experimentos com raios catódicos, J.J Thomson concluiu que o átomo não era uma partícula indivisível, mas sim uma esfera eletricamente neutra, na qual os elétrons (partículas

negativas) estavam distribuídos de maneira uniforme, como passas em um pudim. Esse modelo foi um avanço importante, pois introduziu a ideia de partículas subatômicas e a neutralidade do átomo.

Figura 2: Modelo Pudim de Passas (J. J. Thomson)

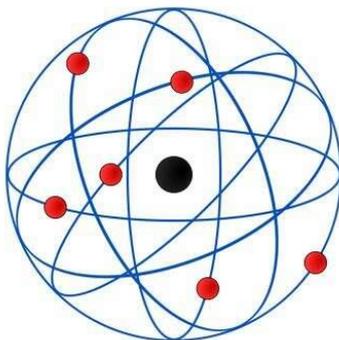


Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/modelo-atomico-de-thomson>

Apesar disso, seu modelo não conseguia explicar fenômenos atômicos conhecidos como o espectro de emissão dos átomos, assim Ernest Rutherford desenvolve um modelo alternativo para o átomo, baseado em análises experimentais. Ao bombardear uma fina folha de ouro com partículas alfas (positivas), Rutherford observou que a maioria das partículas passava diretamente através da folha, mas algumas se desviavam drasticamente, o que indicava a presença de uma região pequena e densa dentro do átomo.

Em 1911, Rutherford propõe que o átomo possui um núcleo central, carregado positivamente, com os elétrons orbitando à sua volta (por isso este modelo ficou conhecido como “modelo planetário”) em uma grande região vazia, mostrando pela primeira vez que a maior parte do átomo é composta por espaço vazio, e que a massa do átomo está concentrada no núcleo. No entanto, ele não conseguia explicar de maneira satisfatória o comportamento dos elétrons, uma vez que por este modelo, todos os átomos já deveriam ter irradiado sua energia, uma vez que elétrons são partículas carregadas, que emitiriam energia por estarem aceleradas em torno do núcleo (aceleração centrípeta).

Figura 3: Modelo de Rutherford



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/modelo-atomico-de-rutherford>

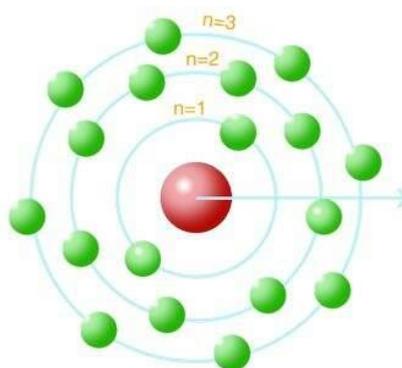
Dessa forma, o físico dinamarquês Niels Bohr em 1913, aprimora o modelo de Rutherford com a introdução das órbitas quantizadas para os elétrons.

Bohr sugeriu que os elétrons não poderiam ocupar qualquer órbita ao redor do núcleo, mas sim

apenas aquelas com níveis de energia específicos, ou “órbitas quantizadas”. Desta maneira se explicaria a estabilidade dos átomos.

Os elétrons poderiam saltar de uma órbita para outra, a partir da absorção ou emissão de quantidades específicas de energia, o que explicava os espectros de emissão observados experimentalmente, onde se verificava que cada elemento emitia luz com comprimentos de onda bem definidos. Porém, ele falhava em descrever com precisão átomos mais complexos e não explicava adequadamente o comportamento dos elétrons em átomos maiores.

Figura 4: Modelo de Bohr



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/modelo-atomico-de-bohr>

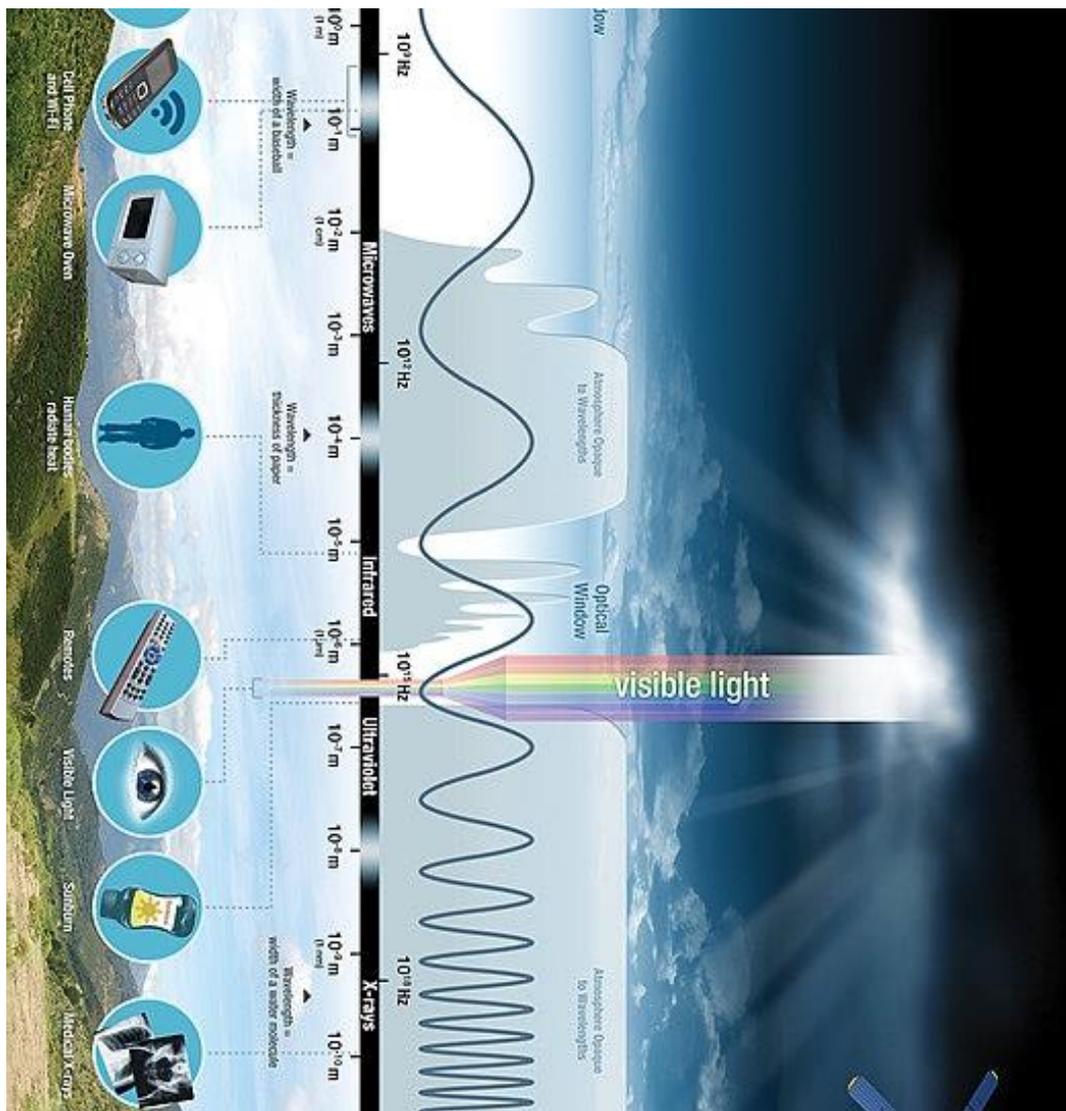
A evolução dos modelos atômicos reflete a crescente sofisticação do pensamento científico e a busca por entender a natureza da matéria, desde a ideia de átomos indivisíveis dos gregos até a complexa descrição da quantização das órbitas, mostra que a história dos modelos atômicos não é apenas uma sucessão de teorias, mas uma prova de como a ciência se constrói sobre os ombros das descobertas anteriores, sempre em busca de um entendimento mais profundo da realidade que nos cerca.

Adaptado do livro Física Conceitual-13.ed – Paul G. Hewitt (2011).

Anexo 02

Desenvolvimento: No início da etapa, o professor lança o seguinte problema: “O que é radiação e por que ela é tratada com tanto receio?” após, os estudantes apresentarem suas respostas, será projetada a imagem do espectro de radiação eletromagnética (Figura 01) e entregue o texto “Radiação, uma análise abrangente”. Por fim, em duplas ou trios, os estudantes responderam a um questionário avaliativo.

Figura 01: Radiação Eletromagnética



Fonte: <https://science.nasa.gov/ems/>

Esta imagem transmite várias informações com relação ao espectro eletromagnético, tais como: comparações do comprimento de onda e o tamanho de objetos e lugares presentes no mundo, equipamento que operam em tais comprimentos de onda e mostra quão pequena é a faixa de frequência que delimita a luz visível deste espectro com relação aos outros tipos de radiação.

Radiação, uma análise abrangente

A radiação é um fenômeno físico que consiste na propagação de energia através do espaço, sob a forma de partículas ou ondas eletromagnéticas. Essa energia pode ser transferida de um ponto a outro sem a necessidade de um meio material, como no caso da luz solar que viaja pelo vácuo do espaço até a Terra.

Radiação Eletromagnética

A radiação eletromagnética é um tipo de radiação que se propaga por meio de ondas, que são oscilações de campos elétricos e magnéticos. Essas ondas viajam à velocidade da luz (aproximadamente 300.000 km/s) e abrangem uma ampla gama de frequências e comprimentos de onda, formando o espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético é dividido em diferentes faixas, cada uma com características e aplicações distintas:

1. **Ondas de rádio e ondas longas:** As ondas de rádio possuem os maiores comprimentos de onda e as menores frequências do espectro. São utilizadas em diversas aplicações, como telecomunicações (rádio, televisão, telefonia celular), radares e sistemas de navegação.
2. **Micro-ondas:** As micro-ondas possuem comprimentos de onda menores que as ondas de rádio e são utilizadas em fornos de micro-ondas, radares, sistemas de comunicação sem fio (Wi-Fi) e aquecimento industrial.
3. **Infravermelho (IV):** A radiação infravermelha é associada ao calor e é utilizada em controles remotos, sistemas de visão noturna, termografia e aquecimento.
4. **Luz visível:** A luz visível é a faixa do espectro eletromagnético que nossos olhos são capazes de detectar. Ela é responsável pela nossa percepção das cores e pela iluminação do ambiente.
5. **Ultravioleta (UV):** A radiação ultravioleta possui comprimentos de onda menores que a luz visível e é dividida em três faixas: UVA, UVB e UVC. A radiação UV é responsável pelo bronzeamento da pele, mas também pode causar queimaduras solares, envelhecimento precoce da pele e aumentar o risco de câncer de pele.
6. **Raios X:** Os raios X possuem comprimentos de onda muito curtos e alta energia. São utilizados em radiografias e tomografias computadorizadas

para visualizar o interior do corpo humano e diagnosticar diversas condições médicas.

7. **Radiação gama:** A radiação gama é a forma mais energética de radiação eletromagnética, com comprimentos de onda extremamente curtos. É produzida em processos nucleares e é utilizada em radioterapia para o tratamento de câncer.

Radiação Ionizante e Não Ionizante

A radiação pode ser classificada em dois tipos principais, de acordo com sua capacidade de ionizar a matéria.

Radiação Ionizante

A radiação ionizante possui energia suficiente para remover elétrons de átomos e moléculas, transformando-os em íons. Esse processo de ionização pode causar danos ao DNA e outras estruturas celulares, aumentando o risco de câncer e outras doenças.

Exemplos de radiação ionizante incluem:

- **Radiação alfa:** Composta por partículas pesadas (dois prótons e dois nêutrons), possui alto poder de ionização, mas baixa capacidade de penetração, sendo bloqueada por uma folha de papel.
- **Radiação beta:** Composta por elétrons ou pósitrons, possui menor poder de ionização que a radiação alfa, mas maior capacidade de penetração, sendo bloqueada por materiais como plástico ou vidro.
- **Radiação gama:** Radiação eletromagnética de alta energia, possui alto poder de penetração e ionização, sendo bloqueada apenas por materiais densos como chumbo ou concreto.
- **Raios X:** Semelhantes à radiação gama, mas com menor energia, são utilizados em diagnósticos médicos devido à sua capacidade de penetrar nos tecidos moles do corpo humano.

Radiação Não Ionizante

A radiação não ionizante possui energia insuficiente para ionizar átomos e moléculas, mas pode causar outros efeitos biológicos, como aquecimento (micro-ondas, infravermelho) ou danos à pele (ultravioleta).

Exemplos de radiação não ionizante incluem:

- **Ondas de rádio e micro-ondas:** Utilizadas em telecomunicações e fornos de micro-ondas, podem causar aquecimento de tecidos biológicos em exposições prolongadas.
- **Infravermelho:** Utilizado em aquecedores e controles remotos, pode causar queimaduras em exposições intensas.
- **Luz visível:** Responsável pela nossa visão, não causa danos à saúde em níveis normais de exposição.
- **Ultravioleta (UV):** Pode causar queimaduras solares, envelhecimento da pele e aumentar o risco de câncer de pele em exposições excessivas.

Conclusão

A radiação é um fenômeno complexo com diversas aplicações e efeitos, tanto benéficos quanto prejudiciais à saúde humana. É importante compreender os diferentes tipos de radiação, suas características e seus potenciais riscos e benefícios para utilizá-los de forma segura e consciente.

Questionário avaliativo sobre a Radiação Eletromagnética e seus efeitos

a) Presença da Radiação Eletromagnética no Dia a Dia:

As radiações do espectro eletromagnético estão presentes em diversas atividades cotidianas, desde as mais óbvias até as mais sutis. Identifique e descreva algumas dessas atividades, exemplos de tecnologias e como a radiação eletromagnética é utilizada, em:

- Comunicação:
- Alimentação:
- Saúde:
- Lazer:

b) Radiação Solar: Ionizante ou Não Ionizante?

A radiação solar abrange tanto radiações ionizantes quanto não ionizantes.

- Identifique quais faixas do espectro eletromagnético solar são ionizantes e quais são não ionizantes.

- Explique os principais efeitos negativos da exposição aos raios solares para a saúde humana, incluindo os efeitos da radiação ionizante e não ionizante.

c) Exposição à Radiação Ionizante:

A exposição à radiação ionizante pode ocorrer de diversas formas, tanto por fontes naturais quanto artificiais.

- Cite exemplos de como uma pessoa pode ser exposta à radiação ionizante em seu dia a dia.
- Explique os principais danos que a exposição à radiação ionizante pode causar à saúde humana, incluindo os riscos de câncer, mutações genéticas e outros problemas de saúde.

d) Radioatividade:

A radioatividade é um fenômeno natural em que alguns elementos emitem partículas ou radiações eletromagnéticas ao se desintegrarem.

- Cite exemplos de elementos radioativos encontrados na natureza.
- Comente sobre a presença de materiais radioativos em aplicações tecnológicas e industriais, como em equipamentos médicos, na produção de energia nuclear e em detectores de fumaça.

Anexo 03

Roteiro Experimental:

Título: Simulando o decaimento radioativo com dados

Introdução:

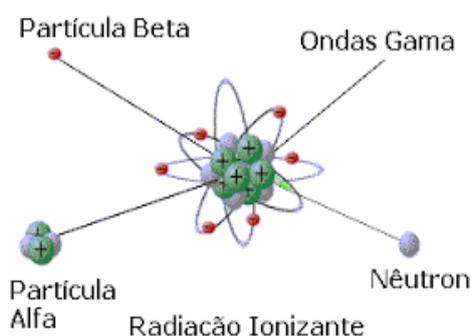
Conceitos de radioatividade, fissão e fusão nuclear

A instabilidade nuclear, originada do desequilíbrio entre prótons e nêutrons ou do excesso de energia em certos isótopos atômicos, dá origem a fenômenos como a fissão e a fusão nuclear. Estes processos, que liberam quantidades significativas de energia, são regidos pela famosa equação de Einstein, $E=mc^2$, que postula a equivalência entre massa e energia.

Decaimento Radioativo

O decaimento radioativo é um processo espontâneo no qual núcleos atômicos instáveis emitem radiação (partículas alfa, beta ou gama) para atingir a estabilidade.

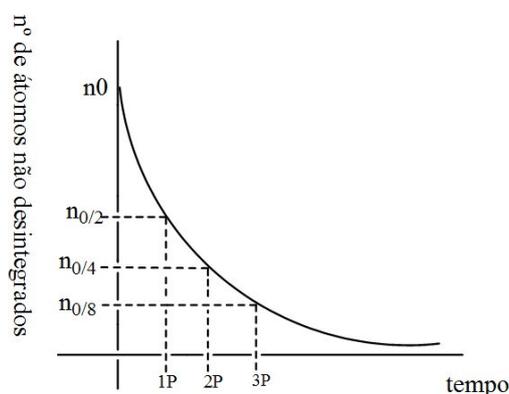
Figura 1: Radiações do tipo ionizantes



Fonte: <https://www.fisica.net/aplicada/biofisica/radiacao>

A taxa de decaimento é exponencial e o tempo necessário para que metade de uma amostra decaia é conhecido como **período de meia-vida** (t_m).

Figura 2: Curva de decaimento



Fonte: <https://www.infoescola.com/quimica/decaimento-radioativo/>

A equação que descreve o decaimento radioativo é:

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t} = n_0 (1/2)^{t/t_m}$$

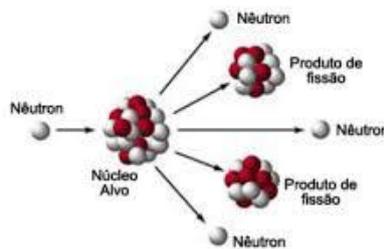
onde:

- $n(t)$ é o número de núcleos radioativos no tempo t ;
- n_0 é o número inicial de núcleos radioativos;
- λ é a constante de desintegração.

Fissão Nuclear

A fissão nuclear, um tipo induzido de decaimento radioativo, ocorre quando um núcleo atômico pesado e instável (como o urânio-235 ou o plutônio-239) é bombardeado com nêutrons, dividindo-se em dois ou mais núcleos menores.

Figura 3: Fissão nuclear



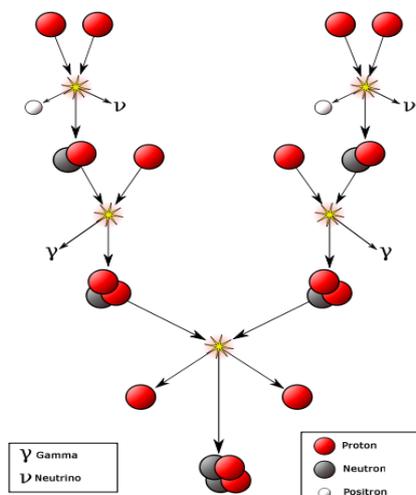
Fonte: Fonte: Bonturim, Everton & Andrade, Arnaldo. (2011). Energia Nuclear: aspectos técnicos do desastre de Fukushima.

Este processo libera uma grande quantidade de energia e nêutrons e é utilizado em reatores e armas nucleares. [obs.: a energia é a radiação gama, e os nêutrons também são radiação]

Fusão Nuclear

A fusão nuclear, processo inverso à fissão, ocorre quando dois núcleos leves (como os de hidrogênio) se combinam para formar um núcleo mais pesado (como o hélio), liberando uma quantidade ainda maior de energia.

Figura: Fusão Nuclear



Fonte: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_fusion_in_the_Sun

Este é o processo que alimenta as estrelas, incluindo o Sol, onde o hidrogênio se funde em hélio, gerando vastas quantidades de energia na forma de diversas radiações.

A fissão e a fusão nuclear são processos complexos que envolvem a manipulação da estrutura do átomo e liberam grandes quantidades de energia. Compreender estes processos é crucial para o desenvolvimento de novas tecnologias e para a exploração do universo.

Procedimento Experimental:

1. Divida a classe em grupos de três ou quatro participantes, cada um com um kit de materiais, contendo de 15 a 20 dados de tabuleiro.
2. Explique que cada dado representa um átomo instável de um determinado elemento químico.
3. Jogue os dados sobre a mesa para representar um período de meia-vida.
4. Após cada jogada, registre o número de dados cuja face superior é ímpar na tabela fornecida e remova os dados cuja face superior é par do conjunto.
5. Repita o experimento cinco vezes e construa um gráfico do número de dados restantes em função do número de jogadas.

Tabelas e questões:

Tabela 1:

N° de jogadas	N° de dados
0	(Número inicial de dados)
1	
2	
3	
4	
5	

Análise dos Resultados:

1. Compare o gráfico obtido experimentalmente com a curva teórica de decaimento radioativo.
2. Quais são as possíveis fontes de erros na simulação?
3. O que o experimento com dados simula no decaimento radioativo real?
4. Qual a relação entre o decaimento radioativo e a fissão nuclear?
5. Qual(is) a(s) diferença(s) entre fissão e a fusão nuclear?

Conclusão:

Nesta etapa, simulamos o decaimento radioativo utilizando dados de tabuleiro, o que nos permitiu

visualizar o comportamento probabilístico desse processo e comparar os resultados experimentais com a teoria. Observamos que a simulação apresenta algumas limitações, mas nos ajuda a compreender como o decaimento radioativo ocorre e como ele está relacionado a outros fenômenos nucleares importantes.

Anexo 04

Texto 1: Energia Nuclear: uma matriz energética complexa e controversa

A energia nuclear, proveniente da capacidade de certos elementos químicos transformarem massa em energia através de reações nucleares, como demonstrado por Albert Einstein, tem sido uma fonte significativa de eletricidade globalmente. Esse processo, que ocorre espontaneamente em alguns elementos e precisa ser induzido em outros, se manifesta em duas formas principais:

- **Fissão nuclear:** o núcleo atômico se divide em duas ou mais partículas, liberando energia. É a técnica dominante em usinas nucleares, com o urânio sendo o principal combustível.
- **Fusão nuclear:** dois ou mais núcleos atômicos se fundem para formar um novo elemento, liberando uma quantidade ainda maior de energia. Apesar do potencial, a fusão nuclear ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento.

O Uso Global da Fissão Nuclear

A fissão nuclear é empregada em mais de 400 usinas nucleares ao redor do mundo, fornecendo cerca de 14% da eletricidade global, segundo a WNA (Associação Nuclear Mundial, da sigla em Inglês). Países como França, Japão, Estados Unidos, China e Índia lideram a geração de energia nuclear, com planos de expansão em andamento, especialmente em países em desenvolvimento.

Vantagens e Desvantagens da Energia Nuclear

A energia nuclear apresenta vantagens significativas:

- **Baixo impacto ambiental no clima planetário:** não emite gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.
- **Alta densidade energética:** uma pequena quantidade de urânio produz grande quantidade de energia.
- **Independência de fatores climáticos:** a geração de energia não é afetada por variações climáticas como chuva ou vento.
- **Segurança energética:** o urânio é abundante, garantindo estabilidade no fornecimento de energia.
- **Aceitação pública:** pesquisas indicam crescente aceitação da energia nuclear em diversas partes do mundo.

No entanto, desvantagens e desafios persistem:

- **Risco de acidentes:** acidentes nucleares, como Chernobyl e Fukushima, demonstram o potencial de consequências catastróficas.
- **Gerenciamento de resíduos:** o lixo nuclear requer armazenamento seguro por longos períodos, representando um desafio técnico e ambiental.
- **Proliferação nuclear:** a tecnologia nuclear pode ser utilizada para fins bélicos, gerando preocupações com a segurança global.
- **Custos de construção e manutenção:** a construção e manutenção de usinas nucleares

são complexas e dispendiosas.

O Funcionamento de uma Usina Nuclear

O processo de geração de energia em uma usina nuclear baseia-se na fissão do urânio:

1. **Reação nuclear:** a fissão do urânio dentro do reator libera calor.
2. **Circuito primário:** a água aquecida a altas temperaturas (cerca de 320°C) e sob alta pressão circula pelo reator, absorvendo o calor gerado.
3. **Circuito secundário:** o calor do circuito primário é transferido para o circuito secundário, vaporizando a água.
4. **Turbina e gerador:** o vapor aciona uma turbina, que por sua vez gira um gerador, produzindo eletricidade.
5. **Condensador:** o vapor é condensado e retorna ao circuito secundário.
6. **Circuito de refrigeração:** a água do mar é utilizada para resfriar o condensador, completando o ciclo.

Medidas de Segurança

As usinas nucleares são projetadas com múltiplas barreiras de segurança para garantir a contenção da radiação:

- **Pastilhas de combustível:** a estrutura das pastilhas de dióxido de urânio retém a maior parte dos produtos da fissão.
- **Varetas de combustível:** as varetas que contêm as pastilhas são seladas e fabricadas com material resistente.
- **Vaso do reator:** o vaso do reator é uma estrutura estanque que contém o núcleo do reator.
- **Blindagem radiológica:** a blindagem protege os trabalhadores da radiação.
- **Envoltório de aço:** o envoltório de aço com 3 centímetros de espessura resiste a acidentes.
- **Envoltório de concreto:** o envoltório de concreto com 70 centímetros de espessura contém qualquer material em caso de falha das outras barreiras.

A “defesa em profundidade” é um conceito fundamental na segurança nuclear, criando camadas de proteção para minimizar o risco de acidentes e liberação de radiação.

Conclusões

A energia nuclear é uma fonte de energia complexa, com vantagens e desvantagens significativas. A segurança, o gerenciamento de resíduos e a proliferação nuclear são desafios importantes. A fissão nuclear desempenha um papel crucial na matriz energética global, e seu futuro depende de avanços tecnológicos, diálogo transparente e gestão responsável.

Adaptado de <https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/Energia-nuclear-no-mundo.aspx>

Texto 2: A Física a Serviço da Saúde, uma jornada do átomo ao Corpo Humano

O texto original “O impacto da física na medicina moderna”, presente em jornal.usp.br, apresenta um panorama da influência da física no desenvolvimento de técnicas de diagnóstico e tratamento médico. Nesta reelaboração, vamos aprofundar essa fascinante interação, explorando como conceitos da Física Nuclear, eletromagnetismo e mecânica quântica revolucionaram a medicina, dando origem à Física Médica.

Dos Raios X à Medicina Nuclear

A descoberta dos raios X por Wilhelm Röntgen em 1895 marcou o início dessa jornada. Essa forma de radiação eletromagnética, inicialmente misteriosa, rapidamente encontrou aplicações em diagnósticos por imagem, desde radiografias simples até tomografias computadorizadas e radiologia intervencionista.

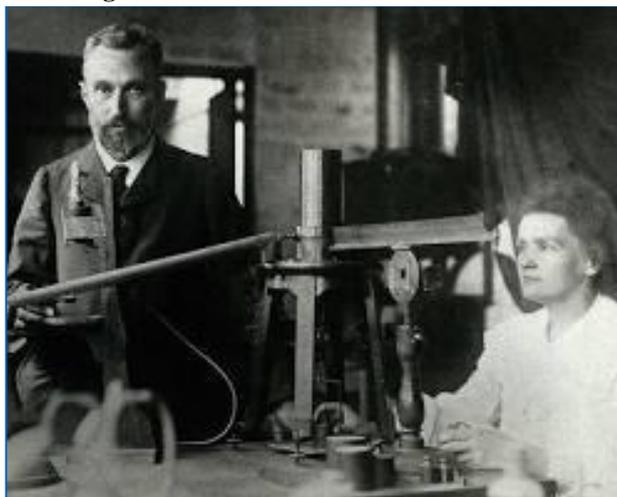
Figura 1: Raio X de uma mão



Fonte: <https://www.medway.com.br/conteudos/radiografia-da-mao-e-do-punho/>

Paralelamente, os estudos sobre radioatividade de Antoine Becquerel e do casal Curie abriram caminho para a medicina nuclear e a radioterapia. A utilização de materiais radioativos para produzir imagens do corpo humano e tratar tumores expandiu as fronteiras da medicina, consolidando a aplicação da Física Nuclear no diagnóstico e tratamento de doenças.

Figura 2: Marie Curie em seu laboratório



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Marie-e-Pierre-Curie-em-seu-laboratorio-utilizando-um-eletrometro-piezoeletrico_fig4_369153040

Um pouco de história

Os raios X foram descobertos por Wilhelm C. Roentgen em 1895 em seu laboratório na Universidade de Würzburg, na Alemanha. Roentgen era um professor de Física que estava pesquisando fenômenos de luminescência provocada por raios catódicos e, supostamente de maneira casual, descobriu esta manifestação das ondas eletromagnéticas que, sem entender bem como eram produzidas, chamou de raios X. Por esta descoberta, foi laureado com o primeiro Prêmio Nobel em Física no ano de 1901. Hoje, os raios X são utilizados nas mais variadas técnicas de diagnóstico por imagem na medicina, indo dos simples raios X odontológicos a procedimentos de alta complexidade como a mamografia, a tomografia computadorizada e a radiologia intervencionista.

Na mesma época em que Roentgen descobria os raios X, o cientista francês Antoine Henri Becquerel fazia importantes descobertas sobre a radioatividade, mas que só foram bem entendidas pelo casal Marie e Pierre Curie. O trabalho destes três cientistas permitiu agregar conhecimento a diversas áreas da ciência e impactou fortemente a medicina, com a introdução da possibilidade de utilização de materiais radioativos para produção de imagens do corpo, mais tarde chamada de medicina nuclear, e o tratamento de tumores, que nucleou a radioterapia. Os trabalhos destes três cientistas também renderam o Prêmio Nobel em Física de 1903 e de Química para Marie Curie em 1911.

Tomografia Computadorizada: Uma Convergência de Saberes

A tomografia computadorizada, por sua vez, demonstra a interdisciplinaridade inerente à Física Médica. Combinando os cálculos de Allan Cormack, o primeiro equipamento de Godfrey Hounsfield e o algoritmo de Johann Radon, a tomografia ilustra a sinergia entre física, matemática e engenharia. Essa técnica, que reconstrói imagens do interior do corpo a partir de raios X, revolucionou o diagnóstico médico.

Figura 3: Tomografia computadorizada de um cérebro



Fonte: <https://tomocenter.com.br/tomografia-do-cranio-em-bh/>

Um pouco de história

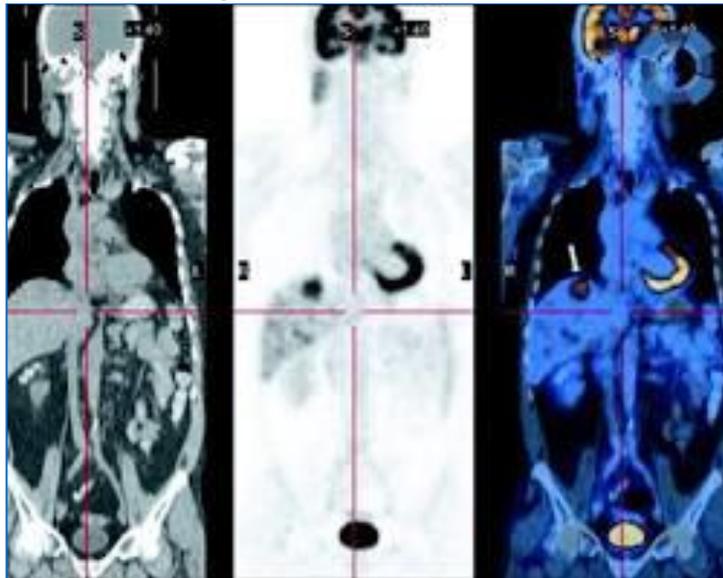
A tomografia computadorizada nasceu de ideias do físico sul-africano

Allan Cormack, que realizou os primeiros cálculos teóricos que permitiam desenvolver os algoritmos de reconstrução de imagens. Mais tarde, o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield, que não conhecia os resultados de Cormack, desenvolveu o primeiro equipamento de tomografia computadorizada comercial. Uma curiosidade nesta etapa da história é que o algoritmo matemático usado para produzir as imagens de tomografia computadorizada já havia sido idealizado em 1917, pelo matemático austríaco Johann Radon. Ou seja, esta etapa da história conecta conceitos matemáticos fundamentais, uma boa dose de física das radiações experimentais, conceitos de informática e um tanto do que podemos chamar, hoje, de engenharia biomédica. Cormack e Hounsfield receberam o Prêmio Nobel em Fisiologia ou Medicina 1979 pelo desenvolvimento da tomografia computadorizada.

PET - SCAN: Desvendando o Interior do Corpo com Antimatéria

O PET - SCAN (*Positron Emission Tomography*), Tomografia por Emissão de Pósitrons, utiliza princípios da mecânica quântica, especificamente a aniquilação de pares pósitron - elétron. A emissão de pósitrons por radiofármacos, que se ligam a células específicas no corpo, permite a detecção de tumores e o monitoramento de tratamentos. A combinação do PET com a tomografia computadorizada (PET-CT) oferece imagens ainda mais precisas e informativas.

Figura 4: Exame PETCT Scan



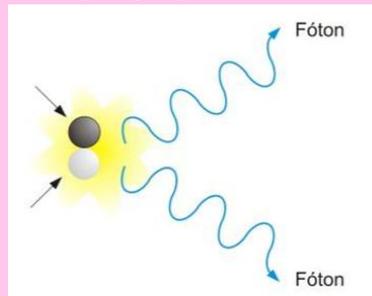
Fonte: <https://imeb.com.br/pet-scan-ou-petct/>

Saiba mais...

O PET-SCAN, sigla para Tomografia por Emissão de Pósitrons (Positron Emission Tomography), é uma técnica de imagem médica fascinante que se baseia em um dos conceitos mais intrigantes da física moderna: a aniquilação matéria-antimatéria.

No coração do PET-SCAN está o pósitron, a antipartícula do elétron. Quando um pósitron encontra um elétron, ambos se aniquilam em um flash de energia, produzindo dois fótons que viajam em direções opostas. É essa "assinatura" luminosa que o PET-SCAN captura para criar suas imagens.

Aniquilação pósitron-elétron



Mas como os pósitrons chegam ao corpo do paciente? A resposta está nos radiofármacos, substâncias que contêm átomos emissores de pósitrons. Esses radiofármacos são desenhados para se ligar a moléculas específicas no corpo, como aquelas presentes em células cancerígenas.

Uma vez administrado ao paciente, o radiofármaco se concentra nas áreas de interesse. Os pósitrons emitidos pelos radiofármacos encontram elétrons nos tecidos vizinhos, gerando os fótons que são detectados pelo equipamento PET-SCAN. Com base na detecção desses fótons, um computador reconstrói imagens que revelam a localização e a concentração do radiofármaco no corpo, permitindo visualizar processos biológicos e identificar anomalias.

Aplicações do PET-SCAN:

Oncologia: *deteção e estadiamento de tumores, avaliação da resposta ao tratamento e deteção de recidivas.*

Neurologia: *diagnóstico de doenças neurodegenerativas como Alzheimer e Parkinson.*

Cardiologia: *avaliação da perfusão sanguínea do miocárdio e deteção de áreas de isquemia.*

Atualmente, a maioria dos exames PET-SCAN é realizada em equipamentos híbridos que combinam o PET com a tomografia computadorizada (TC). Essa combinação, conhecida como PET-CT, permite integrar as informações funcionais do PET com as imagens anatômicas da TC, fornecendo um diagnóstico mais completo e preciso.

Equipamento PETCT

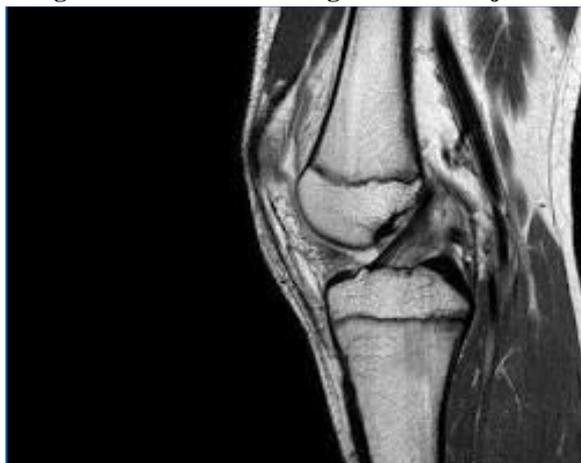


Fonte: <https://www.siemens-healthineers.com/br/molecular-imaging/pet-ct>

Ressonância Magnética: Imagens de Alta Definição

A ressonância magnética, baseada na resposta de prótons a campos magnéticos, utiliza conceitos de Física Nuclear, eletromagnetismo e mecânica estatística. Os prótons, excitados por campos magnéticos e pulsos de radiofrequência, emitem sinais que permitem a criação de imagens detalhadas de órgãos e tecidos, com aplicações em diversas áreas, da neurologia à cardiologia.

Figura 5: Ressonância magnética de um joelho



Fonte: <https://www.saudebemestar.pt/pt/exame/imagiologia/ressonancia-magnetica-joelho/>

Os prótons estimulados por campos magnéticos de alta intensidade (milhares de vezes mais intensos que o campo magnético da Terra) e, também, por pulsos de radiofrequência semelhantes aos utilizados em transmissão de rádio e em equipamentos de fisioterapia, respondem de maneira seletiva a diferentes estímulos, gerando respostas através de pulsos eletromagnéticos dependentes de suas propriedades moleculares e sua mobilidade nos tecidos do corpo.

Imagens do corpo humano, usando a técnica da ressonância magnética, importante ferramenta de diagnósticos, são aplicadas: em estudos do sistema nervoso central, em diagnósticos musculoesqueléticos, em cardiologia, na avaliação do fígado e do sistema gastrointestinal e muitas outras aplicações.

Radioterapia: Combatendo o Câncer com Precisão

O câncer é, talvez, a doença mais importante da atualidade, dada sua alta taxa de incidência e de mortalidade ou de perda de qualidade de vida das pessoas afetadas por ela.

Desde as primeiras décadas do século XX as radiações, geradas por aceleradores de partículas semelhantes aos usados em laboratórios de pesquisa em física atômica ou nuclear, bem como fontes radioativas da mesma natureza das utilizadas nas pesquisas do casal Curie, são utilizadas para reduzir ou controlar células tumorais no corpo dos pacientes. A radioterapia, utilizada no tratamento do câncer, se beneficia dos avanços da física; aceleradores de partículas e fontes radioativas emitem radiação capaz de destruir células tumorais, minimizando os danos aos tecidos saudáveis.

A radioterapia atual utiliza desde fontes radioativas controladas por mecanismos robóticos na técnica de braquiterapia de altas taxas de dose, oferecendo altas taxas de cura às pessoas afetadas por essa doença.

Física Médica: uma profissão essencial

A Física Médica, como área multidisciplinar, integra conhecimentos de física, medicina, engenharia e biologia, com o objetivo de aprimorar o diagnóstico e o tratamento de doenças. Esta modalidade profissional, em que o Brasil foi protagonista no final do século passado na América Latina, tem se desenvolvido muito nos últimos anos, em especial na área de formação de recursos humanos. No mundo, a Física Médica se organizou como atividade profissional durante os anos 50 e 60 do século passado, com o incentivo da comunidade científica internacional para a utilização da energia nuclear para fins pacíficos. O físico médico desempenha um papel crucial na garantia da qualidade e segurança dos procedimentos, na pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, e na formação de profissionais da saúde.

Conclusão

A contribuição da física para a saúde é inegável. Desde a descoberta dos raios X até as modernas técnicas de imagem e tratamento, a física tem revolucionado a medicina, permitindo o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais precisas e eficazes para diagnosticar e tratar doenças. A Física Médica, como ponte entre esses dois campos do conhecimento, desempenha um papel fundamental no avanço da saúde humana.

Adaptado do texto –“O impacto da física na medicina moderna”, presente em <https://jornal.usp.br/artigos/o-impacto-da-fisica-na-medicina-morderna/>

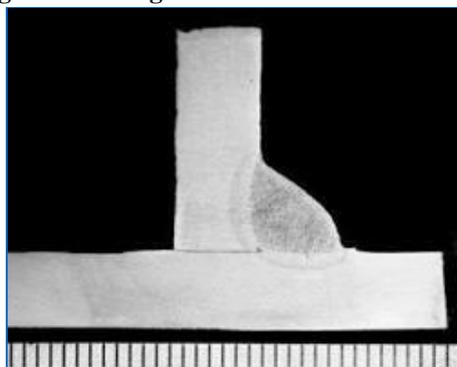
Texto 3: A Física Nuclear, uma ferramenta essencial para a Indústria Moderna

A Física Nuclear transcende os laboratórios de pesquisa e as usinas de energia, desempenhando um papel vital em diversos setores industriais. Suas aplicações, que abrangem desde a inspeção de materiais até a modificação de suas propriedades, impulsionam a eficiência, a qualidade e a segurança em diversos processos industriais.

Radiografia Industrial: uma visão além do alcance da Visão Humana

A radiografia industrial, uma técnica não destrutiva que utiliza radiação para penetrar materiais opacos, permite "enxergar" o interior de objetos, revelando falhas e defeitos que seriam invisíveis a olho nu. Essa técnica é crucial em áreas como a indústria de petróleo e gás, aeronáutica, construção civil e automobilística, garantindo a integridade de componentes críticos e a segurança de estruturas.

Figura 1: Radiografia industrial de uma solda



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-71-Radiografia-industrial-de-una-soldadura_fig13_277258343

Na radiografia se utilizam fontes de radiação, como cobalto-60, para criar imagens de alta resolução das estruturas internas de materiais, como soldas, tubos e componentes metálicos. Técnica não destrutiva usada para inspecionar materiais e detectar falhas internas sem a necessidade de destruir o objeto em questão. A radiografia é essencial para a detecção de trincas, corrosão, descontinuidades ou outros defeitos que possam comprometer a resistência ou funcionalidade de estruturas e equipamentos.

Controle de Qualidade e Otimização de Processos

A Física Nuclear também contribui para o controle de qualidade e a otimização de processos industriais. Técnicas como a radiometria, que utiliza radiação para medir a espessura de materiais em tempo real, permitem ajustes precisos nas linhas de produção, garantindo a uniformidade dos produtos e minimizando o desperdício de matéria-prima.

Figura 2: Sistema de controle de qualidade com radiometria



Fonte: <http://www.carp-rp.com.br/radiacao-de-fuga.html>

A radiação emitida atravessa o material e a quantidade de radiação que chega ao detector varia com a espessura do material. Essa variação é então convertida em uma leitura de espessura, permitindo que os operadores ajustem as máquinas para garantir as especificações desejadas. Amplamente utilizada na indústria de papel e celulose, na produção de metais e na indústria de plásticos, garantindo a produção de materiais com a espessura correta, minimizando desperdícios e melhorando a eficiência do processo.

Irradiação: Segurança e Conservação de Alimentos e Medicamentos

A irradiação de alimentos e produtos farmacêuticos com radiação ionizante é outra aplicação importante da Física Nuclear. Esse processo elimina micro-organismos patogênicos, aumenta a vida útil dos produtos e garante a esterilidade de equipamentos médicos e materiais cirúrgicos, sem comprometer suas propriedades.

Figura 3: Processo de irradiação de alimentos



Fonte: <https://agronfoodacademy.com/o-que-sao-alimentos-irradiados/>

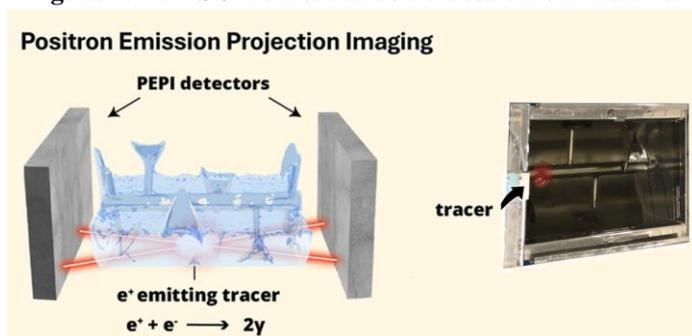
O processo de irradiação utiliza fontes radioativas, como o cobalto-60, que emitem radiação gama. Essa radiação penetra nos alimentos ou medicamentos e destrói micro-organismos patogênicos sem alterar significativamente as propriedades físicas e nutricionais do produto, assim desinfetando alimentos, como frutas, vegetais, carnes e grãos, além de prevenir a germinação de vegetais e retardar o amadurecimento de frutas.

Na indústria farmacêutica, a irradiação é utilizada para esterilizar equipamentos médicos, medicamentos e material cirúrgico, garantindo que esses produtos estejam livres de contaminantes biológicos.

Análise de Materiais: Desvendando a morfologia dos materiais

Técnicas nucleares como a tomografia por emissão de pósitrons (PET) permitem analisar a estrutura interna de materiais, fornecendo informações valiosas para o controle de qualidade de produtos industriais.

Figura 4: PET SCAN mostrando defeitos em um material



Saiba mais...

Visualizando o Invisível:

O PET industrial, assim como na medicina, explora o poder da aniquilação pósitron-elétron para gerar imagens. A diferença está na forma como os pósitrons são introduzidos no material. Em vez de radiofármacos, utilizam-se traçadores que emitem pósitrons, os quais são incorporados ao material em estudo.

Ao se aniquilarem com elétrons no material, os pósitrons geram fótons que são detectados pelo equipamento PET. Com base nesses dados, um computador reconstrói imagens tridimensionais que revelam a distribuição do traçador no material.

Aplicações do PET na Análise de Materiais:

Detecção de Defeitos: *o PET pode identificar defeitos microscópicos em materiais, como trincas, poros e inclusões. Essa capacidade é crucial para garantir a qualidade e a segurança de componentes em áreas como a indústria aeroespacial, automotiva e de construção civil.*

Estudo de Processos de Corrosão: *o PET permite acompanhar a progressão da corrosão em tempo real, identificando áreas de maior vulnerabilidade e auxiliando no desenvolvimento de estratégias de proteção.*

Análise de Desgaste: *o PET pode ser utilizado para avaliar o desgaste de materiais em componentes mecânicos, como engrenagens e rolamentos. Essas informações são importantes para prever a vida útil dos componentes e otimizar programas de manutenção.*

Caracterização de Polímeros: *o PET auxilia na caracterização de polímeros, revelando informações sobre a estrutura, o comportamento e a degradação desses materiais.*

Desenvolvimento de Novos Materiais: *o PET desempenha um papel importante no desenvolvimento de novos materiais, permitindo avaliar a microestrutura, as propriedades e o desempenho de materiais inovadores.*

Vantagens do PET na Indústria:

Não Destrutivo: *o PET permite analisar materiais sem danificá-los, preservando sua integridade.*

Alta Sensibilidade: *o PET consegue detectar pequenas quantidades de traçador, permitindo a identificação de defeitos e processos em escala microscópica.*

Imagens Tridimensionais: *o PET fornece imagens tridimensionais que permitem visualizar a distribuição do traçador no interior do material.*

Versatilidade: *o PET pode ser aplicado a uma variedade de materiais, incluindo metais, polímeros, cerâmicas e compósitos.*

O PET industrial é uma ferramenta poderosa para a análise de

materiais, oferecendo uma visão única sobre a estrutura e o comportamento da matéria. Suas aplicações, que abrangem desde a detecção de defeitos até o desenvolvimento de novos materiais, contribuem para a inovação, a qualidade e a segurança em diversos setores industriais.

Segurança Industrial: monitorando e controlando riscos

A Física Nuclear desempenha um papel fundamental na segurança industrial, especialmente em ambientes de alto risco. Sensores de radiação e detectores monitoram os níveis de radiação, identificam vazamentos e garantem a segurança dos trabalhadores em usinas nucleares, refinarias de petróleo e indústrias nucleares. Além de garantir a conformidade com as regulamentações de segurança.

Figura 5: Sensor de radiação para monitoramento industrial



Fonte: <https://inteccon.com/pt/categoria-produto/campos-eletromagneticos-e-radiacoes/dispositivos-de-monitoramento-de-radiacao/>

Conclusão

A Física Nuclear tem se tornado uma ferramenta indispensável para a indústria moderna. As técnicas nucleares aumentam a eficiência e a qualidade dos processos industriais, contribuem para a segurança dos trabalhadores e a proteção do meio ambiente. À medida que a tecnologia avança, novas aplicações devem surgir, impulsionando a inovação e o desenvolvimento industrial. Adaptado de “Aplicações da Energia Nuclear - Apostila educativa” de Eliezer De Moura Cardoso em <https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>

Anexo 05

O desenvolvimento e impacto do Projeto Manhattan

O **Projeto Manhattan**, nome dado ao esforço conjunto de militares e cientistas para a construção das primeiras bombas atômicas, marcou um ponto de inflexão na história. Liderado pelos Estados Unidos entre 1942 e 1947, o projeto culminou no primeiro teste nuclear em 16 de julho de 1945, em Los Alamos, Novo México. As consequências devastadoras se materializaram com os bombardeios de Hiroshima e Nagasaki em agosto do mesmo ano, ceifando a vida de mais de 240 mil pessoas.

Para concretizar essa empreitada, o Projeto Manhattan mobilizou uma força de trabalho colossal, que chegou a quase 200 mil pessoas apenas no primeiro ano. Cientistas e engenheiros dedicaram-se ao enriquecimento de urânio, enquanto militares, bombeiros, técnicos e outros profissionais garantiam o suporte necessário para o funcionamento da complexa estrutura do projeto. Essa mobilização em massa evidenciou a magnitude do esforço para o desenvolvimento da bomba atômica e seus impactos na história da humanidade. De acordo com o historiador P. D. Smith, eram quatro sedes principais do Projeto Manhattan:

[...] Além do Met Lab, em Chicago, havia Oak Ridge, perto de Clinton, no Tennessee, onde se separava o urânio-235 do urânio 238,; e Hanford, próximo à cidade de Richland, no estado de Washington, onde estavam os reatores que produziam plutônio e as instalações que o separavam do combustível de urânio. O quarto local no projeto da supe- rarma, ultrassecreto, era Los Alamos, o laboratório onde as bombas eram projetadas e fabricadas. [1]p. 333.

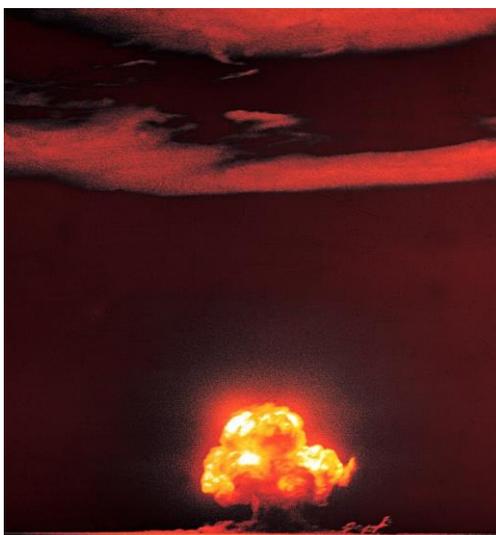
O ápice do Projeto Manhattan se materializou no teste da primeira bomba atômica, codi- nome "Trinity". Em 16 de julho de 1945, o deserto de Jornada del Muerto, próximo a Alamogordo, no Novo México, foi palco de um evento que mudaria o curso da história. Às 5h29min da manhã, o dispositivo explodiu com a força de 20 quilotons de TNT, equivalente a 20 mil toneladas de dinamite convencional.

A detonação gerou uma colossal bola de fogo que se elevou a mais de 12 mil metros de altura, formando a icônica nuvem em formato de cogumelo. A explosão foi visível a mais de 300 km de distância e produziu um estrondo ensurdecedor que reverberou por todo o vale. A areia do deserto se transformou em vidro verde radioativo devido ao intenso calor, e uma cratera de 3 metros de profundidade e 330 metros de diâmetro marcou o epicentro da explosão.

O teste Trinity não apenas confirmou o poder devastador da bomba atômica, como tam- bém inaugurou a era nuclear, com todas as suas implicações geopolíticas e os dilemas éticos que

a acompanham. O evento marcou um ponto de inflexão na história da humanidade, lançando uma sombra sobre o futuro e gerando debates que perduram até os dias de hoje.

Figura 1: Primeira das bombas, batizada de *Trinity*.



Fonte: Jack W. Aeby, July 16, 1945, Civilian worker at Los Alamos laboratory, working under the aegis of the Manhattan Project.

O “sucesso” da *Trinity* impressionou negativa e positivamente os envolvidos no projeto. Muitos cientistas, entre eles Einstein e Szilard, ficaram estarelecidos com o resultado e repudiaram a decisão final do comando militar dos EUA de lançar duas outras bombas do projeto sobre Hiroshima e Nagasaki, ceifando a vida de mais de 240 mil pessoas. Essas bombas foram apelidadas, respectivamente, de *Little Boy* e *Fat Man* e foram lançadas pelo avião bombardeiro B-29, *Enola Gay*.

Adaptado de <https://www.historiadomundo.com.br/idade-contemporanea/projeto-manhattan.htm>

Resolução de problemas:

Problema 1: A expedição à Mina de Urânio (em rad)

1) Uma equipe de geólogos está explorando uma mina de urânio abandonada em busca de novos veios do mineral. Dentro da mina, a intensidade da radiação gama é de 5 milirad por hora (mrad/h).

a) Se um geólogo passar 3 horas dentro da mina, qual será a dose total de radiação que ele receberá em milirad (mrad)?

b) Sabendo que o limite de dose anual recomendado para trabalhadores expostos à radiação é de 2 rem, qual a porcentagem desse limite que o geólogo atingirá após essa expedição de 3 horas?

c) Considerando que a equipe precisa passar 6 horas dentro da mina para completar a exploração, como eles poderiam minimizar a dose de radiação recebida?

Informações adicionais:

- * 1 rad = 1000 mrad
- * 1 rem = 1000 mrem (milirem)
- * Para radiação gama, 1 rad \approx 1 rem.

Resolução:

a) *Dose total de radiação:*

* *Intensidade da radiação: 5 mrad/h (milirad por hora)*

* *Tempo de exposição: 3 horas*

* *Dose total = Intensidade x Tempo*

* *Dose total = 5 mrad/h x 3 h = 15 mrad*

Resposta: O geólogo receberá uma dose de 15 milirad de radiação.

b) *Porcentagem do limite anual:*

* *Dose recebida: 15 mrad*

* *Limite anual: 2 rem = 2000 mrem = 2000 mrad (considere 1 rem \approx 1 rad para radiação gama)*

* *Porcentagem = (Dose recebida / Limite anual) x 100%*

* *Porcentagem = (15 mrad / 2000 mrad) x 100% = 0,75%*

Resposta: O geólogo atingirá 0,75% do limite de dose anual recomendado.

c) *Minimizar a dose de radiação:*

Para minimizar a dose de radiação durante a expedição de 6 horas, a equipe de geólogos pode adotar as seguintes medidas:

* *Aumentar a distância da fonte de radiação: Manter distância dos veios de urânio e áreas com maior concentração do mineral.*

* *Usar blindagem: Utilizar equipamentos de proteção individual (EPIs) com blindagem contra radiação, como aventais de chumbo e máscaras com filtros especiais.*

* *Monitorar a dose de radiação: Utilizar dosímetros individuais para monitorar a dose de radiação recebida por cada membro da equipe e garantir que ninguém ultrapasse os limites de segurança.*

* *Revezamento: Se possível, realizar a exploração em turnos, com equipes diferentes revezando o tempo dentro da mina, para que cada pessoa receba uma dose menor.*

Problema 2: O Limite na Usina Nuclear

2) Em uma usina nuclear, os técnicos de manutenção realizam inspeções periódicas em áreas com radiação gama. A intensidade da radiação em uma dessas áreas é de 5 milirad por hora (mrad/h). Sabendo que o limite de dose anual recomendado para trabalhadores expostos à radiação é de 2 rem, calcule:

a) Qual a dose máxima em milirad (mrad) que um técnico pode receber em um ano?

b) Quanto tempo, em horas, um técnico pode permanecer na área de inspeção para receber 10% do limite anual de radiação?

c) Se um técnico precisar passar 8 horas na área de inspeção, que medidas de segurança ele deve tomar para garantir que não ultrapasse o limite de dose?

Resolução:

a) Dose máxima em milirad (mrad):

** Limite anual: 2 rem*

** Conversão para rad: 2 rem = 2 rad (para radiação gama)*

** Conversão para mrad: 2 rad x 1000 mrad/rad = 2000 mrad*

Resposta: A dose máxima permitida em um ano é de 2000 mrad.

b) Tempo de exposição para 10% do limite:

** 10% do limite anual: 0,1 x 2000 mrad = 200 mrad*

** Intensidade da radiação: 5 mrad/h*

** Tempo = Dose / Intensidade*

** Tempo = 200 mrad / 5 mrad/h = 40 horas*

Resposta: O técnico pode permanecer na área de inspeção por 40 horas para receber 10% do limite anual de radiação.

c) Medidas de segurança para 8 horas de inspeção:

Algumas medidas importantes são:

** Distanciamento: Manter a maior distância possível da fonte de radiação durante a inspeção.*

** Blindagem: Utilizar blindagem, como paredes de concreto ou chumbo, para reduzir a exposição à radiação.*

** EPIs: Usar equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados, como aventais de chumbo, luvas e máscaras com filtros para material radioativo.*

Anexo 06

Júri Simulado: Usina Nuclear em MS – Debatendo o Futuro Energético

Tema: A possibilidade de implementação de uma usina nuclear em Mato Grosso do Sul.

Objetivo: Simular um julgamento para debater a questão da instalação de uma usina nuclear em MS, incentivando a pesquisa, a argumentação e o desenvolvimento de pensamento crítico.

Descrição: O júri simulado reproduz um ambiente de julgamento, onde os alunos assumem diferentes papéis e apresentam argumentos a favor ou contra a implementação da usina nuclear.

Papéis:

- **Defensores (dois alunos):** Defendem a implementação da usina, apresentando argumentos coerentes, provas e dados que sustentem os benefícios da energia nuclear para o estado, como:
 - Geração de energia limpa e abundante.
 - Criação de empregos e impulso à economia local.
 - Redução da dependência de combustíveis fósseis.
 - Avanços tecnológicos e científicos.
 - Segurança e confiabilidade das usinas nucleares modernas.
- **Acusadores (dois alunos):** Argumentam contra a implementação da usina, apresentando provas e dados sobre os malefícios e riscos da energia nuclear, como:
 - Risco de acidentes nucleares e contaminação ambiental.
 - Geração de resíduos radioativos e dificuldade de armazenamento.
 - Alto custo de construção e manutenção das usinas.
 - Proliferação de armas nucleares.
 - Impacto nas comunidades locais e questões sociais.
- **Jurados (restante dos alunos):** Atuam como “juízes” e “jurados”, analisando os argumentos de ambos os lados de forma imparcial. Devem:
 - Fazer anotações sobre os argumentos apresentados.
 - Formular perguntas aos defensores e acusadores.
 - Discutir entre si e chegar a um veredito final, justificando sua decisão.

Preparação:

- Os alunos devem realizar pesquisas para fundamentar seus argumentos, utilizando fontes confiáveis como livros, artigos científicos, reportagens, documentos e vídeos.
- O professor deve orientar os alunos na busca por informações e na elaboração dos argumentos, incentivando a reflexão crítica e o debate construtivo.

Recursos:

- Materiais de pesquisa (sugestões na Etapa 7 anterior).

- Cartolina, canetas hidrográficas, computador, projetor etc.

Avaliação:

- Participação ativa dos alunos em seus respectivos papéis.
- Qualidade da pesquisa e dos argumentos apresentados.
- Capacidade de trabalhar em equipe e respeitar diferentes pontos de vista.
- Imparcialidade e criticidade dos jurados na análise dos argumentos e na formulação do veredito.

Observações:

- O professor pode adaptar o formato do júri simulado de acordo com as necessidades da turma e o tempo disponível.
- É importante criar um ambiente de respeito e democracia durante a atividade, incentivando o diálogo e a troca de ideias entre os alunos.
- O júri simulado pode ser uma excelente oportunidade para desenvolver habilidades de comunicação oral, argumentação e pensamento crítico.