

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS DE PICOS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 65

CLEIDINAR ANTONIA DA ROCHA

**DESCOBRINDO O PODER DO ÁTOMO:
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTERATIVA PARA O ENSINO SOBRE FUSÃO E
FISSÃO NUCLEAR NO ENSINO FUNDAMENTAL**

Cleidinar Antonia da Rocha

**DESCOBRINDO O PODER DO ÁTOMO:
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTERATIVA PARA O ENSINO SOBRE FUSÃO E
FISSÃO NUCLEAR NO ENSINO FUNDAMENTAL**

Dissertação apresentada ao Polo 65 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Orientador: Prof. Dr. Ysmailyn Siqueira Costa

Picos
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

R672d Rocha, Cleidinar Antonia da
Descobrimdo o poder do átomo: uma sequência didática interativa para o ensino sobre fusão e fissão nuclear no ensino fundamental / Cleidinar Antonia da Rocha. - 2026.

88 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto Federal do Piauí, Campus Picos. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Ysmailyn Siqueira Costa

1. Ensino de Física. 2. Abordagem CTSA. 3. Física nuclear. I. Título.

CDD - 530.07

Cleidinar Antonia da Rocha

**DESCOBRINDO O PODER DO ÁTOMO:
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTERATIVA PARA O ENSINO SOBRE FUSÃO E
FISSÃO NUCLEAR NO ENSINO FUNDAMENTAL**

Dissertação apresentada ao Polo 65 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Aprovada em 20 de março de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ysmailyn Siqueira Costa - Orientador
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Examinador 1
Universidade Federal do Piauí - UFPI

Prof. Dr. Télió Nobre Leite – Examinador 2
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF

AGRADECIMENTOS

Sou grata,

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me concedido a vida, a saúde e a oportunidade de realizar este trabalho. Por ter me guiado e fortalecido nos momentos de dificuldade e por ter iluminado meu caminho ao longo desta jornada.

Aos meus pais e aos meus irmãos, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e pela ajuda ao longo desta jornada. E à minha filha, Sofia Náthaly, minha maior motivação e alegria, por ter compreendido minha ausência e ter me apoiado com seu amor e carinho.

Ao meu orientador, Dr. Ysmailyn Siqueira Costa, agradeço pela confiança depositada em mim, pelas críticas construtivas e pelas sugestões precisas que contribuíram significativamente para o aprimoramento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos. Este trabalho não seria possível sem a ajuda e o apoio de cada um de vocês. Muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar o ensino de Física Nuclear no Ensino Fundamental utilizando uma Sequência Didática interativa que adota a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), visando promover uma aprendizagem mais contextualizada e reflexiva. Acredita-se que os conteúdos de Física tradicionalmente ensinados possam contribuir significativamente para a formação humana, desde que estejam ancorados na prática social e tenham relevância para a vida dos estudantes. Nesse sentido, é fundamental que o ensino de Física vá além da simples memorização de equações e da resolução de problemas descontextualizados. O avanço científico e tecnológico tem sido cada vez mais questionado devido aos seus impactos ambientais e sociais, como a degradação ambiental e o uso de tecnologias para fins belicistas ou até mesmo genocidas, como as bombas atômicas e o napalm na guerra do Vietnã. Nesse contexto, compreender a Física Nuclear é essencial para entender como essa área pode impactar a sociedade e o meio ambiente, permitindo que os estudantes desenvolvam uma visão crítica e responsável sobre o uso da tecnologia nuclear. Busca-se, assim, ressignificar o ensino de Física, tornando-o uma ferramenta de transformação social que valorize a formação da cidadania. Para tornar a aprendizagem ainda mais interativa e atraente, a Sequência Didática será estruturada em torno de um personagem familiar e divertido: Homer Simpson, da série Os Simpsons, que trabalha em uma usina nuclear. A utilização desse personagem permitirá uma abordagem mais contextualizada e lúdica, facilitando a compreensão de conceitos fundamentais da Física Nuclear, como Fissão e Fusão Nuclear, de forma mais compreensível e significativa para os alunos.

Palavras-chave: Física Nuclear; Abordagem CTSA; Ensino de Física.

ABSTRACT

This work aims to investigate the teaching of Nuclear Physics in elementary school using an interactive teaching sequence that adopts the CTSA (Science, Technology, Society, and Environment) approach, aiming to promote more contextualized and reflective learning. It is believed that traditionally taught Physics content can contribute significantly to human development, as long as it is anchored in social practice and relevant to students' lives. Therefore, it is essential that Physics teaching goes beyond simply memorizing equations and solving decontextualized problems. Scientific and technological advancements have been increasingly questioned due to their environmental and social impacts, such as environmental degradation and the use of technologies for warlike or even genocidal purposes, such as the atomic bombs and napalm in the Vietnam War. In this context, understanding Nuclear Physics is essential to understanding how this field can impact society and the environment, allowing students to develop a critical and responsible view of the use of nuclear technology. The aim, therefore, is to redefine physics teaching, transforming it into a tool for social transformation that values citizenship development. To make learning even more interactive and engaging, the teaching sequence will be structured around a familiar and entertaining character: Homer Simpson, from The Simpsons, who works at a nuclear power plant. Using this character will allow for a more contextualized and playful approach, facilitating the understanding of fundamental concepts of nuclear physics, such as nuclear fission and fusion, in a more comprehensible and meaningful way for students.

Keywords: Nuclear Physics; CTSA Approach; Physics Education.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – No modelo atômico de Dalton, os átomos lembram bolas de bilhar, uma das formas como esse modelo ficou conhecido	23
Figura 2 – Modelo atômico de Thomson	25
Figura 3 – Modelo atômico de Rutherford	25
Figura 4 – Modelo atômico de Bohr	26
Figura 5 - Representação do símbolo, do número de massa e do número atômico de um átomo e exemplo do carbono-12	27
Figura 6 - Modelo Atômico de <i>Schrödinger</i> : O modelo atual e mais aceito pela comunidade científica	28
Figura 7 – Decaimento Beta (β^-)	31
Figura 8 – Representação da fissão nuclear em um átomo de urânio-235	33
Figura 9 – Representação da reação de fusão de deutério (D) e trítio (T), que produz um núcleo de hélio (ou partícula alfa) e um nêutron de alta energia	35
Figura 10 – CETI Maria de Carvalho, no município de Santo Antônio de Lisboa – PI.....	53
Figura 11 – Esquematização das etapas de estudo do Produto Educacional	57
Figura 12 - Análise da Questão 1: O que você entende por Física Nuclear?	60
Figura 13 - Análise da Questão 2: Você sabe o que é uma usina nuclear? Qual é sua função?.....	60
Figura 14 - Análise da Questão 3: Quais são os principais benefícios e riscos associados à energia nuclear, em sua opinião?	61
Figura 15 - Análise da Questão 4: Você já estudou ou ouviu falar sobre partículas subatômicas (prótons, nêutrons e elétrons)? Descreva brevemente o que sabe.....	61
Figura 16 - Análise da Questão 5: Você sabe qual é a aplicação da Física Nuclear? Se sim, cite alguns exemplos.	62
Figura 17 – Desenho do personagem Homer Simpson elaborado com a técnica do pontilhismo	63
Figura 18 – Resposta do aluno A	66
Figura 19 – Resposta do aluno B	66

Figura 20 – Resposta do aluno C	66
Figura 21 – Resposta do aluno C	67
Figura 22 – Resposta do aluno D	67
Figura 23 – Resposta do aluno D	67
Figura 24 – Resposta do aluno E	68
Figura 25 – Alunos do 9º ano analisando o tema proposto em aula	68
Figura 26 – Exibição do vídeo “Chernobyl – a história que não foi contada”	69
Figura 27 – Alunos do 9º ano realizando atividade prática com cartões sobre elementos químicos, número atômico e massa	70
Figura 28 – Alunos manuseando tampinhas coloridas representando prótons, nêutrons e elétrons, modelando a estrutura atômica	70
Figura 29 – Modelo do átomo de Alumínio construído com tampinhas coloridas, representando prótons, nêutrons e elétrons	71
Figura 30 – Atividade de Modelagem com Massinha: Explorando a Estrutura Atômica e o Decaimento Beta	74
Figura 31 – Exposição dos trabalhos realizados pelos alunos com massinha de modelar representando estruturas atômicas e decaimento beta	74
Figura 32 – Exposição do Mural para toda a comunidade escolar	76
Figura 33 – Alunos compartilham curiosidades sobre "Os Simpsons" e Chernobyl, ambos com enfoque em usinas nucleares	77
Figura 34 – Alunos apresentam um breve contexto histórico sobre o átomo e sua evolução ao longo do tempo	77
Figura 35 - Força Nuclear: Explorando a interação que mantém o núcleo atômico unido	78
Figura 36 - Decaimento Nuclear: Explorando os Tipos de Radiação e Transformações Atômicas	78
Figura 37 - Os alunos exploram o conceito de Fissão e Fusão Nuclear e suas aplicações no cotidiano	79
Figura 38 - Finalizando a apresentação com o tema da bomba atômica desde sua fabricação até impactos sociais	79
Figura 39 - A autora ressalta a necessidade de nos tornarmos cidadãos conscientes e capazes de influenciar debates CTSA	80
Figura 40 - Conclusão da aplicação do produto educacional	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Seleção dos trabalhos na Plataforma BDBT	40
Quadro 2 – Seleção dos trabalhos na Plataforma CAPES	43
Quadro 3 – Seleção dos trabalhos na Plataforma CAPES	47
Quadro 4 – Instrumentos de Coleta de Dados	55
Quadro 5 – Estrutura do produto educacional	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C. – antes de Cristo

BDBT – Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CAAE – Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

CETI – Centro Estadual de Tempo Integral

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

et al. – et alii

EUA – Estados Unidos da América

HFC – História e Filosofia da Ciência

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

NASTS – *National Association for Science, Technology and Society*

NSF – *National Science Foundation*

p. – página

PCNs – Parâmetros Curriculares Nacionais

PET – Polietileno Tereftalato

PI – Piauí

PSSC – *Physical Science Study Committee*

RPG – *Roleplaying Game*

TMP – Três Momentos Pedagógicos

UEPS – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

SUMÁRIO

1.APRESENTAÇÃO	14
2.PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	16
2.1 CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE	16
2.2 FÍSICA NUCLEAR	22
2.2.1 O átomo	22
2.2.2 Força nuclear	28
2.2.3 Decaimento beta	30
2.2.4 Reações nucleares	32
2.2.5. Segurança Nuclear	37
3.REVISÃO DE LITERATURA	40
3.1 ABORDAGEM CTSA	40
3.2 FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO DE FÍSICA	46
4. METODOLOGIA DE ENSINO	51
5. METODOLOGIA DO TRABALHO.....	53
5.1 SELEÇÃO DA ESCOLA E TURMA.....	53
5.2 PLANEJAMENTO DETALHADO	54
5.3 EXECUÇÃO E COLETA DE DADOS	54
5.4 ANÁLISE E AVALIAÇÃO	56
6. PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	57
7. RESULTADOS ESPERADOS	59
7.1 ANÁLISE DO 1º ENCONTRO - HOMER NA USINA NUCLEAR: UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA NUCLEAR.....	59
7.2 ANÁLISE DO 2º ENCONTRO – ENERGIA NUCLEAR: ANÁLISE DA REPRESENTAÇÃO EM “OS SIMPSONS”	64
7.3 ANÁLISE DO 3º ENCONTRO – HOMER ATÔMICO: PONTILHISMO E ESTRUTURA DA MATÉRIA.....	69
7.4 ANÁLISE DO 4º ENCONTRO – A FORÇA NUCLEAR DE HOMER	72
7.5 ANÁLISE DO 5º ENCONTRO – O MÁGICO HOMER E O SEGREDO DO DECAIMENTO BETA	73
7.6 ANÁLISE DO 6º ENCONTRO – FISSÃO E FUSÃO: HOMER DESCOBRE O PODER DA REAÇÃO NUCLEAR	74

7.7 ANÁLISE DO 7º ENCONTRO – BOMBA ATÔMICA: O PODER DESTRUTIVO QUE HOMER NÃO ENTENDE	75
7.8 ANÁLISE DO 8º ENCONTRO – A FÍSICA NUCLEAR AO ALCANCE DE TODOS: HOMER APRENDE SOBRE A BOMBA ATÔMICA	76
8. CONCLUSÃO	81
REFERENCIAIS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICES	88

1. APRESENTAÇÃO

O ensino de Física passou por uma mudança significativa. Ao longo do tempo, era centrado na memorização de fórmulas e resolução de problemas. No entanto, atualmente, sua abordagem é mais ampla, visando desenvolver pensamento crítico e contribuir significativamente para o avanço da Ciência e Tecnologia (Brasil, 2002).

O ensino de Física é desafiador devido à complexidade e abstração de seus conceitos, exigindo um conhecimento aprofundado de teorias, leis e equações matemáticas para compreender fenômenos naturais. Para superar esses desafios, é fundamental empregar abordagens pedagógicas e metodologias variadas. A ênfase na memorização de fórmulas no ensino de Física pode levar a uma compreensão superficial, limitar o desenvolvimento de habilidades críticas e resultar em desinteresse pela disciplina, prejudicando o desempenho acadêmico e a formação científica dos estudantes.

A Física Nuclear é uma área fundamental para compreender o mundo atual, porque estuda os processos que envolvem o núcleo atômico, fundamentais para energia, medicina, segurança e tecnologia, mas enfrenta desafios significativos no contexto educacional. Frequentemente, é pouco abordada nos livros didáticos, o que limita a exposição dos alunos a conceitos cruciais e dificulta sua compreensão devido à falta de conexão com a realidade cotidiana. Além disso, o progresso científico e tecnológico, embora tenha avançado significativamente, também trouxe preocupações importantes, como a degradação ambiental e a associação do desenvolvimento científico e tecnológico com a guerra. Nesse contexto, este estudo se propõe a estudar estratégias para tornar a Física Nuclear mais atraente e compreensível para os alunos, abordando suas implicações práticas e éticas de forma contextualizada e relevante, com o objetivo de melhorar a compreensão e o pensamento crítico dos estudantes nessa área fundamental.

Este trabalho pretende explorar o ensino de Física Nuclear, parte integrante da Física Moderna, no Ensino Fundamental, tornando-o mais significativo por meio de uma Sequência Didática baseada na perspectiva CTSA, com foco em Fissão e Fusão Nuclear. Para tornar a aprendizagem ainda mais interativa e atraente, será utilizado o personagem Homer Simpson, da série Os Simpsons, que trabalha em uma usina nuclear, como elemento motivador e contextualizador da Sequência Didática. A

introdução da Física Nuclear pode despertar a curiosidade dos alunos e ampliar sua compreensão sobre o mundo e o universo, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico e questionamento científico. Ao explorar questões fundamentais, como a composição da matéria, os estudantes podem usar a Ciência para descobrir respostas e entender melhor o mundo ao seu redor.

Considerando esses fatores, propomos o seguinte problema de pesquisa e ensino: Como a abordagem CTSA pode contribuir para uma aprendizagem mais contextualizada e reflexiva de Física Nuclear no Ensino Fundamental? O objetivo é compreender como essa abordagem pode aprimorar a experiência dos alunos, promovendo um ensino mais dinâmico e reflexivo. Para apresentar nossa proposta, seguiremos a estrutura recomendada pela Comissão de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Primeiramente, discutiremos os pressupostos teóricos que fundamentam a investigação. Em seguida, apresentaremos a revisão de literatura, seguida pela descrição detalhada da metodologia de ensino e do trabalho. Por fim, analisaremos os resultados da aplicação do produto educacional em uma turma de 9º ano do Ensino Fundamental, apresentando a conclusão.

2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Esta seção dedica-se à apresentação dos fundamentos teóricos que guiarão o desenvolvimento do nosso produto educacional. Primeiramente, definimos o referencial teórico que servirá de base para o estudo do processo de ensino-aprendizagem. Posteriormente, abordamos o conteúdo de Física que constituirá um dos eixos centrais da nossa investigação.

O produto educacional estabelece uma conexão entre a Sequência Didática e o ensino de Física Nuclear, um tema cativante que visa ensinar conceitos fundamentais sobre a estrutura da matéria e os processos nucleares para alunos do Ensino Fundamental. Fundamentado na abordagem CTSA, esse trabalho promove o desenvolvimento de habilidades essenciais, como pensamento crítico, resolução de problemas e tomada de decisões informadas, com o objetivo de formar cidadãos conscientes e responsáveis que possam participar ativamente na sociedade, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e relevante.

2.1. Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

O ensino de Física é um campo amplo que pode ser explorado sob diversas óticas, seja como disciplina científica fundamental, ferramenta para o desenvolvimento tecnológico ou componente essencial da Educação Básica. Para entender a realidade atual do ensino de Física, é essencial analisar sua atuação, origens e evolução histórica, contextualizando-o na Educação Básica e identificando os fatores que influenciaram seu desenvolvimento (Moraes; Araújo, 2012).

A inclusão da Física como disciplina obrigatória no currículo da Educação Básica brasileira remonta a 1837. Infelizmente, conforme destacam Neto e Pacheco (2001), muitos aspectos desse ensino permanecem inalterados até os dias atuais, caracterizando-se por uma abordagem centrada no livro didático, aulas expositivas que priorizam a transmissão de conteúdos, ausência de atividades experimentais e ênfase em exercícios que demandam memorização e habilidades algébricas.

Na década de 1950, em decorrência do acelerado processo de industrialização brasileira, a Física foi incorporada também ao currículo do Ensino Fundamental. Essa medida refletia o contexto da época, sendo interpretada como um estímulo ao desenvolvimento industrial em curso (Moraes; Araújo, 2012). Esse estímulo foi impulsionado pelo governo americano, que tinha como referência um modelo educacional focado no domínio de conteúdos e no desenvolvimento de atividades experimentais, conforme apontam Rosa e Rosa (2005). Essa abordagem passou a priorizar a participação ativa dos alunos na montagem de kits experimentais, prática anteriormente restrita ao professor devido à complexidade e ao custo dos equipamentos.

Segundo Moraes e Araújo (2012), a década de 1960 foi marcada pela proposição de diversos projetos visando aprimorar o ensino de Física. Entre esses, destacam-se iniciativas europeias, como o *Nuffield*, e americanas, como o *Harvard Physics Project* e o *Physical Science Study Committee (PSSC)*. Este último exerceu grande influência no Brasil, graças à sua abrangência, que incluía não apenas um currículo estruturado, mas também materiais didáticos e uma abordagem filosófica específica para o ensino de Física. Além disso, surgiram projetos nacionais, como o Projeto de Ensino de Física, desenvolvido na Universidade de São Paulo, que também contribuíram para a evolução do ensino de Física no país (Moreira, 2000, p. 94).

No início do século XX, a Ciência Moderna foi amplamente celebrada por suas conquistas e promessas de progresso. Muitas pessoas viam o avanço científico como uma solução para os problemas sociais e uma chave para um futuro melhor. No entanto, a II Guerra Mundial trouxe uma realidade brutal, mostrando que a Ciência também podia ser utilizada para fins destrutivos. A subsequente utilização de armas químicas, como o Napalm e o Agente Laranja, durante a Guerra do Vietnã, causou choque e consternação em muitas pessoas, que perceberam que o progresso científico não era necessariamente sinônimo de progresso humano (Santo, 2015).

Em decorrência das críticas à abordagem tradicional da Ciência e Tecnologia, bem como ao modelo de desenvolvimento pós-guerra, surgiu o movimento CTS, conhecido em inglês como *Science, Technology and Society (STS)*, nos anos 1960 e 1970, em países industrializados como os da Europa, Estados Unidos, Canadá e Austrália. Esse campo de estudos acadêmicos investiga as complexas interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e suas diversas implicações (Maestrelli, 2018).

Para entender o movimento CTS, é fundamental resgatar seu contexto histórico. Embora sem uma data precisa, o movimento provavelmente emergiu após a Segunda Guerra Mundial, em meados do século XX, quando se percebeu a necessidade de debater sobre os impactos da Ciência e Tecnologia na sociedade. Com o tempo, o movimento se expandiu globalmente, originando duas correntes principais: a norte-americana e a europeia, cada uma com abordagens distintas (Moraes; Araújo, 2012).

Segundo Cerezo (2002), nos EUA o foco foi nas consequências sociais e ambientais das tecnologias, refletindo uma tradição ativista ligada aos movimentos de protesto social dos anos 60 e 70. O ativismo nos EUA ganhou força após a Segunda Guerra Mundial, impulsionado por eventos críticos que questionaram a política científico-tecnológica. Três marcos foram fundamentais: o lançamento da bomba atômica em Hiroshima e Nagasaki (1945), o lançamento do *Sputnik* (1957), primeiro satélite a orbitar a Terra, e o fracasso na Guerra do Vietnã, que desencadeou movimentos de contracultura e revolta social (Moraes; Araújo, 2012).

Em contrapartida, os EUA investiram na criação de projetos inovadores no ensino de Ciências, porém não obtendo muito sucesso, com resultados limitados, já que a maioria deles era voltada para alunos com perfil mais acadêmico (Cruz; Zylbersztajn, 2005). De acordo com Moraes e Araújo (2012), o enfoque CTS no ensino norte-americano só ganhou impulso na década de 1980. Em 1985, a Universidade da Pensilvânia recebeu um grande financiamento da *National Science Foundation* (NSF) para o projeto “Ciências através de CTS”, que mapeou iniciativas CTS em diferentes níveis de ensino nos EUA e outros países. O projeto resultou na criação de materiais instrucionais, uma revista e da *National Association for Science, Technology and Society* (NASTS). Essas iniciativas impulsionaram a disseminação do enfoque CTS na educação americana, especialmente no Ensino Fundamental e Médio. Com isso, CTS se consolidou como um movimento de reforma curricular, deixando de ser visto como uma abordagem educacional alternativa.

O enfoque CTS europeu diverge do norte-americano. Segundo Cerezo (2002), o enfoque CTS na Europa se concentra mais no estudo dos fatores sociais que influenciam a Ciência, originando-se do "Programa Forte" da sociologia do conhecimento científico. Na Inglaterra, o enfoque CTS surgiu de reflexões dos movimentos sociais sobre os impactos negativos da Ciência e Tecnologia, conforme afirmam Moraes e Araújo (2012). A partir dos anos 1970, a Inglaterra foi influenciada

pela Nova Sociologia da Educação, que impactou o campo de pesquisa educacional com cursos e estudos voltados para uma elite intelectual. Foi então que o enfoque CTS começou a ser incorporado ao currículo tradicional de Ciências (Cruz; Zylbersztajn, 2005).

No Brasil, o enfoque CTS começou a se desenvolver nos anos 1980, com poucos programas de educação superior focados em Ciência, Tecnologia e Sociedade, se concentrando predominantemente no nível da pós-graduação (Invernizzi; Fraga, 2008). Apesar do ritmo lento, o movimento CTS vem se expandindo no contexto educacional brasileiro, com eventos como a Conferência Internacional Ensino de Ciências e Tecnologia para o Século XXI em 1990, a reforma curricular do Ensino Médio com elementos CTS e a criação de linhas de pesquisa em cursos de graduação e pós-graduação (Moraes; Araújo, 2012).

Nos anos 1990, a legislação educacional brasileira passou por mudanças, com a reformulação da Lei de Diretrizes e Bases (LDB) em 1996. O enfoque CTS ganhou destaque nacional com a criação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) em 1998, que incluíam recomendações explícitas sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade para o Ensino Fundamental e Médio (Moraes; Araújo, 2012).

A relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade tem impulsionado um movimento que busca transformar o ensino de Ciências, propondo uma abordagem crítica e reflexiva que considere a natureza social e política da Ciência (Santo, 2015). Nessa perspectiva, o aprendizado contextualizado é fundamental, pois vincula a escola à vida do estudante, promovendo a problematização e a participação ativa na sociedade (Santos; Schnetzler, 2003). Ao partir de questões sociocientíficas, é possível refletir sobre as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, tornando o ensino de Ciências mais compreensível e prático.

Ao longo da história, é comum que resultados de pesquisas científicas sejam utilizados para fins belicistas ou até mesmo genocidas. Embora seja fácil atribuir toda a responsabilidade aos políticos, é fundamental reconhecer que esses projetos não poderiam ser bem-sucedidos sem a participação de cientistas extremamente competentes. O desenvolvimento e o uso de armas nucleares, como as bombas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki em 1945, constituem um exemplo notável que pode ser utilizado para promover um debate amplo e profundo com os estudantes sobre os impactos socioambientais da energia nuclear (Guio; Dorsch, 2023).

Com o tempo, as questões ambientais ganharam destaque, e muitos autores passaram a enfatizar a importância de abordar esses temas no ensino de Ciências, levando à adoção da terminologia CTSA. Embora alguns ainda utilizem a terminologia original, ambas as abordagens compartilham o objetivo de promover uma educação em Ciências mais crítica e responsável (Santo, 2015).

A abordagem CTSA é um campo relevante de investigação e ação social, essencial no contexto educacional por promover a reflexão sobre a reestruturação curricular e a abordagem de conteúdos científicos, considerando as dimensões social e ambiental (Hammel *et al.*, 2019). A ausência de uma abordagem CTSA integrada ao currículo pode levar a um ensino desarticulado e distante das experiências dos alunos, comprometendo a formação de cidadãos críticos e conscientes, objetivo central da educação em Ciências (Chassot, 2003).

Em contraste com a abordagem tradicional de ensino, que muitas vezes se baseia em metodologias convencionais e no uso de livros didáticos como principal recurso curricular, a abordagem CTSA oferece uma perspectiva inovadora e contextualizada para o ensino de Física. Ao integrar conceitos científicos com questões sociais e ambientais, a abordagem CTSA permite uma ressignificação dos conteúdos e uma compreensão mais profunda e significativa dos temas abordados, o que pode ser especialmente relevante para a disciplina de Física (Neto; Santos, 2020).

Um ensino de Ciências dentro da perspectiva CTSA pressupõe uma abordagem crítica e reflexiva, que rompe com a educação tradicional e bancária, conforme defendido por Freire (1996). Nesse sentido, o ensino de Ciências deve ser orientado para a valorização do cotidiano e para abordagens integradoras, que considerem as inter-relações entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente. Isso implica uma reformulação de currículos e práticas pedagógicas, com o objetivo de promover o letramento científico e tecnológico, e de preparar os estudantes para lidar com os desafios do mundo real de forma crítica e responsável (Maciel *et al.*, 2024).

Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007) ressaltam que o campo educativo tem sido um dos principais focos do movimento CTS desde seu início, com ênfase no "enfoque CTS no contexto educativo", que demanda novas abordagens curriculares e concepções atreladas ao contexto social.

Segundo Santos e Mortimer:

[...] o objetivo central da educação CTS é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando os alunos a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões (Santos; Mortimer, 2000, p. 5).

De acordo com Neto e Santos (2020), a abordagem CTSA possibilita que os alunos compreendam a Ciência como uma produção humana que está intrinsecamente relacionada às questões sociais e ambientais, e que não pode ser dissociada das relações sociais em que é produzida.

Figueiredo, Messeder e Ramos (2021) destacam a importância da escola em conectar as experiências do indivíduo em seu desenvolvimento intelectual. Dado que o conhecimento científico é influenciado por aspectos histórico-sociais, tecnológicos, políticos e econômicos, o processo educativo deve focar na construção e transformação do conhecimento, superando a ideia de verdades imutáveis.

[...] Um estudo das aplicações da ciência e tecnologia, sem explorar as suas dimensões sociais, podem propiciar uma falsa ilusão de que o aluno compreende o que é ciência e tecnologia. Esse tipo de abordagem pode gerar uma visão deturpada sobre a natureza desses conhecimentos, como se estivessem inteiramente a serviço do bem da humanidade, escondendo e defendendo, mesmo que sem intenção, os interesses econômicos daqueles que desejam manter o status quo (Santos; Mortimer, 2000, p. 12).

Atualmente, a abordagem CTSA visa promover uma participação mais ativa e significativa de diferentes setores sociais nas decisões relacionadas ao desenvolvimento e aplicação de Ciência e Tecnologia (Hammel *et al.*, 2019). De acordo com Auler (1998), um dos objetivos centrais do movimento CTSA é redefinir o processo de tomada de decisões em relação à Ciência e Tecnologia, buscando uma abordagem mais democrática e menos tecnocrática, com a participação de um número maior de atores sociais.

Adotar uma abordagem CTSA no ensino requer uma perspectiva renovada sobre o currículo, implicando uma formação distinta da tradicional. Isso demanda uma reestruturação e reorganização dos conteúdos e das metodologias utilizadas, visando uma educação mais alinhada com os princípios da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (Hammel *et al.*, 2019).

Segundo Tavares (2016), a legislação educacional brasileira busca fomentar a abordagem CTSA no contexto educacional, visando à formação de professores aptos

a lidar com tecnologia e sociedade, e promovendo novos paradigmas sobre Ciência, saber e questões sociais e culturais. Nesse cenário, o Ensino de Ciências desempenha um papel fundamental na disseminação de temas relevantes para a sociedade. A LDB (1996) reflete essa perspectiva ao estabelecer, nos incisos III e IV do artigo 43, diretrizes para a educação superior.

Art. 43. A educação superior tem por finalidade:

[...] III - incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando o desenvolvimento da ciência e da tecnologia e da criação e difusão da cultura, e, desse modo, desenvolver o entendimento do homem e do meio em que vive;

IV - promover a divulgação de conhecimentos culturais, científicos e técnicos que constituem patrimônio da humanidade e comunicar o saber através do ensino, de publicações ou de outras formas de comunicação; [...]

Moraes e Araújo (2012) destacam que o sucesso do processo educacional depende da conscientização dos professores sobre a necessidade de adotar um novo posicionamento em sua prática docente. A capacitação dos professores é fundamental para implementar o enfoque CTSA, sendo necessário investir em estudos, pesquisas e planejamento de processos formativos que os preparem para atuar de forma aberta às novas perspectivas desse enfoque. A promoção do desenvolvimento cognitivo e atitudinal dos estudantes é facilitada quando a prática docente contempla a contextualização sociocultural, alinhada às orientações curriculares e à alfabetização científica, que incorpora elementos fundamentais do enfoque CTSA.

2.2 Física Nuclear

2.2.1 O átomo

Os primeiros filósofos gregos, ao observarem a vasta diversidade de substâncias ao seu redor, suspeitaram que provavelmente existiriam elementos fundamentais que dariam origem a essa multiplicidade de formas. E, de fato, essa intuição revelou-se correta (Calçada; Sampaio, 2005).

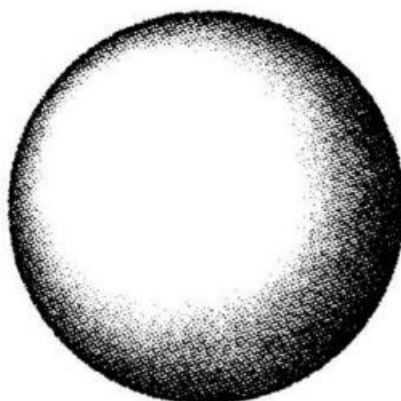
De acordo com Abdalla (2016), os filósofos da Grécia Antiga defendiam a ideia de que o universo era fundamentalmente constituído por um número limitado de elementos básicos. No século V a.C., essa concepção evoluiu com a proposição da

teoria atomista, que sugeria que a matéria era composta por unidades mínimas indivisíveis, denominadas "átomos" (do grego "atomos", que significa indestrutível). Essa ideia permaneceu adormecida por mais de 24 séculos, até o início do século XVIII, quando a Ciência Moderna começou a se desenvolver. Durante a Idade Média, os alquimistas preservaram essa noção, mas foi somente com o advento da Ciência Moderna que o conceito de átomo foi retomado e desenvolvido.

A teoria atômica ressurgiria somente por volta de 1800, graças aos trabalhos de vários químicos, especialmente John Dalton. Em 1803, Dalton publicou seu trabalho "*Absorption of Gases by Water and Other Liquids*" (Absorção de gases pela água e outros líquidos), no qual postulou sua teoria atômica (Silva; Silva, 2021). Essa teoria foi capaz de explicar certas propriedades dos gases que observava, o que levou a formular e postular as leis de proporções. A teoria atômica de Dalton foi publicada em 1808, no livro "Um novo sistema da filosofia química". Segundo ele, a existência dos átomos era a única explicação para certas propriedades dos gases que observava (Abdalla, 2016).

Conforme Silva e Silva (2021), Dalton propôs sua teoria atômica, na qual o átomo seria representado como uma pequena esfera maciça, indestrutível e indivisível, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – No modelo atômico de Dalton, os átomos lembram bolas de bilhar, uma das formas como esse modelo ficou conhecido.



Fonte: Silva e Silva (2021)

Desse modo, o modelo atômico de Dalton foi capaz de explicar, em sua época, os questionamentos sobre o comportamento de gases, fenômenos meteorológicos e a composição da atmosfera. No entanto, essa teoria permaneceu válida por vários

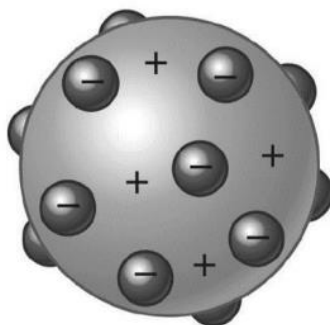
anos até apresentar limitações, indicando a necessidade de novos estudos sobre a estrutura atômica (Melzer; Aires, 2015).

Segundo Abdalla (2016), em 1900, o físico inglês Lorde Kelvin fez uma declaração infeliz na Associação para o Progresso da Ciência, afirmando que não havia mais nada a ser descoberto pela Ciência naquela época. No entanto, Barreto e Xavier (2016) relatam que Lorde Kelvin apresentou uma palestra na Instituição Real Britânica no dia 27 de abril de 1900, intitulada "*Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light*". Nessa ocasião, ele destacou dois desafios significativos que permaneciam sem solução: a inconclusividade do experimento de Michelson-Morley e a questão da radiação do corpo negro, contrariando o que havia dito anteriormente.

A experiência de Joseph John Thomson com raios catódicos em 1897 foi um marco importante, pois demonstrou a divisibilidade do átomo e levou à identificação do elétron como a primeira partícula elementar conhecida. Essa descoberta revolucionou a compreensão da estrutura atômica, revelando a presença de partículas subatômicas e desafiando a concepção clássica do átomo como uma unidade indivisível. Além disso, abriu caminho para o desenvolvimento da Física Quântica, com cientistas como Max Planck e Albert Einstein explorando a natureza da radiação e da matéria em escalas atômicas (Abdalla, 2016).

No início do século XX, o conhecimento sobre a estrutura atômica era limitado ao fato de que os átomos continham elétrons. Embora o elétron tivesse sido descoberto, sua massa ainda era desconhecida, o que impedia a determinação do número de elétrons presentes em um átomo. Os físicos sabiam que os átomos eram neutros, o que implicava a presença de cargas positivas, mas a natureza dessas cargas permanecia um mistério (Halliday; Resnick, 2009).

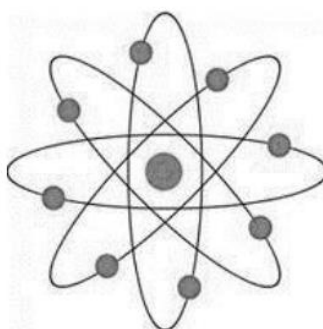
Isso levantou a questão de como as cargas positivas e negativas estavam distribuídas dentro do átomo. Thomson propôs um modelo atômico em que os elétrons estavam imersos em uma distribuição contínua de carga positiva (Eisenberg; Resnick, 1979). Esse modelo é frequentemente descrito como o "modelo do pudim de ameixas" (Figura 2), no qual o átomo é representado como uma esfera de aproximadamente $1 \text{ \AA}$ (um *angstrom*) com carga positiva, na qual os elétrons estavam incrustados (Abdalla, 2016).

Figura 2 – Modelo atômico de Thomson

Fonte: Silva e Silva (2021)

Halliday e Resnick (2009) destacam que Ernest Rutherford, ex-aluno de Thomson, propôs que a carga positiva do átomo estaria localizada em uma região muito pequena e central, denominado de núcleo do átomo. Essa hipótese foi fundamentada nos resultados de um experimento conduzido por Hans Geiger e Ernest Marsden, que foi proposto pelo próprio Rutherford.

Rutherford apresentou resultados experimentais que contradiziam as previsões do modelo de Thomson, sugerindo uma distribuição de cargas diferente no átomo. Ele propôs um modelo atômico com uma carga central concentrada, responsável pelas grandes deflexões das partículas α e β ao atravessar o forte campo central (Lopes, 2009). O átomo composto pelos elétrons de Thomson e pelo núcleo de Rutherford apresentava problemas. Rutherford propôs uma estrutura atômica análoga ao sistema solar, com elétrons orbitando o núcleo devido à atração eletromagnética, e não gravitacional, como ilustrado na figura 3 (Ostermann, 2001).

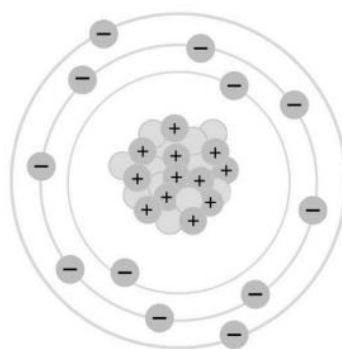
Figura 3 – Modelo atômico de Rutherford

Fonte: Silva e Silva (2021)

De acordo com Lopes (2009), o estudo não gerou grande interesse na comunidade científica da época, pois os pesquisadores estavam focados em entender os elétrons. Somente em 1913, dois anos depois, o modelo de Rutherford ganhou reconhecimento, ao ser utilizado como base para o modelo atômico de Niels Bohr.

O modelo atômico de Bohr propõe um núcleo central pequeno e positivo, que concentra a maior parte da massa do átomo, o que estava de acordo com Rutherford, e ao redor dele, elétrons se movem em órbitas circulares (Melzer; Aires, 2015). A Figura 4 ilustra esse modelo.

Figura 4 – Modelo atômico de Bohr



Fonte: Silva e Silva (2021)

Em junho de 1919, Rutherford demonstrou que o impacto dessas partículas no nitrogênio resultava na produção de núcleos de hidrogênio, ou seja, prótons, e na transformação do nitrogênio em um isótopo do oxigênio, especificamente o $^{17}_8\text{O}$. Essa descoberta confirmou de forma conclusiva a existência do próton (Abdalla, 2016).

Conforme Abdalla (2016), naquela época, as partículas α eram bem conhecidas devido à sua associação com elementos radioativos. Era sabido que os núcleos radioativos emitiam três tipos de radiação: α (alfa), β (beta) e γ (gama). A emissão dessas partículas pelos átomos radioativos levou alguns físicos a especular que os átomos poderiam ser compostos por essas partículas. Atualmente, sabemos que as partículas α são núcleos de hélio, as partículas β são elétrons em alta velocidade e as partículas γ são fótons de alta energia.

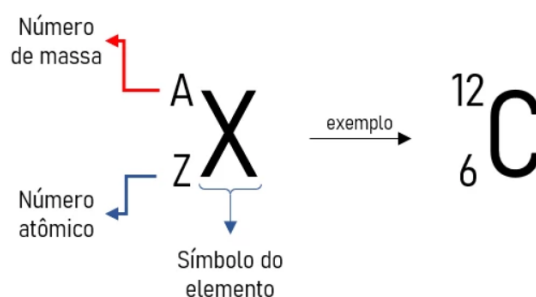
Entre partículas carregadas, ocorre uma interação eletrostática fundamental, que pode ser atrativa ou repulsiva. No contexto do núcleo atômico, essa força repulsiva atua entre os prótons, devido às suas cargas positivas, tendendo a separá-los. Conforme destacado por Abdalla (2016), essa dinâmica levou à busca por uma partícula neutra que pudesse estar presente no núcleo. Por volta de 1920, cientistas

como Rutherford sugeriram a existência de uma partícula neutra formada por um próton e um elétron, com uma massa próxima à do próton.

Em 1931, o físico inglês James Chadwick realizou uma versão aprimorada de um experimento conduzido por Frédéric Joliot-Curie e Irène Joliot-Curie, seguindo as expectativas de Ernest Rutherford, que havia proposto a existência do nêutron desde 1920. Chadwick estava ciente de que o casal Joliot-Curie havia detectado uma partícula neutra com massa similar à do próton e decidiu replicar o experimento para confirmar os resultados. Em 1935, Chadwick foi laureado com o Prêmio Nobel de Física, coincidindo com a atribuição do Prêmio Nobel de Química ao casal Joliot-Curie (Abdalla, 2016).

De acordo com Calçada e Sampaio (2005), as suspeitas iniciais de que os átomos são compostos por partículas mais simples foram confirmadas com a descoberta de que eles são constituídos por três tipos de partículas fundamentais: prótons (p^+), elétrons (e^-) e nêutrons (n). Os núcleos atômicos são formados por prótons e nêutrons. O número de prótons no núcleo, conhecido como número atômico, é representado pela letra Z , enquanto o número de nêutrons é representado pela letra N . A soma desses dois valores corresponde ao número de massa, representado pela letra A , que pode ser calculado pela equação $A = Z + N$. A representação de um átomo inclui dois números posicionados ao lado do símbolo químico: o número de massa (A) é indicado na parte superior, e o número atômico (Z) é indicado na parte inferior. Um exemplo disso é o símbolo do carbono-12, conforme a figura 5.

Figura 5 - Representação do símbolo, do número de massa e do número atômico de um átomo e exemplo do carbono-12.



Fonte: <https://www.todoestudo.com.br/quimica/numero-de-massa> acesso em: 02 fev. 2026.

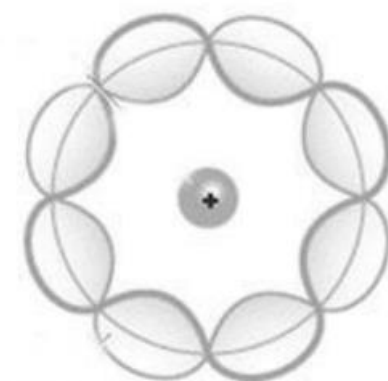
Com a descoberta dos nêutrons, tornou-se possível entender de forma clara a existência de isótopos. A identidade de um elemento químico é determinada pelo

número de prótons em seu núcleo, pois isso define a carga elétrica e, consequentemente, o número de elétrons na eletrosfera, o que influencia suas propriedades químicas. Por outro lado, a massa do átomo é determinada pela soma de prótons e nêutrons no núcleo. Assim, um mesmo elemento pode ter variantes com massas diferentes devido à variação no número de nêutrons (Dorsch; Guio, 2023).

A combinação de descobertas experimentais e avanços matemáticos levou ao desenvolvimento da mecânica quântica. Com o princípio da incerteza de Heisenberg, que estabelece a impossibilidade de determinar com precisão a posição exata do elétron em seus orbitais e suborbitais, surgiu a equação de Schrödinger, um modelo matemático que descreve o comportamento dos elétrons (Nunes, 2021).

A partir disso, Schrödinger calculou a região com maior probabilidade de encontrar o elétron na eletrosfera, como consequência do princípio da incerteza. Schrödinger introduziu o conceito de orbital, definido como a região ao redor do núcleo onde há maior probabilidade de localizar o elétron, formando a base do modelo atômico atual conforme mostra a figura 6 (Silva; Silva, 2021).

**Figura 6 - Modelo Atômico de Schrödinger:
O modelo atual e mais aceito pela comunidade científica.**



Fonte: Silva e Silva (2021)

2.2.2 Força Nuclear

Um dos principais objetivos da Física Nuclear é determinar as características da força nuclear. Experimentos de espalhamento com prótons, nêutrons e outras partículas fornecem informações sobre essa força. Embora esses experimentos possam ser previstos com base nas forças envolvidas, não é possível determinar as forças com exatidão a partir dos resultados. No entanto, os experimentos revelam que a força nuclear é independente do tipo de núcleon (nêutron-nêutron, próton-próton ou

nêutron-próton), é forte em distâncias curtas, mas se torna nula em distâncias maiores que alguns femtômetros, e é do tipo saturado (Tipler, Llewellyn, 2014).

A força eletromagnética é responsável por manter os elétrons ligados ao núcleo, formando os átomos. Já a força que mantém os núcleons unidos no núcleo precisa ser forte o suficiente para superar a repulsão eletromagnética entre os prótons, que têm cargas positivas idênticas (Halliday, Resnick, 2009).

A presença de prótons no núcleo levanta uma questão fundamental: como eles conseguem permanecer unidos apesar da repulsão eletromagnética? Conforme explicado por Calçada e Sampaio (2005), existe uma força adicional que atua entre os prótons, caracterizada por ser atrativa e ter um alcance extremamente curto, sendo significativa apenas quando a distância entre os prótons é inferior a 10^{-15} metros. Essa força nuclear não só atua entre prótons, mas também entre nêutrons e entre prótons e nêutrons, garantindo a estabilidade do núcleo. Sua intensidade é maior que a repulsão elétrica em distâncias muito curtas, o que explica a dificuldade de remover prótons e nêutrons do núcleo, em contraste com a relativa facilidade de remover elétrons, que não estão sujeitos a essa força.

A força forte, conforme destacado por Abdalla (2016), desempenha um papel essencial nos fenômenos de curta distância dentro do núcleo atômico, garantindo a estabilidade nuclear. Ela atua como uma força de coesão entre partículas subatômicas elementares que compõem os prótons e nêutrons, superando a repulsão eletromagnética e permitindo a existência da matéria em sua forma atual. A ausência dessa força provavelmente resultaria em uma estrutura do universo completamente diferente da que observamos.

Além da força forte, outra força fundamental atua no núcleo atômico: a força fraca. Essa força é essencial para explicar a estabilidade nuclear e certos fenômenos, como a radioatividade e o decaimento. Sua principal função é mediar processos radioativos, nos quais um núcleo atômico se transforma em outro, envolvendo a conversão de um nêutron em um próton, um elétron e um neutrino, conforme destacado por Barreto e Xavier (2016).

2.2.3 Decaimento Beta

Quando uma partícula colide com um núcleo, vários processos podem ocorrer, incluindo espalhamento elástico ou inelástico (com excitação do núcleo e subsequente decaimento), absorção da partícula e emissão de uma ou mais partículas (Tipler, Llewellyn, 2014).

Os núcleos atômicos podem ser classificados em dois grupos quanto à sua estabilidade: os estáveis e os não estáveis. Os núcleos estáveis mantêm sua estrutura inalterada ao longo do tempo, enquanto os não estáveis sofrem decaimento, caracterizado pela emissão de partículas subatômicas (Barreto, Xavier, 2016).

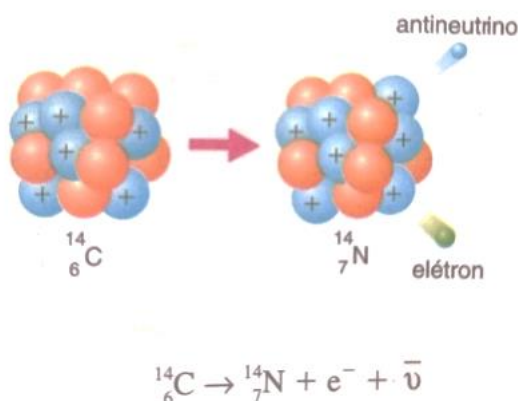
Em 1936, Niels Bohr propôs que reações nucleares de baixa energia podem ocorrer em dois estágios: a formação de um núcleo composto, onde a partícula incidente é absorvida e sua energia é distribuída entre os núcleons, e o decaimento subsequente desse núcleo. Nesse modelo, a energia de excitação do núcleo composto se concentra em um núcleon após um tempo considerável, levando à sua emissão (Tipler, Llewellyn, 2014).

No contexto da Física, o termo "decaimento" refere-se à transformação de uma partícula em outras. Um exemplo disso é o decaimento de um nêutron livre, que após um determinado período se transforma em um próton, um elétron e um antineutrino (Calçada, Sampaio, 2005).

Segundo Halliday e Resnick (2009), o decaimento beta ocorre quando um núcleo se transforma em outro, emitindo um elétron ou pósitron. Esse processo é espontâneo e apresenta características estatísticas, com energia de desintegração e meia-vida bem definidas, similar ao decaimento alfa.

Calçada e Sampaio (2005) descrevem dois tipos de decaimento beta. O decaimento β^- envolve a emissão de um elétron e ocorre quando um nêutron se transforma em um próton, podendo acontecer tanto com nêutrons livres quanto com nêutrons dentro de um núcleo. Nesse processo, o próton permanece no núcleo, enquanto o elétron e o antineutrino são expulsos, alterando o elemento químico devido ao aumento do número de prótons (ver figura 7).

Figura 7: Decaimento Beta (β^-)



Fonte: Calçada e Sampaio (2005)

Já o decaimento β^+ envolve a transformação de um próton em um nêutron, com emissão de um pósitron e um neutrino. Nesse caso, o nêutron permanece no núcleo, enquanto o pósitron e o neutrino são ejetados, resultando em uma mudança no elemento químico devido à diminuição do número de prótons (Calçada; Sampaio, 2005).

De acordo com Halliday e Resnick (2009), nos processos de decaimento beta, tanto a carga quanto o número de núcleons são conservados. Embora os núcleos sejam compostos apenas por prótons e nêutrons, eles podem emitir elétrons, pósitrons e neutrinos. Isso ocorre porque essas partículas são criadas durante o processo de decaimento, assim como os fótons são criados durante a emissão, não sendo necessário que estejam presentes no núcleo antes do decaimento.

Segundo Abdalla (2016), Enrico Fermi propôs em 1943 a existência de uma força capaz de converter um nêutron em um próton, acompanhada pela emissão de um elétron e um neutrino. Essa força foi posteriormente denominada força nuclear fraca, distinguindo-se da força nuclear forte que une os núcleons. A força fraca atua em distâncias extremamente curtas, menores que 10^{-17} metros, e é responsável por fenômenos como a desintegração do nêutron e processos que envolvem neutrinos, como a combustão solar. Durante a queima nuclear no Sol, neutrinos são criados pela desintegração de nêutrons, evidenciando a atuação da força fraca.

2.2.4 Reações Nucleares

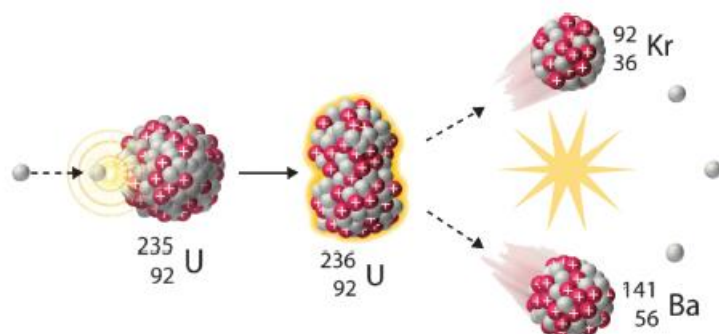
O estudo das reações nucleares é fundamental por várias razões, uma delas sendo a obtenção de informações sobre os estados excitados do núcleo, complementando aquelas obtidas através do decaimento nuclear. Além disso, o estudo dessas reações, especialmente o equilíbrio energético, fornece dados importantes sobre as massas dos núcleos participantes, o que se revela crucial para entender processos como a Fissão e a Fusão Nuclear (Eisenberg; Resnick, 1979).

Halliday e Resnick (2009) relatam que Lise Meitner, Otto Hahn e Fritz Strassman, em pesquisas realizadas em Berlim, descobriram que a exposição de sais de Urânio a nêutrons térmicos resultava na produção de produtos radiativos. A identificação de um desses produtos como Bário gerou perplexidade devido à grande diferença entre os números atômicos do Urânio e do Bário. Meitner e seu sobrinho, Otto Frisch, posteriormente elucidaram o fenômeno, propondo que o núcleo de Urânio, após absorver um nêutron, dividia-se em dois fragmentos aproximadamente iguais, com liberação de energia, processo que Frisch denominou Fissão.

De acordo com Barreto e Xavier (2016), a Fissão Nuclear é um processo que envolve a liberação de energia através da divisão de um núcleo pesado em núcleos menores. Conforme descrito por Calçada e Sampaio (2005), esse processo pode ser iniciado quando um nêutron colide com um núcleo pesado, causando sua quebra em dois núcleos menores de tamanhos semelhantes, além da emissão de dois ou três nêutrons.

O processo de fissão do ^{235}U (Urânio-235) ocorre quando um nêutron colide com o núcleo, transformando-o em ^{236}U instável. Esse núcleo instável sofre uma divisão em dois núcleos menores, Bário-141 e Criptônio-92, com a emissão de três nêutrons. Os núcleos resultantes são instáveis e passam por decaimentos β^- até se tornarem estáveis, com emissão adicional de fótons de alta energia (raios γ). A grande repulsão elétrica entre os núcleos de Bário e Criptônio resulta em altas velocidades e energia cinética, ocorrendo principalmente uma transformação de energia potencial elétrica em energia cinética dos fragmentos (Calçada, Sampaio, 2005). Na figura 8 temos um exemplo de Fissão:

Figura 8: Representação da fissão nuclear em um átomo de Urânio-235



Fonte: Guio e Dorsch (2023)

Halliday e Resnick (2009) destacam que a capacidade dos nêutrons liberados na Fissão de induzir outros núcleos de Urânio a sofrerem Fissão, gerando mais nêutrons que por sua vez induzem novas fissões, sugere fortemente a possibilidade de uma reação em cadeia.

Em conformidade com Dorsch e Guio (2023), o Urânio natural é composto majoritariamente por ^{238}U , que não é facilmente fissionável, enquanto apenas uma pequena fração é de ^{235}U . Para maximizar a liberação de energia e garantir a sustentabilidade da reação em cadeia, é necessário aumentar a concentração de ^{235}U , processo conhecido como enriquecimento de Urânio, visando aumentar a probabilidade de interação dos nêutrons com esse isótopo.

Halliday e Resnick (2009) discutem que a capacidade de certos nuclídeos pesados, como o ^{235}U , serem facilmente fissionados por nêutrons térmicos, enquanto outros, como o ^{238}U , não apresentam esse comportamento, foi esclarecida por Bohr e Wheeler. Eles propuseram a existência de uma barreira de potencial que os fragmentos nucleares precisam superar para que a Fissão ocorra. No caso do ^{238}U , os nêutrons térmicos não fornecem energia suficiente para superar essa barreira, sendo necessário que os nêutrons tenham uma energia cinética de pelo menos 1,3 MeV para que a Fissão ocorra com alta probabilidade.

A emissão de vários nêutrons na Fissão gerou especulações sobre a possibilidade de usá-los para induzir novas fissões, desencadeando uma reação em cadeia. Em 2 de dezembro de 1942, um grupo liderado por Enrico Fermi, na Universidade de Chicago, realizou a primeira reação em cadeia autossustentada em

um reator nuclear, menos de quatro anos após a descoberta da Fissão (Tipler; Llewellyn, 2014).

Barreto e Xavier (2016) descreve que o processo de reação em cadeia pode ser controlado ou não controlado. Enquanto na bomba atômica a reação em cadeia não controlada resulta na liberação rápida de uma grande quantidade de energia, levando à explosão, nos reatores nucleares das usinas term nucleares, a reação é controlada, permitindo o monitoramento da taxa de Fissão ao longo do tempo.

Os reatores nucleares funcionam com uma taxa controlada de Fissão Nuclear, convertendo a energia térmica, gerada pela desaceleração dos fragmentos da Fissão, em energia utilizável. Com décadas de aprimoramento tecnológico, esses reatores alcançaram competitividade econômica em relação a fontes tradicionais como carvão e óleo. Outro ponto relevante é sua capacidade de produzir isótopos radioativos instáveis, fundamentais para diagnósticos e terapias em medicina, além de aplicações em biologia, química e engenharia (Eisenberg; Resnick, 1979).

Os reatores nucleares são dispositivos projetados para controlar a reação em cadeia de Fissão Nuclear, permitindo a utilização da energia liberada para gerar eletricidade. Em contraste, quando essa reação não é controlada, resulta em uma bomba atômica, cuja capacidade destrutiva é extremamente elevada (Calçada; Sampaio, 2005).

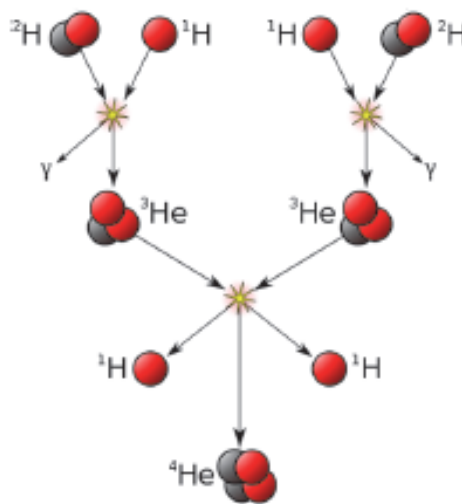
Segundo Dorsch e Guio (2023), para propósitos bélicos exigem uma liberação máxima de energia, o que requer uma concentração muito elevada de ^{235}U , ultrapassando 85%. Essa alta concentração assegura que os nêutrons secundários sejam capturados por outros átomos de ^{235}U , desencadeando fissões adicionais e provocando um aumento acelerado na energia produzida.

Halliday e Resnick (2009) relatam que as bombas atômicas lançadas na Segunda Guerra Mundial funcionavam com base na Fissão simultânea de muitos núclídeos pesados por nêutrons térmicos, resultando em explosões violentas. A primeira bomba, lançada em Hiroshima, utilizou ^{235}U , pois havia material suficiente disponível após testes. Já a segunda bomba, lançada em Nagasaki, utilizou Plutônio (^{239}Pu) devido à falta de ^{235}U suficiente, e foi usada sem ter sido previamente testada.

Encerraremos nosso estudo sobre reações nucleares com uma discussão a respeito da Fusão Nuclear. Segundo Barreto e Xavier (2016), a Fusão Nuclear é o processo inverso da Fissão. Nesse processo, núcleos de elementos se combinam para formar um novo núcleo, resultando em um ganho de energia. A Fusão Nuclear

desempenha um papel fundamental na geração de energia estelar e na formação de elementos químicos. (Ver figura 9)

Figura 9: Representação da reação de fusão de dêuterons e prótons para formação de ${}^4\text{He}$



Fonte: Guio e Dorsch (2023)

Segundo Calçada e Sampaio (2005) um exemplo é o núcleo do isótopo do Hélio, o ${}^4_2\text{He}$, composto de dois prótons e dois nêutrons ($p + p + n + n \rightarrow \alpha$), também conhecido como partícula α .

Consultando uma tabela, obtemos as massas de repouso dos elementos que participam da fusão:

$$m_p = \text{massa do próton} = 1,00728 \text{ u}$$

$$m_n = \text{massa do nêutron} = 1,00867 \text{ u}$$

$$m_\alpha = \text{massa da partícula } \alpha = 4,00260 \text{ u}$$

em que u é a unidade de massa atômica, dada por $1\text{u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Vamos calcular a massa total (m_T) antes da reação:

$$m_T = 2 m_p + 2 m_n = 2 (1,00728 \text{ u}) + 2 (1,00867 \text{ u}) = 4,03190 \text{ u}$$

Verifica-se que a massa total antes da reação é maior do que a massa da partícula resultante. Essa diferença de massa não se deve à perda de fragmentos de prótons ou nêutrons, pois essas partículas permanecem intactas. A perda de massa

é, na verdade, resultado da liberação de energia durante a Fusão, e essa energia liberada possui massa (Calçada; Sampaio, 2005).

Halliday e Resnick (2009) destacam que a Fusão Nuclear de dois núcleos leves em um núcleo mais pesado resulta em um excesso de energia. No entanto, em condições normais, a repulsão eletrostática de Coulomb entre os núcleos, que possuem cargas positivas, impede que eles se aproximem suficientemente para que a força nuclear forte atue e promova a Fusão.

Cunha (2020) descreve que para ocorrer a Fusão Nuclear, é necessário superar a repulsão elétrica entre os núcleos, que aumenta à medida que eles se aproximam. Isso só é possível em condições de temperaturas extremamente altas.

A geração de energia útil por fusão nuclear requer um grande número de reações em um curto intervalo de tempo. Isso é alcançado elevando a temperatura do material a ponto de os núcleos, devido à agitação térmica, possuírem energia suficiente para superar a barreira de Coulomb, caracterizando o processo como Fusão Termonuclear (Halliday; Resnick, 2009).

Eisenberg e Resnick (1979) afirmam que a Fusão Termonuclear ocorre de forma eficiente há bilhões de anos nas estrelas. Esse processo é responsável pela geração de energia nas estrelas e pela síntese de elementos químicos, incluindo todos aqueles até o ferro presentes em suas composições.

Halliday e Resnick (2009) descrevem a reação de Fusão no Sol como um processo de múltiplas etapas em que o hidrogênio é convertido em hélio. O ciclo próton-próton começa com a colisão de dois prótons (${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H}$) para formar um deutério (${}^2_1\text{H}$), acompanhada pela criação de um pósitron (e^+) e um neutrino (ν). O pósitron rapidamente se aniquila com um elétron, convertendo sua energia de repouso em raios gama (γ). Esse processo é extremamente raro, com apenas uma em cada 10^{26} colisões resultando na formação de um dêuteron. A lentidão desse processo crítico regula a potência do Sol e impede uma explosão violenta.

2.2.5. Segurança Nuclear

A energia nuclear é uma fonte estratégica global, contribuindo para a segurança energética e a mitigação das mudanças climáticas (Murayama; Schmid, 2021). Ao longo da história, ela equilibra avanços tecnológicos com desafios de aceitação social. No Brasil, apesar do potencial para fortalecer a segurança energética e diversificar a matriz elétrica, a expansão nuclear enfrenta resistência social, influenciada por acidentes passados e pela falta de clareza nas informações disponíveis à população (Machado, 2021).

O manejo da energia gerada por elementos radioativos exige estruturas especializadas, profissionais capacitados e procedimentos de segurança extremamente rigorosos, devido à magnitude da energia envolvida (Godoy; Dell'Agnolo; Melo, 2020).

Protocolos rigorosos, fiscalização constante e o contínuo avanço das tecnologias são fundamentais para garantir a segurança nuclear. O setor nuclear global tem aprimorado suas práticas ao longo dos anos, incorporando lições aprendidas e implementando inovações, como sistemas de resfriamento passivos que operam independentemente de energia externa em situações de emergência (Jerônimo, 2023).

Embora as operações de geração de energia nuclear sejam geralmente consideradas seguras, alguns acidentes graves tiveram impactos significativos no meio ambiente e na saúde de milhares de pessoas (Godoy; Dell'Agnolo; Melo, 2020).

O temor social ligado à energia nuclear tem raízes históricas, sobretudo no uso bélico da tecnologia. O lançamento das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki em 1945 revelou ao mundo o potencial destrutivo da Fissão Nuclear (Souza; Lima, 2019). Esses eventos, como os acidentes de *Three Mile Island* (EUA, 1979), Chernobyl (Ucrânia, 1986), Goiânia (Brasil, 1987) e Fukushima (Japão, 2011), contribuíram para reforçar a percepção negativa da energia nuclear (Camelo, 2017).

O acidente de Chernobyl foi um divisor de águas para a indústria nuclear global, desencadeando mudanças regulatórias substanciais e afetando diretamente a expansão de novas usinas (Moura, 2022).

Sobre Chernobyl, Godoy, Dell'Agnolo e Melo (2020) relatam que:

O maior acidente nuclear da história aconteceu em 1986, na usina nuclear de Chernobyl, situada na cidade de Pripjat, na antiga União Soviética, atualmente território da Ucrânia. Na madrugada de 26 de abril, um dos reatores explodiu devido a uma sucessão de falhas de projeto e procedimento. Durante alguns dias, nuvens tóxicas de material radioativo foram lançadas no ar e carregadas para grande parte do território europeu e fora dele. Segundo os registros desse acidente, 31 pessoas morreram diretamente, cerca de 40 mil pessoas tiveram de ser hospitalizadas e as estimativas indicam que milhões foram contaminadas pela radiação. Atualmente, a região conta com poucos residentes (Godoy; Dell'Agnolo; Melo, p. 122, 2020).

O acidente de Chernobyl teve um impacto duradouro, influenciando a percepção pública sobre a segurança nuclear por décadas e provocando mudanças significativas. Mesmo assim, a crescente demanda energética no início do século XXI manteve a energia nuclear como uma opção relevante em vários países. No entanto, o ano de 2011 trouxe um novo evento que reacendeu as preocupações globais sobre os riscos dessa fonte de energia (Farias; Ferreira, 2025).

No dia 11 de março, um *tsunami* atingiu o litoral do Japão e deixou inoperantes os sistemas de energia, gerando falhas no sistema de segurança do resfriamento das usinas do polo nuclear da cidade de Fukushima. Quatro dos seis reatores explodiram. A população próxima da área atingida foi removida e toda a produção industrial e agrícola foi considerada perdida. A radiação emitida se espalhou por diversas regiões do Oceano Pacífico, alcançando, inclusive, a América do Sul. Além dos milhares de mortos decorrentes do *tsunami*, outras 3.600 pessoas faleceram devido às consequências do acidente (Godoy; Dell'Agnolo; Melo, p. 123, 2020).

Mesmo com causas distintas das de Chernobyl, o incidente teve consequências ambientais e sociais que fortaleceram as críticas à energia nuclear, levando alguns países a reconsiderar seus planos de expansão e até a desativar usinas existentes (Archila; Campos, 2021).

A rejeição pública à energia nuclear também é alimentada pela preocupação com o descarte de resíduos radioativos. A falta de compreensão sobre os métodos atuais de armazenamento seguro e reaproveitamento desses resíduos agrava a resistência à expansão dessa fonte de energia (Murayama; Schmid, 2021).

O acidente de Goiânia, em 1987, expôs as graves consequências da falta de controle e negligência no manejo de materiais radioativos. A seguir, uma descrição do evento:

Em setembro de 1987, catadores abriam um aparelho de radioterapia indevidamente descartado como lixo comum na cidade de Goiânia, capital de Goiás. Com o manuseio, a fonte de radioatividade do aparelho, que continha célio-137, foi exposta, manipulada e levada a vários locais, contaminando o ambiente e a população da cidade. Com a descoberta desse vazamento radioativo, o governo passou a monitorar 112.800 pessoas, das quais quatro faleceram e uma teve o braço amputado. Passados mais de 30 anos desse acidente, as pessoas que ficaram diretamente expostas ao célio-137 relatam problemas de saúde (Godoy; Dell'Agnolo; Melo, p. 122, 2020).

Em última análise, a aceitação pública da energia nuclear depende de um debate informado e qualificado sobre a matriz energética nacional. A resistência social à energia nuclear, frequentemente baseada em medo e desinformação, requer estratégias de comunicação eficazes, transparência na gestão e investimentos em segurança para ser superada (Murayama; Schmid, 2021).

3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura apresenta resultados de um levantamento de trabalhos acadêmicos, principalmente nacionais, acerca do ensino de Física sob a perspectiva CTSA e seu uso educacional. Foram consultadas fontes como a revista A Física na Escola, a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDBT) e o Banco de Teses e Dissertações da CAPES. O objetivo principal é analisar produções científicas que enfocam o ensino de Física Nuclear no Ensino Fundamental sob a abordagem CTSA, visando compreender como essa integração pode contribuir para uma formação cidadã e crítica nos estudantes. Essa análise pode fornecer insights valiosos sobre estratégias didáticas eficazes e desafios enfrentados pelos educadores ao implementar a abordagem CTSA no ensino de Física Nuclear.

3.1 Abordagem CTSA

Para investigar a abordagem CTSA, realizamos uma busca na plataforma BDBT utilizando as palavras-chave "CTSA AND Ensino Fundamental". Dessa busca foram encontrados 72 trabalhos, dos quais apenas 01 estava relacionado a perspectiva CTSA no ensino de Ciências nos anos iniciais do Ensino Fundamental, aproximando-se do tema central deste trabalho.

Expandimos a busca utilizando as palavras-chaves "CTSA AND Física Nuclear" e encontramos 08 trabalhos. Destes trabalhos, 02 estavam voltados para questões nucleares sob a perspectiva CTSA, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Seleção dos trabalhos na Plataforma BDBT

Índice	Descrição dos trabalhos
T1	FERREIRA, Marcia Alexandra Andrade. Mídias, mediações e a questão nuclear: uma proposta de mediação institucional e tecnológica nas aulas de Física no ensino médio. 2013
T2	SOUZA, Marcos Vinicius Lima. Bomba atômica: ensinando Física e energia nuclear num contexto histórico e sociocultural. 2016
T3	MAESTRELLI, Sandra Godoi. A abordagem CTSA nos anos iniciais do ensino fundamental: contribuições para o exercício da cidadania. 2018

Fonte: Elaborada pela autora (2025)

T1. Trabalho de Ferreira (2013)

O trabalho de Ferreira (2013) destaca a importância da abordagem CTSA no ensino de Física, utilizando a questão nuclear como tema sociocientífico controverso e de interesse público. A discussão sobre o ensino de Física sob essa perspectiva é fundamental para formar cidadãos capazes de participação social e tomada de decisão, contemplando as interrelações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. Nesse contexto, o CTSA desempenha um papel crucial na formação do cidadão, habilitando-o a analisar e avaliar as implicações sociais e ambientais da Ciência e Tecnologia, tornando-o mais consciente e responsável em suas escolhas e ações. Para promover essa abordagem, Ferreira (2013) criou a rede social online "Pensando a Física", que permitiu discussões entre alunos do ensino médio sobre a questão nuclear, utilizando vídeos e comentários. A ampla participação dos alunos, mesmo sendo facultativa, demonstrou a viabilidade de desenvolver projetos que utilizam tecnologias em escolas com recursos limitados, reforçando a importância do enfoque CTSA na discussão de temas sociocientíficos e tornando o ensino de Física mais significativo e relevante.

T2. Trabalho de Souza (2016)

Souza (2016) desenvolveu e aplicou uma Sequência Didática (SD) sobre Bomba Atômica, utilizando a pedagogia freiriana e os Três Momentos Pedagógicos (TMP). A abordagem integrou História e Filosofia da Ciência (HFC) e Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) para ensinar conceitos de Física e discutir aspectos éticos, militares e sociais da energia nuclear. O objetivo foi promover a formação cidadã e um aprendizado mais efetivo, abordando questões políticas, sociais e éticas relacionadas à construção de armas nucleares. Souza (2016) afirma que a sociedade é não apenas beneficiada pela Ciência, mas também é a fonte propulsora para o desenvolvimento de pesquisas. Trabalhar com temas relacionados à realidade do aluno, pode aumentar a motivação e compreensão, contextualizando o conhecimento e desenvolvendo a criticidade. Isso transforma a sala de aula em um espaço de discussões, onde os alunos podem participar da tomada de decisões informadas e se tornar mais engajados em seu meio social.

T3. Trabalho de Maestrelli (2018)

Em uma sociedade cada vez mais influenciada pela Ciência e Tecnologia, é fundamental promover a Alfabetização Científica e a formação cidadã. Nesta linha de pensamento, Maestrelli (2018) realizou um estudo que teve como objetivo analisar como uma abordagem de ensino que integra Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente pode ser aplicada no ensino de Ciências, especificamente no 4º ano do Ensino Fundamental. A proposta de ensino desenvolvida enfatiza a interconexão entre esses elementos, estruturando as aulas por meio da metodologia dos três momentos pedagógicos e discutindo questões ambientais sob a perspectiva de uma sociedade sustentável.

A implementação da abordagem mostra resultados promissores, permitindo que os alunos desenvolvessem conhecimentos e habilidades essenciais para a cidadania. A autora destaca a importância de programas de formação continuada para professores, que proporcionem propostas de ensino inovadoras e contextualizadas, bem como apoio para que eles possam desenvolver e aplicar planejamentos de ensino eficazes com ênfase na abordagem CTSA nos anos iniciais, adaptando continuamente sua metodologia de trabalho.

Os três trabalhos convergem ao destacar a importância da abordagem CTSA no ensino de Ciências, enfatizando sua relevância para a formação cidadã e a alfabetização científica. De forma unânime, os trabalhos apontam que a abordagem CTSA contribui para o desenvolvimento de habilidades críticas e a tomada de decisões informadas nos alunos, além de promover a compreensão das interconexões entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. Embora compartilhem essa perspectiva, cada trabalho apresenta um foco específico: Ferreira (2013) explora a questão nuclear no ensino de Física, Souza (2016) aborda a bomba atômica e a energia nuclear, e Maestrelli (2018) se concentra no ensino de Ciências no 4º ano do Ensino Fundamental. Além disso, os trabalhos destacam diferentes estratégias para implementar a abordagem CTSA, como a pedagogia freiriana e os Três Momentos Pedagógicos (TMP), e sublinham a necessidade de programas de formação continuada para professores, evidenciando a diversidade de abordagens possíveis dentro da perspectiva CTSA.

Para ampliar a pesquisa sobre o tema, realizamos uma busca no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES utilizando diferentes combinações de palavras-chave, incluindo "CTSA AND Ensino Fundamental", "CTSA AND Física Nuclear" e "CTSA AND Ensino de Física". Essa busca resultou em um total de 81 trabalhos. Após uma análise detalhada, identificamos 05 trabalhos que estavam diretamente relacionados ao tema abordado em nossa pesquisa, os quais são apresentados no Quadro 2.

É importante ressaltar que buscas adicionais foram realizadas na revista Física na Escola utilizando os mesmos termos de busca, no entanto, não foram obtidos resultados satisfatórios que atendessem aos objetivos específicos desta pesquisa.

Quadro 2 – Seleção dos trabalhos na Plataforma CAPES

Índice	Descrição dos trabalhos
T4	SANTO, Gabriel Scoparo do Espírito. Repensando as situações de aprendizagem em física: proposta de duas sequências didáticas com abordagem CTSA para formação ética do cidadão. 2015
T5	HAMMEL, Cristiane; MIYAHARA, Ricardo Yoshimitsu; DOS SANTOS, Sandro Aparecido. Uma UEPS com enfoque CTSA no ensino de Física: geração, produção e consumo de energia elétrica. 2019.
T6	NETO, Antônio; SANTOS, Adevailton Bernardo dos. Ensino de Física por meio do telefone celular. 2020
T7	GUIO, Thaisa Carneiro da Cunha; DORSCH, Gláuber Carvalho. Física de Partículas no ensino médio Parte II: Física Nuclear. 2023.

Fonte: Elaborada pela autora (2025)

T4. Trabalho de Santo (2015)

Santo (2015) busca contribuir para a formação ética dos estudantes por meio do desenvolvimento da reflexão crítica, essencial para a formação cidadã. O tema escolhido foi a produção e o consumo de energia elétrica no Brasil, com o objetivo de aplicar a abordagem CTSA no ensino de Física. Essa abordagem defende uma visão integrada da Ciência, considerando suas raízes sociais e consequências ambientais. Ao utilizar o conhecimento científico em contextos tecnológicos ou situações práticas, é possível abordar questões éticas por meio de debates, sem interromper o conteúdo escolar. Dessa forma, a ética se torna um tema transversal, conforme recomendado pelos PCNs. Com a abordagem CTSA, o professor pode manter o foco no conteúdo, e ao mesmo tempo incluir questões éticas de forma significativa, promovendo uma

aprendizagem de Física contextualizada, e não apenas aplicar o conhecimento científico a situações do dia a dia, sem necessariamente aprofundar a compreensão das implicações sociais, éticas ou ambientais.

O autor conclui que o principal objetivo do trabalho foi alcançado, que é repensar e modificar o paradigma vigente na visão de mundo e na educação. Ele expressa otimismo quanto às perspectivas futuras, sugerindo que a aplicação do método em todas as situações será o próximo passo importante na formação de professores.

T5. Trabalho de Hammel *et al.* (2019)

O estudo de Hammel *et al.* (2019) apresenta uma experiência de ensino de Física que utiliza uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) com enfoque CTSA. O foco da UEPS é a eletrodinâmica, abordada através do tema eletricidade. O objetivo é analisar se essa abordagem promove uma aprendizagem significativa do conteúdo. Isso ocorre em um momento em que a educação está mudando, e professores precisam adaptar suas práticas para atender às novas necessidades do mercado de trabalho e do ensino superior. Ao avaliar a eficácia dessa abordagem, fica claro que os professores de Física precisam considerar os conhecimentos prévios dos alunos, que são influenciados por suas experiências, crenças e pelo ambiente em que vivem. Esses conhecimentos prévios são importantes, mesmo que não sejam sempre cientificamente precisos, pois refletem a realidade cotidiana dos alunos. Ao levar esses conhecimentos em conta, a UEPS com enfoque CTSA se mostra uma ferramenta valiosa para ensinar Física de forma mais contextualizada e significativa.

T6. Trabalho de Neto e Santos (2020)

Atualmente, é evidente a presença do telefone celular na sociedade, na educação e especialmente entre os jovens, embora sua inserção nas escolas seja um tema controverso. Dentro desse contexto, Neto e Santos (2020) realizaram uma pesquisa para explorar como o uso do telefone celular pode ser uma estratégia pedagógica eficaz no ensino de Física. A investigação envolveu a aplicação de uma Sequência Didática que abordou o uso do celular de forma integrada, incluindo textos,

vídeos, atividades práticas, uso de hipermídias e exercícios. O objetivo era promover uma aprendizagem contextualizada e interdisciplinar, considerando as dimensões científicas, tecnológicas, sociais e ambientais (CTSA). A pesquisa foi conduzida em uma escola pública estadual de Minas Gerais, com uma turma de terceiro ano do Ensino Médio noturno, utilizando uma abordagem que integrou a metodologia dos 3 momentos pedagógicos e buscou relacionar o conhecimento científico com a realidade dos estudantes.

A utilização do telefone celular como recurso didático mostrou-se eficaz, pois permitiu a discussão integrada dos contextos científico, tecnológico, social e ambiental ao longo da Sequência Didática. Isso delineou um percurso de aprendizagem guiado pelo professor, mas com a participação ativa dos estudantes. Sob a perspectiva CTSA, as discussões sobre os conceitos científicos relacionados ao funcionamento do celular e suas implicações promoveram momentos de reflexão e análise crítica nos alunos, especialmente em relação ao aspecto ambiental, abordando temas como o manuseio e descarte responsável de aparelhos eletrônicos. Essa abordagem ultrapassou a tradicional forma de ensinar conceitos físicos na escola básica. Além disso, a diversidade de problematizações e atividades conectadas à realidade dos estudantes favoreceu uma maior participação e protagonismo deles, tornando as discussões mais centradas nos alunos do que no professor.

T7. Trabalho de Guio e Dorsch (2023)

Guio e Dorsch (2023) propõem uma abordagem inovadora para o ensino de Física de Partículas no nível médio, com ênfase em Física Nuclear. A Sequência Didática desenvolvida visa promover a alfabetização científica dos estudantes por meio da integração de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente. O objetivo da pesquisa é avaliar os indicadores de alfabetização científica e o engajamento dos estudantes durante a implementação da sequência em uma escola pública estadual do Espírito Santo. A Física Nuclear se destaca por seu potencial para discussões em sala de aula, especialmente quando abordada de forma integrada e interdisciplinar, relacionando ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Essa abordagem não apenas promove uma compreensão mais profunda da Física Nuclear e sua relevância social, mas também incentiva a participação ativa dos estudantes no processo de

aprendizagem. Além disso, a atualidade e relevância do tema despertam o interesse de estudantes com diferentes perfis e níveis de interesse pela Física.

Os autores enfatizam que a proposta não é oferecer um material rígido e inflexível, mas sim uma base que pode ser adaptada e aprimorada pelo professor. O foco principal não está na mera transmissão de conteúdo, mas em utilizar esse conteúdo como ferramenta para estimular o engajamento dos estudantes, promover a alfabetização científica e fomentar a inclusão dos alunos no contexto atual.

Esses trabalhos compartilham uma abordagem inovadora e interativa para ensinar Física, utilizando perspectivas como Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Eles focam na formação cidadã e na alfabetização científica dos alunos, abordando temas relevantes e atuais, como energia nuclear, eletricidade e tecnologia. Buscam promover a reflexão crítica e a participação ativa dos estudantes, destacando a importância da contextualização e da interdisciplinaridade no ensino de Ciências. Para tornar o ensino de Física mais significativo e relevante para os alunos, esses autores utilizam ferramentas como sequências didáticas, UEPS e tecnologias digitais.

3.2. Física Nuclear no Ensino de Física

Para realizar a pesquisa e análise de teses e dissertações, foram utilizados os descritores "Física Nuclear" e "Ensino Fundamental", com o objetivo de identificar produções científicas relevantes que abordem a temática de ensino de Física Nuclear nesse nível de ensino. Essa estratégia permitiu uma busca precisa e focalizada nos trabalhos que exploram a integração da Física Nuclear no currículo do Ensino Fundamental.

Ao buscar no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES utilizando o termo "Física Nuclear AND Ensino Fundamental", encontramos 13 resultados. Após análise dos resumos e leitura dos textos, foram selecionados 04 trabalhos relevantes ao tema, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Seleção dos trabalhos na Plataforma CAPES

Índice	Descrição dos trabalhos
T1	SAMAGAIA, Rafaela; PEDUZZI, Luiz O.Q. Uma experiência com o projeto Manhattan no Ensino Fundamental. 2004
T2	BENEDETTI FILHO, Edemar; CAVAGIS, Alexandre. Uso da plataforma Construct 2® na formação continuada de professores em jogos educativos virtuais. 2023
T3	CAETANO, Eduardo Ferreira; POMMER, Wagner Marcelo. Energia Nuclear: Um estado de conhecimento envolvendo dissertações e teses voltadas ao ensino de Física no período de 2000 a 2019.2023
T4	SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez; ZANATTA, Ronnie Petter Pereira. Mediação digital e representações mentais: um estudo sobre hibridação cognitiva na articulação entre humanos e não humanos nas aulas de Ciências da natureza.2024

Fonte: Elaborada pela autora (2025)

T1. Artigo de Samagaia e Peduzzi (2004)

Samagaia e Peduzzi (2004) apresentam uma abordagem inovadora para ensinar Física Moderna no Ensino Fundamental, utilizando o contexto histórico do Projeto Manhattan (1941-1945). A proposta inclui conteúdos como Fissão Nuclear, radiação e energia, trabalhados por meio de uma situação-problema inspirada na técnica de RPG (Roleplaying Game). Essa atividade interativa envolve os estudantes em um jogo de papéis, onde devem tomar decisões e posicionamentos com base em conhecimentos científicos. O objetivo é problematizar o desenvolvimento e uso de bombas nucleares, promovendo uma reflexão crítica sobre a Ciência e sua aplicação. Além disso, destaca a importância de descentralizar o poder do professor e envolver os jovens em discussões significativas, tornando o conhecimento científico uma ferramenta para resolver problemas e tomar decisões informadas. O trabalho dos autores ressalta ainda a importância da ética e do desenvolvimento de valores e atitudes, especialmente em discussões sobre temas complexos como a bomba nuclear. Ao refletir sobre as decisões e consequências, os estudantes demonstraram engajamento com questões éticas, evidenciado em seu material escrito. É fundamental que a escola valorize e promova essas preocupações éticas nos alunos.

T2. Trabalho de Cavagis e Benedetti Filho (2023)

O trabalho de Cavagis e Benedetti Filho (2023) apresenta um curso de extensão universitária que visa à formação continuada de professores no uso da plataforma *Construct 2®* para criar jogos virtuais que apoiem o ensino e aprendizagem de Ciências. Os professores desenvolveram jogos eletrônicos abordando temas como História da Química, Física Nuclear e Nutrição, e aplicaram-nos em sala de aula do Ensino Fundamental e Ensino Médio. Os resultados destacam a importância da extensão universitária na formação docente e mostram que os jogos virtuais são ferramentas promissoras para ensinar conceitos científicos de forma lúdica e significativa. Além disso, a capacitação docente para metodologias lúdicas e uso de novas tecnologias pode aprimorar práticas pedagógicas e promover aprendizagem significativa. Constatou-se, ainda, que a maioria dos alunos nunca havia experimentado qualquer contato com um jogo envolvendo a área de ensino; muitos, inclusive, ficaram bastante surpresos ao saber que conteúdos de Ciências poderiam ser discutidos por meio de jogos. Os jogos virtuais, presentes no cotidiano de alunos e professores, são ferramentas promissoras para ensinar e revisar conceitos científicos.

T3. Artigo de Caetano e Pommer (2023)

Com o intuito de agregar temas da Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica e na formação inicial de professores de Física, os autores Caetano e Pommer (2023) realizaram um mapeamento de dissertações e teses sobre Energia Nuclear no ensino de Física. A pesquisa revelou um baixo percentual de estudos sobre energia nuclear na Educação Básica e no ensino de Física, abrangendo alunos do Ensino Fundamental, Médio e Superior, bem como professores do Ensino Médio.

Apesar disso, as abordagens metodológicas analisadas demonstraram uma variedade de possibilidades para trabalhar com o tema da energia nuclear na Educação Básica e na formação de professores. A variedade de referenciais teóricos e metodológicos observada no mapeamento indica uma tendência positiva nas pesquisas sobre energia nuclear, possibilitando que os alunos sejam expostos a diferentes abordagens e construam conhecimento de forma eficaz. Além disso, as

pesquisas ilustraram a relação entre a prática e a teoria, contribuindo para o ensino de Ciências e Física.

T4. Artigo de Saavedra Filho e Zanatta (2024)

O artigo dos autores Saavedra Filho e Zanatta (2024) apresenta um estudo sobre a mediação digital no ensino-aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Fundamental, com foco no fenômeno da Fusão Nuclear, previsto como objeto de conhecimento na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de Ciências da Natureza. Os resultados mostram que a mediação digital influencia nos mecanismos cognitivos e nas representações mentais construídas pelos estudantes. A pesquisa destaca que a mediação tecnológica potencializa o ensino de Ciências, permitindo a integração de competências humanas e não-humanas e a produção de mecanismos de cognição híbridos. Isso é especialmente importante para conceitos não tangíveis sensorialmente, como a Fusão Nuclear, onde a participação de elementos não-humanos é fundamental para a compreensão.

Para realizar tal atividade, os autores desenvolveram um protocolo de pesquisa que combina várias ferramentas para investigar como os estudantes aprendem conceitos científicos por meio da mediação digital. O protocolo inclui uma Sequência Didática com simuladores virtuais, gravações de áudio das aulas, questionários e entrevistas semiestruturadas com gravações de vídeo dos participantes. O objetivo é entender como os estudantes usam mecanismos cognitivos antes, durante e após a intervenção. A pesquisa também busca analisar como a mediação tecnológica modifica a forma como os estudantes representam e compreendem fenômenos físicos, alterando sua estrutura cognitiva. Especificamente, investiga os movimentos cognitivos de estudantes de Ciências durante e após o aprendizado do conceito de Fusão Nuclear por meio de simuladores virtuais.

Esses trabalhos compartilham uma abordagem inovadora e interativa para ensinar Física Moderna, especialmente Energia Nuclear e Física Nuclear, no ensino de Ciências e Física. Utilizam ferramentas como RPG, jogos virtuais e simuladores para abordar temas complexos, visando a formação de professores e a melhoria do ensino. Destacam a importância da tecnologia e da mediação digital para promover a

compreensão e a reflexão crítica sobre esses temas, buscando tornar o conhecimento científico mais acessível e significativo para os alunos.

A pesquisa sobre o tema central também foi realizada na plataforma BDBT utilizando as palavras-chaves "Física Nuclear AND Ensino Fundamental", resultando em 241 trabalhos. Após aplicar filtros para refinar a busca, como área de conhecimento (Física), tipo de documento (dissertação e tese) e período (2000 a 2024), restaram apenas 02 trabalhos. No entanto, após leitura e análise, constatou-se que nenhum deles estava relacionado ao tema ou nível de escolaridade em estudo.

4. METODOLOGIA DE ENSINO

Nesta proposta, o produto educacional consiste em um roteiro de atividades interativo para explorar o tema Física Nuclear, um tópico frequentemente negligenciado no ensino de Física da Educação Básica. Fundamentado na perspectiva CTSA, o roteiro é estruturado com base em questões científicas e sociais que permitem aos estudantes uma imersão profunda no assunto, desenvolvendo uma compreensão sólida e duradoura, ao mesmo tempo em que se engajam ativamente no processo de aprendizagem de modo reflexivo e crítico.

Utilizou-se a Sequência Didática como abordagem metodológica para promover um ensino dinâmico e centrado no aluno, permitindo que o estudante participasse ativamente do processo de aprendizagem e identificasse suas dificuldades e avanços em tempo real (Silva et al., 2025). Nesse contexto, a Sequência Didática se configurou como uma série de atividades organizadas e interligadas, planejadas para alcançar objetivos educacionais específicos, com início e fim claros para professores e estudantes, o que corrobora sua eficácia como estratégia de ensino (Ugalde; Roweder, 2020).

A abordagem adotada para trabalhar o tema central foi a CTSA, que buscou contextualizar os conteúdos de Física Nuclear com questões sociais e ambientais relevantes. Essa abordagem nos levou à etapa de problematização, na qual promovemos uma discussão coletiva e investigativa sobre o tema com os estudantes, partindo de seus conhecimentos prévios sobre Física Nuclear.

Após a problematização, iniciamos a organização do conhecimento, estabelecendo objetivos de aprendizagem alinhados às necessidades e interesses dos alunos. Selecionamos conteúdos relevantes e significativos, garantindo que estivessem coerentes com os objetivos. A organização foi flexível e adaptável, considerando a diversidade de estilos de aprendizagem e necessidades especiais dos alunos.

O plano de implementação do produto propôs uma Sequência Didática estruturada para abordar os conceitos de Física Nuclear de forma gradual e lógica. A abordagem sugeria começar com a compreensão do átomo, seguida pelo estudo do núcleo atômico, forças nucleares e decaimento beta, para então avançar para as reações nucleares e sua presença no cotidiano. Essa sequência visava promover uma compreensão sólida e progressiva dos conceitos, permitindo que os estudantes

construísem uma base sólida para entender a Física Nuclear e suas aplicações práticas.

Em seguida, iniciou-se a etapa de construção do conhecimento, que consistiu na elaboração de um roteiro de atividades práticas. Esse roteiro foi desenvolvido coletivamente, considerando o público-alvo, o formato, os temas e conceitos físicos relevantes, além dos recursos e ferramentas necessários. O objetivo foi criar atividades que integrassem conceitos científicos com questões sociais, tecnológicas e ambientais, promovendo uma aprendizagem significativa e contextualizada.

Previamente, o produto educacional foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e aprovado sob o CAAE: 91450725.9.0000.8057, com o número de parecer 7.864.239, garantindo a conformidade com os padrões éticos e científicos necessários para o desenvolvimento de pesquisas que envolvem seres humanos.

Um cronograma detalhado foi elaborado para garantir a organização e o acompanhamento do processo. Além disso, foram fornecidos feedback regular e avaliação contínua, ajudando os estudantes a identificar áreas de melhoria e a refletir sobre sua aplicação do conhecimento, para que pudessem ajustar suas estratégias conforme necessário.

5. METODOLOGIA DO TRABALHO

A realização do trabalho seguiu uma sequência lógica de etapas, que incluiu a seleção da escola e da turma participante do estudo, considerando critérios específicos, desenvolveu um plano detalhado para a implementação da proposta, incluindo objetivos, atividades e recursos necessários, executou o plano, envolveu a aplicação do produto e a coleta de dados e, por último, analisou os resultados obtidos, identificando pontos fortes e áreas de melhoria para futuras intervenções.

5.1 Seleção da Escola e Turma

O produto foi desenvolvido e aplicado em uma turma de 19 alunos do 9º ano do Ensino Fundamental da escola Centro Estadual de Tempo Integral (CETI) Maria de Carvalho, localizada no município de Santo Antônio de Lisboa, Piauí (Ver figura 10). Esses alunos estavam iniciando seus estudos em Física, o que tornou essa uma oportunidade única para introduzir conceitos fundamentais de forma inovadora. Para garantir a viabilidade ética da proposta, foram obtidas as autorizações necessárias junto à escola e aos responsáveis pelos alunos. Além disso, o projeto foi submetido ao Comitê de Ética local para avaliação e aprovação, assegurando o cumprimento de todos os princípios éticos exigidos para pesquisas envolvendo seres humanos.

Figura 10 – CETI Maria de Carvalho, no município de Santo Antônio de Lisboa – PI



Fonte: Registro da autora (2026)

5.2 Planejamento Detalhado

A Sequência Didática foi planejada de acordo com a abordagem CTSA, possibilitando que os estudantes desenvolvessem uma visão reflexiva e crítica sobre os temas abordados. O professor atuou como mediador, incentivando a aprendizagem ativa e criando um ambiente de investigação e descoberta, onde os alunos puderam desenvolver suas habilidades críticas e criativas. As atividades foram cuidadosamente planejadas para promover a autonomia e a responsabilidade dos estudantes em sua própria aprendizagem, permitindo que eles construíssem seu conhecimento de forma significativa e contextualizada, por meio de uma aprendizagem mais autônoma e engajada.

5.3 Execução e Coleta de Dados

A execução do produto educacional sobre Física Nuclear na perspectiva CTSA envolveu a implementação de atividades que promoveram a conscientização sobre questões sociais e ambientais e, conseqüentemente, o desenvolvimento de habilidades e pensamento crítico e reflexivo. Para tornar a Sequência Didática mais interativa, utilizou-se o personagem Homer Simpson, da série Os Simpsons, como elemento contextualizador. Aproveitando o contexto de seu emprego nas Usinas Nucleares de Springfield, exploraram-se temas da Física Nuclear como Fissão e Fusão Nuclear de forma mais acessível e inovadora, visando tornar a aprendizagem mais significativa e agradável, conectando conceitos científicos à cultura popular. Durante as aulas, os estudantes participaram de debates e atividades, utilizando materiais de baixo custo, vídeos e documentários que ilustraram os conceitos nucleares de forma atraente e acessível. Além disso, textos de suporte foram fornecidos para aprofundar a compreensão dos alunos. Exercícios regulares foram aplicados para avaliar a compreensão dos estudantes e identificar áreas que necessitavam de reforço.

A coleta de dados foi realizada por meio de uma variedade de instrumentos, com o objetivo de avaliar a eficácia da Sequência Didática sobre Física Nuclear. Esses instrumentos incluíram observações, registros de respostas, questionários, análise de produções escritas e orais, atividades práticas e a criação de um mural, conforme mostra no Quadro 4.

Quadro 4 – Instrumentos de Coleta de Dados e Avaliação

Instrumento	Descrição	Justificativa Teórico – Metodológica
Observação	Registro sistemático das interações, comportamentos e reações dos alunos durante as atividades	Segundo Gil (2008), a observação sistemática é uma técnica de coleta de dados que envolve a observação cuidadosa e estruturada de eventos ou comportamentos, visando obter informações precisas e detalhadas.
Questionário	Conjunto de perguntas abertas e fechadas aplicadas aos alunos para avaliar sua compreensão e percepção sobre os conceitos de Física Nuclear	Segundo Miranda (2020), um questionário é um conjunto de perguntas organizadas de forma lógica, visando coletar informações sobre variáveis e circunstâncias específicas. Ele pode ser utilizado para entender crenças, conhecimentos, representações e opiniões de uma população, bem como aspectos do ambiente em que vivem.
Análises de produções escritas e orais	Avaliação de respostas dos alunos a exercícios, atividades e produções escritas para avaliar sua compreensão e aplicação dos conceitos	Bakhtin (1986), enfatiza a importância da linguagem como uma ferramenta social e cultural, e a necessidade de considerar o contexto e o público-alvo na produção escrita e oral.
Atividades práticas	Atividades práticas desenvolvidas com os alunos utilizando materiais de baixo custo como tampinhas de garrafa PET e massinha de modelar.	Piaget (1970) defendia que as atividades práticas são fundamentais para o desenvolvimento cognitivo, pois permitem que os indivíduos interajam com o ambiente e construam conhecimento de forma ativa. Ele acreditava que a aprendizagem ocorre por meio da assimilação e acomodação de novas experiências, e que as atividades práticas são essenciais para esse processo.
Mural	Apresentação visual do tema, criada pelos alunos com imagens, textos e ilustrações sobre a Física Nuclear	Segundo Eisner (2003), o mural é uma ferramenta que possibilita avaliar a habilidade dos alunos de sintetizar e apresentar informações de maneira criativa e visual, ao mesmo tempo em que estimula a expressão artística e a comunicação eficaz.

Fonte: Elaboração própria (2026)

Foram garantidos privacidade, sigilo e autorização prévia dos responsáveis e da escola. As atividades foram acompanhadas pelo pesquisador/professor em ambiente acolhedor. Riscos mínimos (timidez, interrupção de atividades, riscos ambientais) foram mitigados com planejamento e supervisão. Os dados foram anonimizados e armazenados com segurança pela pesquisadora. Em caso de acidente ou mal-estar, o participante receberia assistência integral e possível indenização conforme a lei.

5.4 Análise e Avaliação

A análise e avaliação dos dados coletados durante a Sequência Didática sobre Física Nuclear foram realizadas de forma sistemática e rigorosa. Os dados obtidos por meio de observações, registros de respostas, produções escritas e orais e atividades práticas foram examinados para identificar padrões, tendências e áreas de dificuldade. A avaliação foi focada em compreender como os alunos construíram seu conhecimento e como a Sequência Didática contribuiu para sua aprendizagem. Os resultados foram utilizados para ajustar e melhorar a prática pedagógica, garantindo que os estudantes atingissem os objetivos de aprendizagem estabelecidos. Além disso, a análise dos dados permitiu identificar oportunidades para melhorias na Sequência Didática, tornando-a mais eficaz e significativa para os estudantes.

6. PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional sobre Fissão e Fusão Nuclear na perspectiva CTSA envolverá a implementação de uma Sequência Didática composta por 8 encontros que tem como finalidade promover a conscientização sobre questões sociais e ambientais e, conseqüentemente, o desenvolvimento de habilidades e pensamento crítico e reflexivo. Ao utilizar essa abordagem, pretendemos criar um ambiente propício para estimular a participação ativa dos alunos e promover uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos, permitindo que eles desenvolvam uma visão mais ampla e crítica da Física Nuclear, além de prepará-los para lidar com os desafios e oportunidades do futuro, considerando as implicações sociais e ambientais da Ciência e Tecnologia.

Utilizando o personagem Homer Simpson, trabalhador da Usina Nuclear de Springfield, este produto educacional busca tornar o aprendizado de Física Nuclear mais divertido e eficaz. Ao explorar os desafios de Homer no trabalho, desenvolvemos uma perspectiva crítica sobre conceitos científicos complexos, fomentando discussão e análise aprofundada. A abordagem combina realidade e aprendizado, tornando a Física Nuclear mais acessível e interessante. Para melhor compreender a Sequência Didática deste produto educacional, sugerimos seguir as etapas de compreensão e estudo apresentadas na figura 11.

Figura 11 – Esquematisação das etapas de estudo do Produto Educacional



Fonte: Elaboração própria (2026)

Agora que conhecemos a abordagem do produto educacional, vamos explorar sua estrutura, descrevendo os capítulos e objetivos de cada encontro, apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Estrutura do Produto Educacional

Encontro	Capítulo	Objetivos
01	Homer na Usina Nuclear: Uma Introdução à Física Nuclear	- Avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre Física Nuclear. - Introduzir conceitos básicos de Física Nuclear.
02	Energia Nuclear: Análise da Representação em “Os Simpsons”	- Identificar a abordagem satírica da série sobre o tema. - Relacionar a criação da série com os eventos históricos (acidentes nucleares). - Incentivar a análise crítica sobre a energia nuclear e sua representação global.
03	Homer Atômico: Pontilhismo e Estrutura da Matéria	- Desenvolver a compreensão sobre a estrutura atômica. - Compreender a formação de moléculas e substâncias. - Conhecer os conceitos de número atômico e número de massa. - Desenvolver habilidades práticas e de resolução de problemas.
04	A Força Nuclear de Homer	- Definir força nuclear. - Identificar características da força nuclear. - Compreender o papel da força nuclear no núcleo atômico.
05	O Mágico Homer e o Segredo do Decaimento Beta	- Compreender o conceito de decaimento beta. - Desenvolver habilidades de representação e modelagem. - Promover a participação ativa dos alunos.
06	Fissão e Fusão: Homer Descobre o Poder da Reação Nuclear	- Compreender os conceitos fundamentais de Fissão e Fusão Nuclear - Analisar as aplicações práticas desses processos em diferentes contextos - Desenvolver uma compreensão mais profunda dos processos nucleares
07	Bomba Atômica: O Poder Destrutivo que Homer não Entende	- Analisar os eventos históricos relacionados ao desenvolvimento e uso da bomba atômica. - Compreender implicações éticas do uso de armas nucleares e a importância da responsabilidade e da ética na ciência e na tecnologia.
08	A Física Nuclear ao Alcance de Todos: Homer Aprende sobre a Bomba Atômica	- Promover a conscientização sobre a bomba atômica e suas consequências. - Fomentar a reflexão crítica e a discussão sobre o tema.

Fonte: Elaboração própria (2026)

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

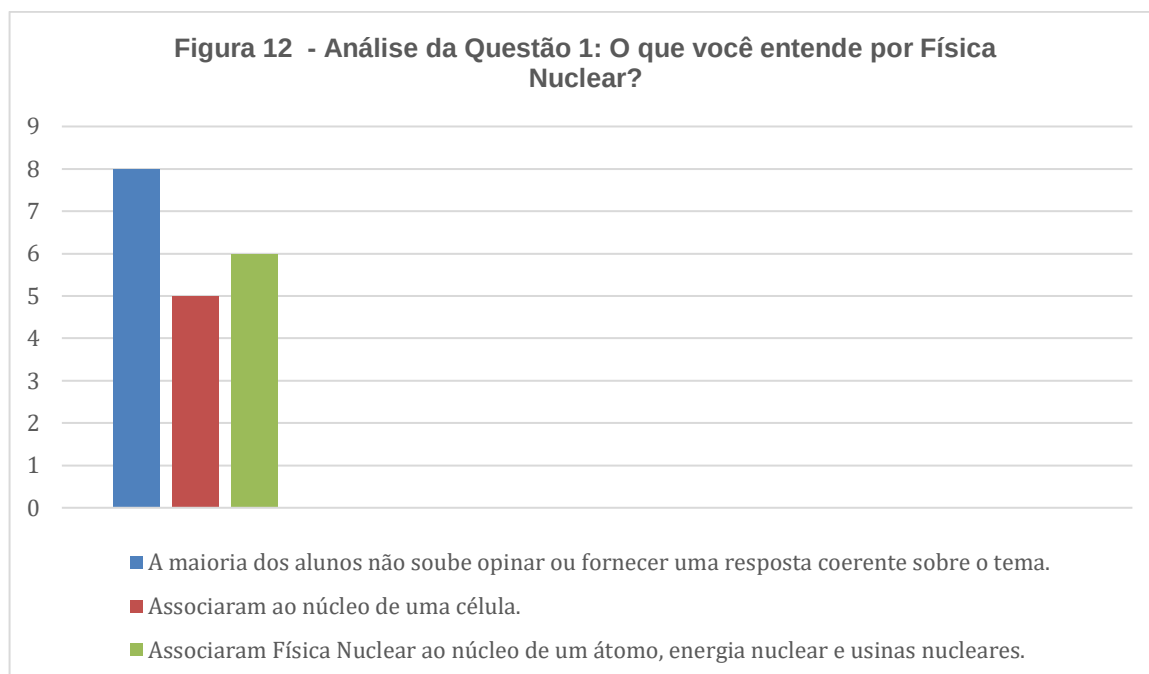
7.1 Análise do 1º encontro - Homer na Usina Nuclear: Uma Introdução à Física Nuclear

A apresentação do produto educacional aos discentes foi um momento de grande expectativa. Inicialmente, os estudantes demonstraram entusiasmo e curiosidade em relação à proposta inovadora, caracterizada por uma abordagem diferenciada em relação às práticas pedagógicas habituais. Contudo, à medida que se depararam com a novidade do tema, emergiu uma certa apreensão, motivada pela incerteza quanto à sua capacidade de acompanhar e assimilar o conteúdo, tendo em vista a falta de familiaridade prévia com o assunto. Esse comportamento era esperado, dado o déficit significativo na área de Ciências, especialmente em Física, sendo que esses alunos do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública estão tendo o primeiro contato com a disciplina.

Para avaliar com precisão as dificuldades apresentadas pelos alunos e identificar os conhecimentos prévios em relação ao tema, foi aplicado um questionário de verificação de conhecimento sobre Física Nuclear. A ideia subjacente à aplicação desse instrumento era investigar o que os estudantes já sabiam sobre o assunto, a fim de orientar o planejamento e a abordagem pedagógica nas aulas subsequentes, adaptando-os às necessidades específicas da turma e potencializando o processo de ensino-aprendizagem.

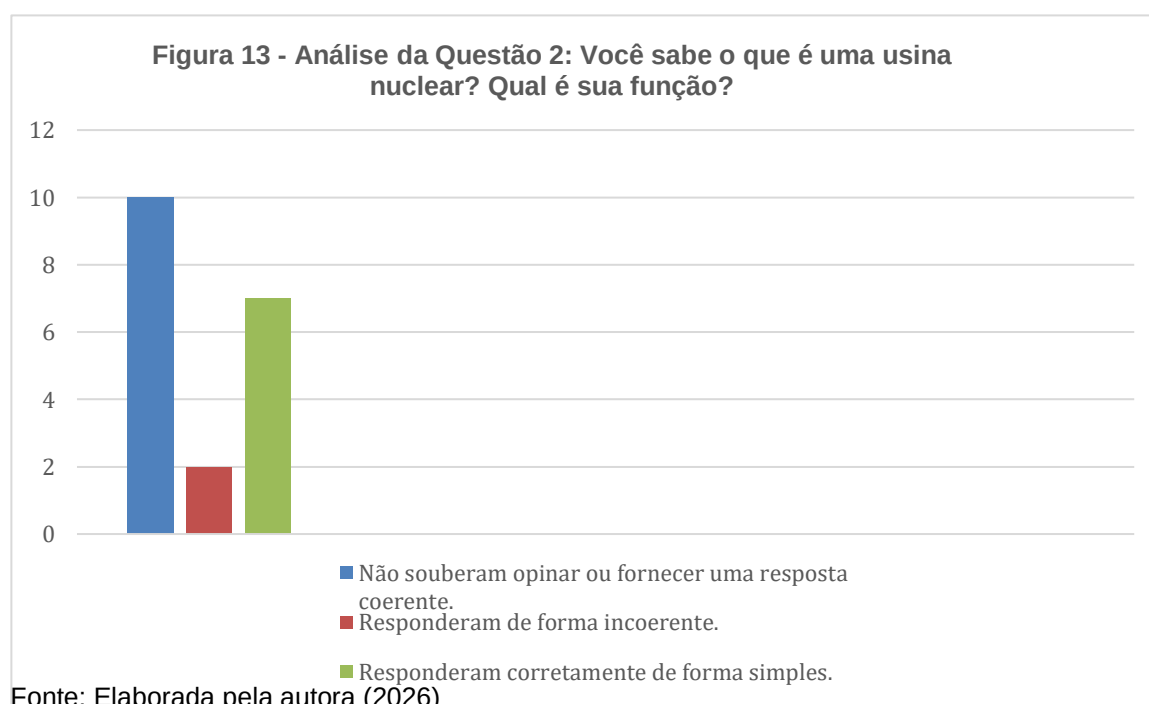
A análise do questionário aplicado à turma de 9º ano revelou insights importantes sobre o conhecimento prévio dos estudantes em relação à Física Nuclear. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos, destacando as principais dificuldades e concepções identificadas, o que permitirá direcionar as estratégias pedagógicas para abordar as lacunas de aprendizagem e fomentar um entendimento mais profundo do tema.

Vamos analisar a aplicação do questionário e entender os resultados obtidos com os alunos do 9º ano:

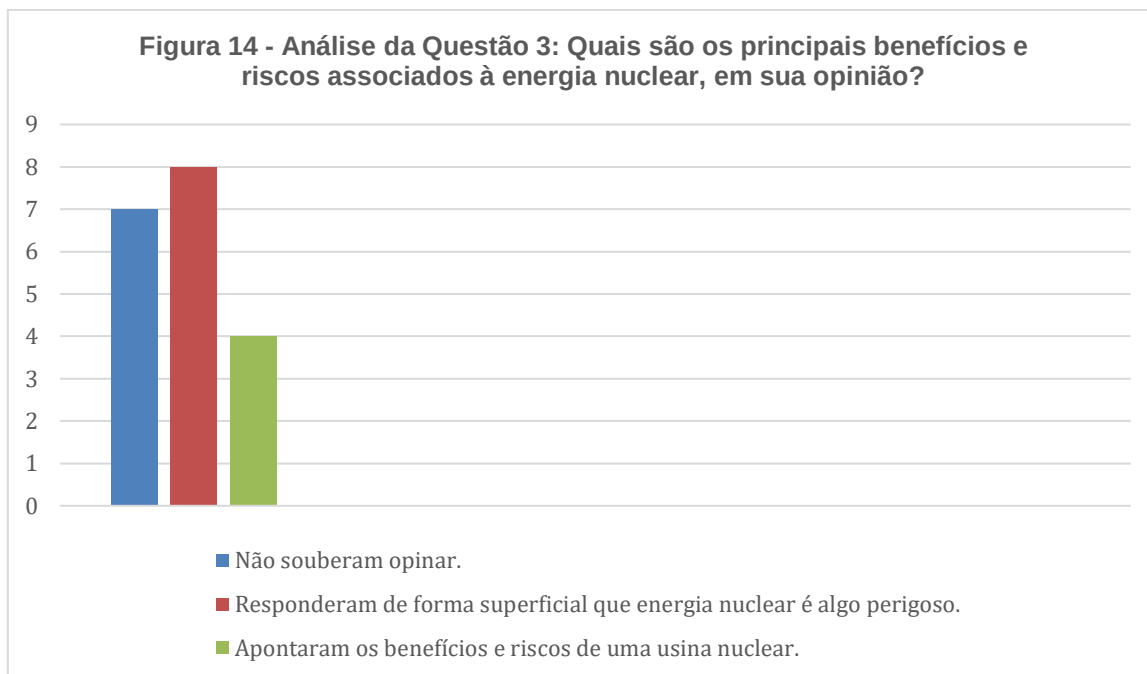


Fonte: Elaborada pela autora (2026)

Os resultados da pesquisa mostram que mais da metade dos alunos desconhece a Física Nuclear, destacando a necessidade de uma abordagem pedagógica eficaz para esclarecer conceitos e promover uma compreensão mais profunda do tema.

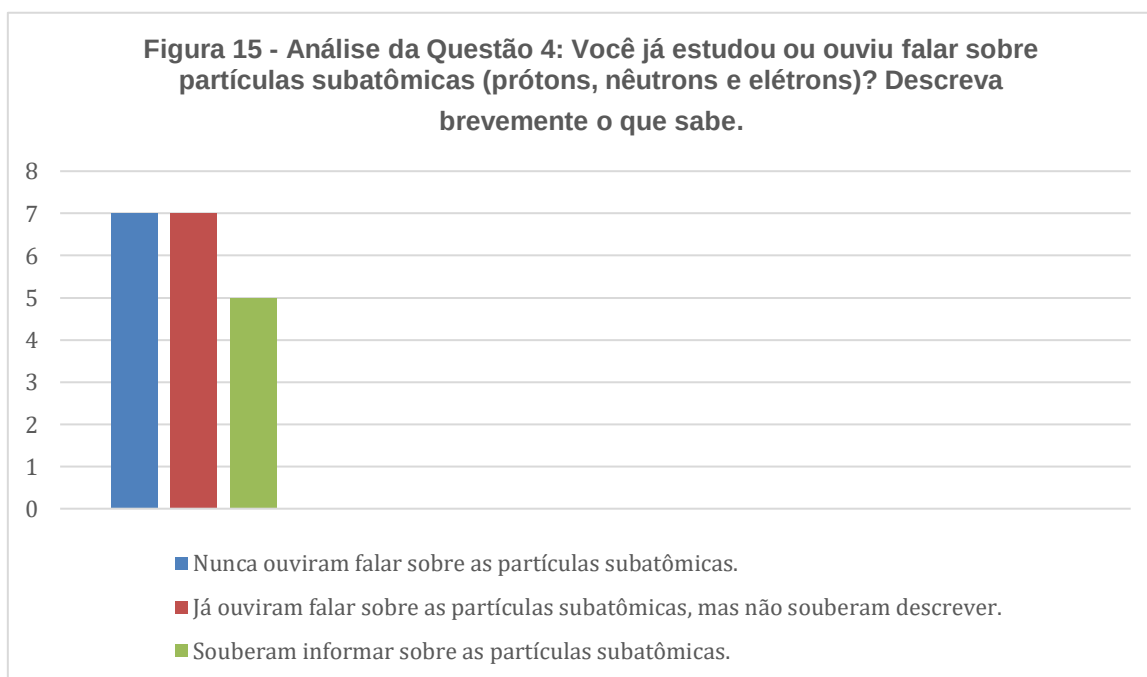


Fonte: Elaborada pela autora (2026)

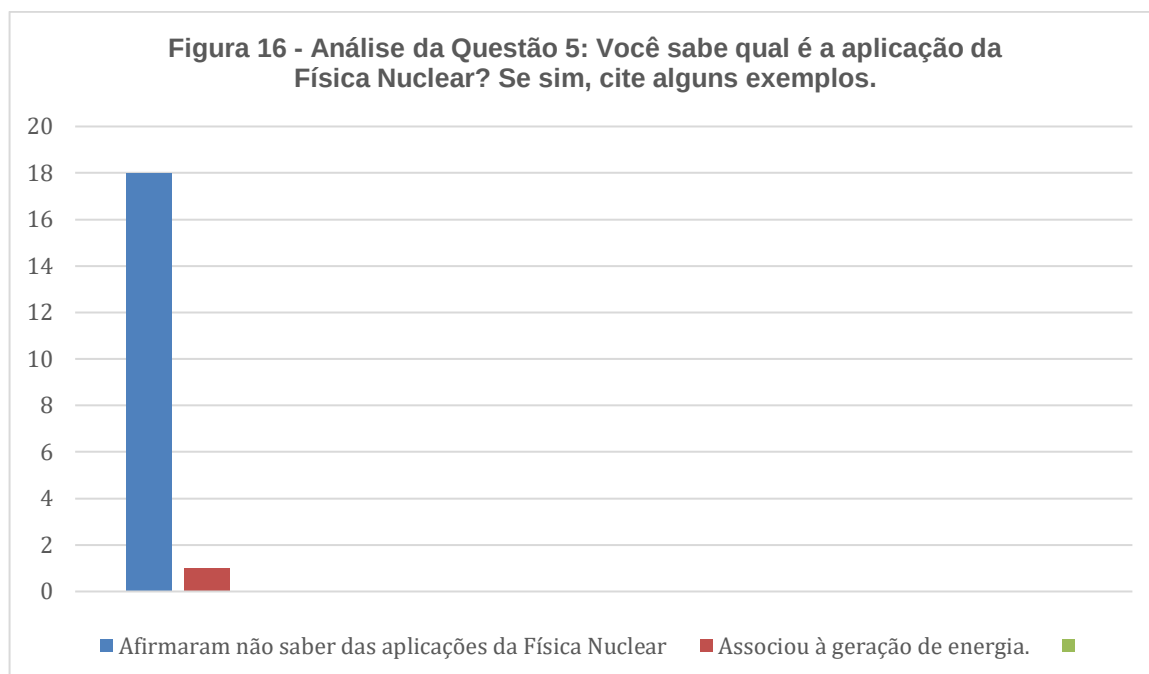


Fonte: Elaborada pela autora (2026)

A análise das respostas dos alunos na questão 3 revela uma compreensão limitada sobre os benefícios e riscos da energia nuclear. Enquanto a maioria desconhece ou tem uma visão negativa, apenas uma pequena parte demonstra compreensão mais abrangente, apontando aspectos relevantes. Isso evidencia como a falta de informação pode gerar preconceitos em relação a temas pouco abordados.



Fonte: Elaborada pela autora (2026)



Fonte: Elaborada pela autora (2026)

Considerando os desafios inerentes ao ensino de Física, especialmente em contextos onde o acesso a informações científicas é limitado, e dado que esse conteúdo não faz parte do cotidiano ou do contexto imediato desses estudantes, esperava-se que o nível de familiaridade com o assunto fosse baixo, o que demandaria uma abordagem didática cuidadosa e adaptada às suas necessidades de aprendizagem.

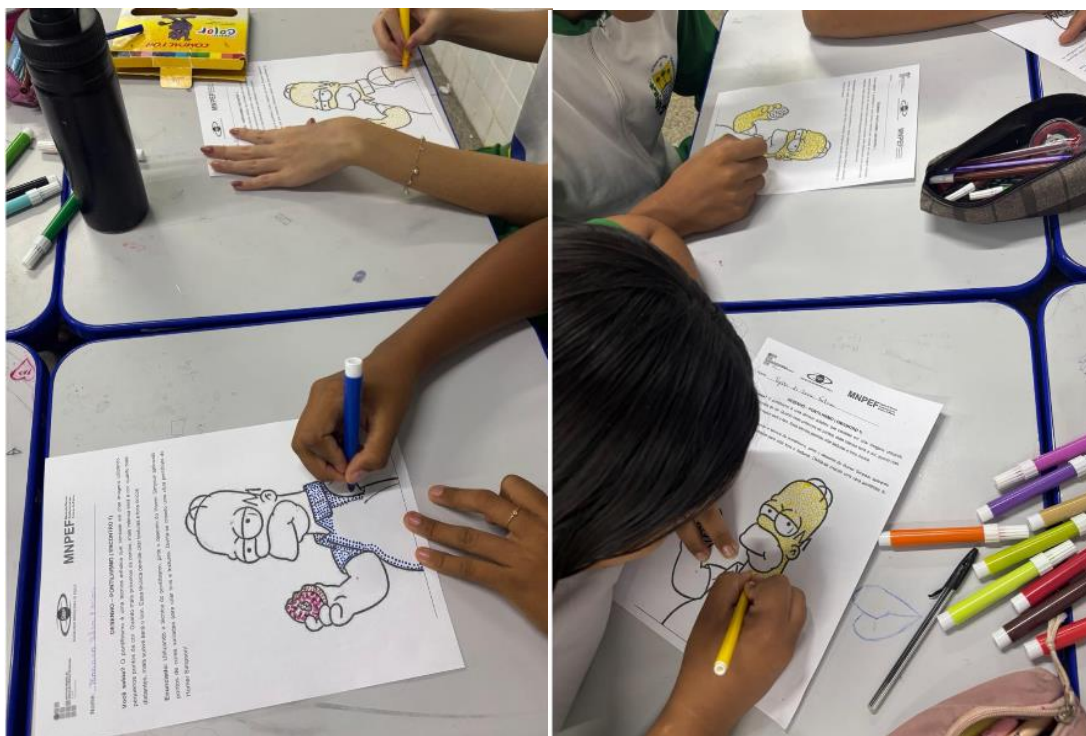
A aplicação do questionário com a turma de 9º ano de uma escola pública revelou que aproximadamente 21% dos alunos tinham familiaridade com o tema central do produto educacional, enquanto a maioria (79%) não tinha conhecimento prévio sobre o assunto. Quando questionados sobre a origem do conhecimento, os alunos (21%) que tinham familiaridade com o tema relataram ter estudado o conteúdo no 8º ano, em uma escola privada anterior, onde já tinham aulas de Física na grade curricular. Isso sugere que a grade curricular de uma instituição privada pode ser um fator importante na aquisição do conhecimento, favorecendo esses alunos em detrimento dos da escola pública, e que a familiaridade com o tema central do produto educacional é limitada entre os alunos da turma de 9º ano.

Os resultados reforçam a ideia presente em Hammel *et al.* (2019), de que a eficácia da abordagem CTSA depende da consideração dos conhecimentos prévios dos alunos, que são moldados por suas experiências, crenças e contexto social.

Embora esses conhecimentos possam não ser sempre cientificamente precisos, eles refletem a realidade cotidiana dos alunos e são fundamentais para o processo de aprendizagem. Com a incorporação desses conhecimentos, a abordagem CTSA se mostra uma ferramenta eficaz para promover um ensino de Física mais contextualizado e significativo.

Para finalizar o 1º encontro da Sequência Didática, apresentamos o personagem Homer Simpson como um elemento interativo e contextualizador. Através de um desenho que será elaborado com técnica de pontilhismo (e utilizado em outro momento), utilizamos o personagem da série Os Simpsons como um elemento de conexão. Como a série é mundialmente conhecida e amplamente familiar entre os jovens, apresentamos curiosidades sobre o personagem e seu emprego em uma usina nuclear, a fim de introduzir o tema central do nosso trabalho.

Figura 17 – Desenho do personagem Homer Simpson elaborado com a técnica do pontilhismo.



Fonte: Registros da autora (2025)

É relevante destacar que, apesar da familiaridade com a série e o personagem Homer Simpson, os alunos manifestaram surpresa ao constatar que ele trabalhava em uma usina nuclear e que a série foi concebida como uma sátira aos temas sociais, políticos e ambientais, incluindo o acidente nuclear de Chernobyl. Nesse contexto,

Homer Simpson emerge como um exemplo paradigmático da aplicação do enfoque CTSA na vida cotidiana, evidenciando as consequências da falta de compreensão científica e da negligência. Suas ações ilustram a importância de considerar as implicações sociais e ambientais das nossas escolhas, tornando-o um recurso pedagógico valioso para discutir temas como alfabetização científica, responsabilidade individual e coletiva, e a interconexão entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

7.2 Análise do 2º encontro – Energia Nuclear: Análise da Representação em “Os Simpsons”

No segundo encontro, com o objetivo de avaliar o nível de assimilação dos conteúdos abordados na aula anterior, foi aplicado um questionário composto por 4 questões objetivas e 1 questão subjetiva. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos:

Questões Objetivas

Questão 1: Qual é tema abordado na aula anterior?

- Alternativa correta: Física Nuclear
- Porcentagem de acertos: 100%

Questão 2: Qual é o nome do personagem que estamos utilizando como exemplo?

- Alternativa correta: Homer Simpson
- Porcentagem de acertos: 89%

Questão 3: O que o Homer Simpson faz?

- Alternativa correta: Opera uma usina nuclear
- Porcentagem de acertos: 95%

Questão 4: Qual é a importância da segurança nuclear, conforme discutido em aula?

- Alternativa correta: Evitar acidentes nucleares
- Porcentagem de acertos: 73%

Os resultados do questionário indicam que a turma apresentou um bom nível de assimilação dos conteúdos abordados na aula anterior, com uma média de acertos de 89,25% nas questões objetivas.

Questão Subjetiva

Questão 5: O que você aprendeu sobre Física Nuclear na aula anterior?

- Análise das respostas: Revelou uma compreensão relevante sobre o tema das usinas nucleares, destacando aspectos como o risco associado a essas instalações, a importância da segurança, a capacidade de produção e a necessidade de especialização para trabalhar na área. Essas respostas sugerem que os alunos conseguiram estabelecer uma conexão entre o contexto apresentado (Homer Simpson trabalhando em uma usina nuclear) e aspectos relevantes sobre o funcionamento e a importância das usinas nucleares, demonstrando uma reflexão sobre diferentes facetas do tema.

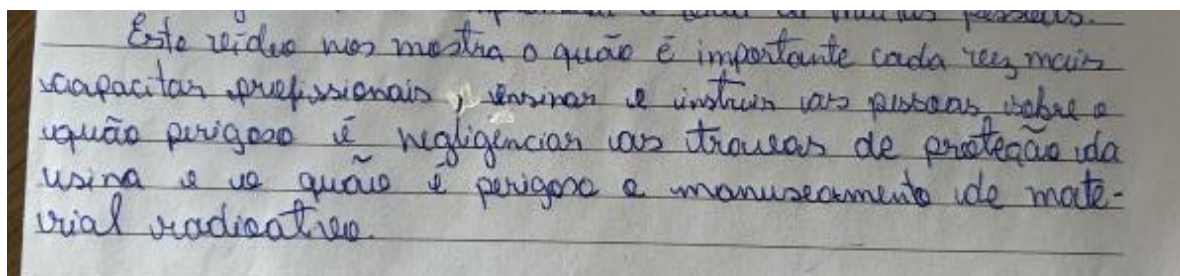
No segundo momento do encontro, os alunos foram submetidos a uma abordagem que visou promover a compreensão crítica da Física Nuclear e suas implicações sociais e ambientais. Para tanto, foi trabalhado o texto "Os Simpsons e a Energia Nuclear" sob a perspectiva da abordagem CTSA, explorando como a mídia pode influenciar a percepção pública sobre a Ciência e Tecnologia, especificamente em relação à energia nuclear. Em seguida, foi exibido o vídeo "Chernobyl – a história que não foi contada", visando associar os conteúdos apresentados e incentivar a reflexão e o pensamento crítico dos alunos. Os alunos foram então solicitados a realizar uma análise reflexiva, relacionando o vídeo ao texto analisado, e registrar suas impressões sobre o que mais chamou a atenção, com o objetivo de desenvolver uma visão mais ampla e crítica da energia nuclear e suas implicações na sociedade.

A seguir, apresentaremos alguns aspectos importantes na análise dos textos e os trechos de alguns alunos que ilustram as principais tendências e reflexões observadas.

A importância da segurança e da qualificação profissional

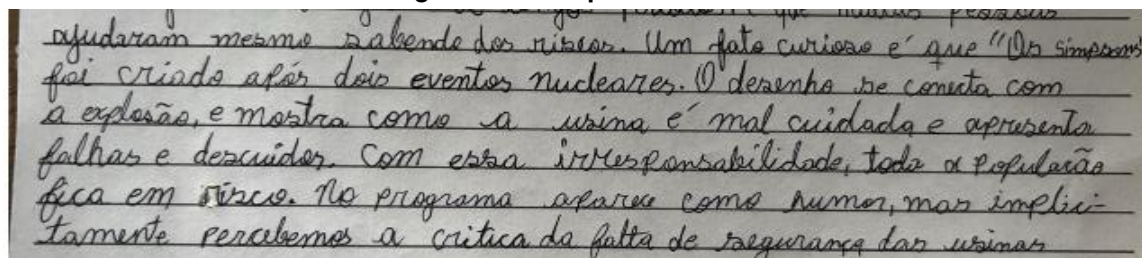
Alguns alunos destacaram a importância da segurança e do treinamento no manuseio de material radioativo e na operação de usinas nucleares.

Figura 18 – Resposta do aluno A



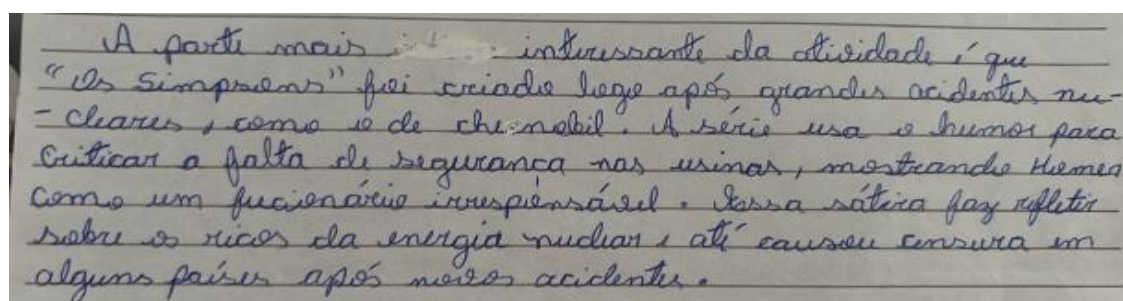
Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 19 – Resposta do aluno B



Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 20 – Resposta do aluno C

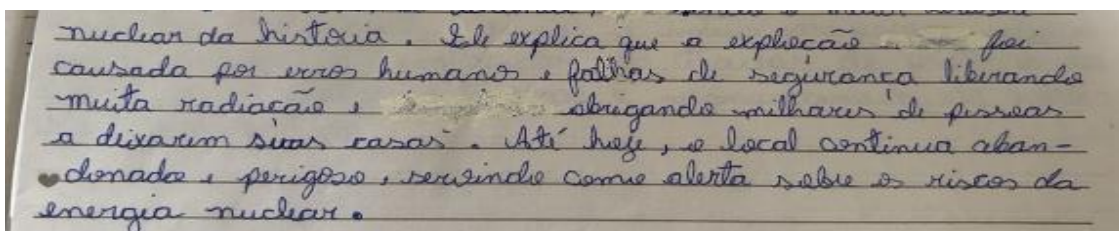


Fonte: Registro da autora (2025)

Impacto ambiental e social

Os alunos também enfatizaram o impacto ambiental e social dos acidentes nucleares, como ilustrado pelos trechos abaixo:

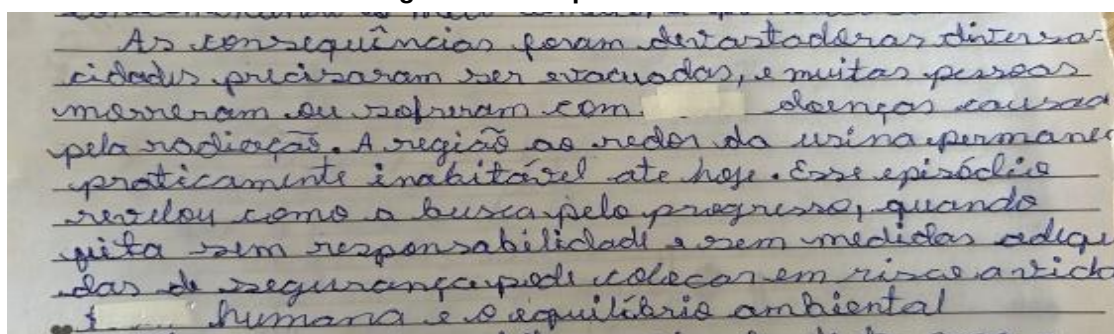
Figura 21 – Resposta do aluno C



nuclear da história. Ele explica que a explosão foi causada por erros humanos e falhas de segurança liberando muita radiação, obrigando milhares de pessoas a deixar suas casas. Até hoje, o local continua abandonado e perigoso, servindo como alerta sobre os riscos da energia nuclear.

Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 22 – Resposta do aluno D



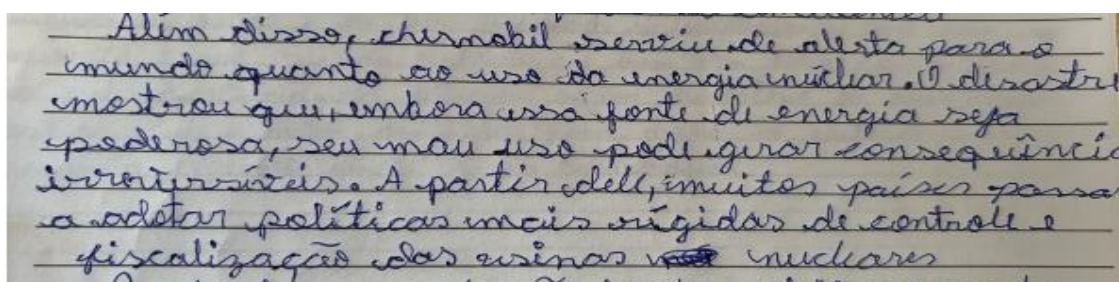
As consequências foram devastadoras: diversas cidades precisaram ser evacuadas, e muitas pessoas morreram ou sofreram com doenças causadas pela radiação. A região ao redor da usina permaneceu praticamente inabitável até hoje. Esse episódio revelou como a busca pelo progresso, quando feita sem responsabilidade e sem medidas adequadas de segurança, pode colocar em risco a vida humana e o equilíbrio ambiental.

Fonte: Registro da autora (2025)

Falhas nas Políticas Públicas: A Omissão e a Desinformação em Acidentes Nucleares

Alguns alunos também abordaram a questão das políticas públicas e como elas falharam em relação aos acidentes nucleares, destacando a falta de transparência e a omissão de informações. Isso demonstrou uma compreensão crítica da importância da governança e da responsabilidade em relação à energia nuclear.

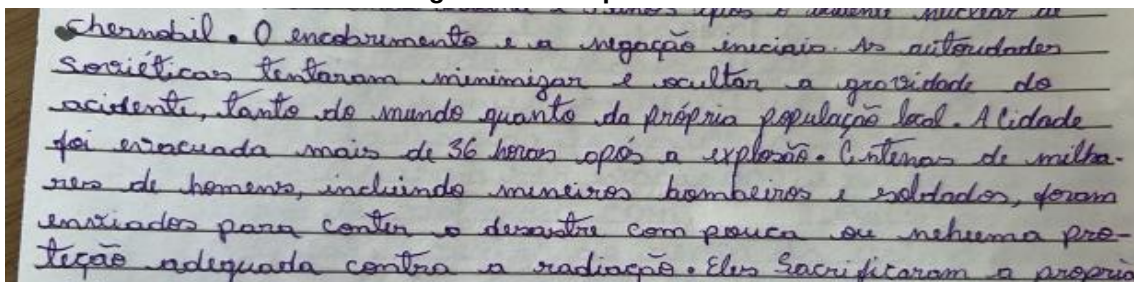
Figura 23 – Resposta do aluno D



Além disso, Chernobyl serviu de alerta para o mundo quanto ao uso da energia nuclear. O desastre mostrou que, embora essa fonte de energia seja poderosa, seu mau uso pode gerar consequências irreversíveis. A partir dele, muitos países passaram a adotar políticas mais rígidas de controle e fiscalização das usinas nucleares.

Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 24 – Resposta do aluno E



Fonte: Registro da autora (2025)

Esses trechos ilustram as principais tendências e reflexões observadas nas análises dos alunos, destacando a importância de considerar as implicações sociais e ambientais da energia nuclear. A atividade realizada utilizando a abordagem CTSA mostrou-se altamente eficaz, pois os alunos conseguiram integrar esses quatro pilares: Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. Isso reforça a ideia presente em Santo (2015), de que a abordagem CTSA permite que o professor mantenha o foco no conteúdo e, simultaneamente, aborde questões éticas de maneira significativa, promovendo uma aprendizagem de Física contextualizada. Isso vai além da simples aplicação do conhecimento científico a situações cotidianas, pois busca aprofundar a compreensão das implicações sociais, éticas e ambientais envolvidas.

Figura 25 – Alunos do 9º ano analisando o tema proposto em aula.



Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 26 – Exibição do vídeo “Chernobyl – a história que não foi contada”



Fonte: Registro da autora (2025)

7.3 Análise do 3º encontro – Homer Atômico: pontilhismo e estrutura da matéria

No referido encontro, procedeu-se à retomada do desenho de Homer Simpson, elaborado na primeira aula mediante a técnica de pontilhismo. Nesse contexto, iniciou-se uma discussão acerca da composição fundamental da matéria, suscitando-se a indagação "De que somos feitos?". Por meio de uma abordagem oral, foram promovidas reflexões junto aos alunos, estabelecendo-se comparações com a composição de uma casa e a estrutura dos desenhos pontilhistas, a fim de elucidar a temática proposta.

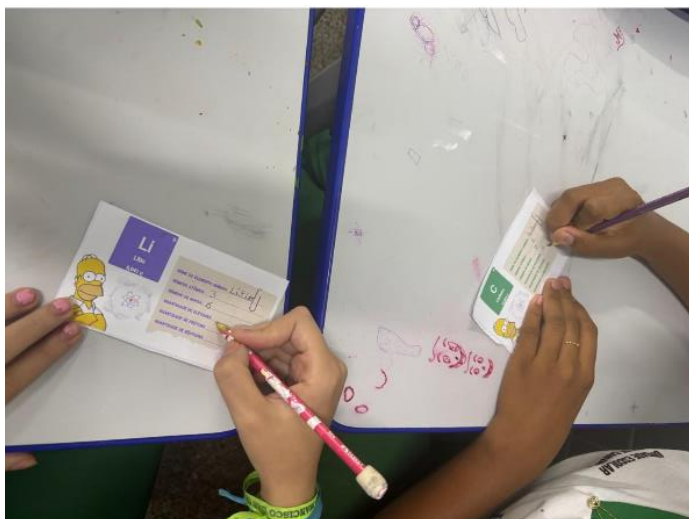
Nessa aula, realizou-se um aprofundamento teórico sobre a estrutura atômica, mediante a exibição de um vídeo "O que é um átomo?", visando integrar os conhecimentos prévios dos alunos com novos conceitos, tais como a estrutura do átomo, sua composição, sua estabilidade e sua importância.

Para consolidar os conceitos abordados, foi proposta uma atividade em grupo utilizando tampinhas de garrafa PET de três cores diferentes, representando prótons, nêutrons e elétrons. Esse material de baixo custo permitiu que os alunos aplicassem de forma prática os conhecimentos adquiridos sobre a estrutura atômica.

A atividade consistiu em:

- Dividir os alunos em grupos e fornecer um cartão com informações sobre um elemento químico específico.

Figura 27 – Alunos do 9º ano realizando atividade prática com cartões sobre elementos químicos, número atômico e massa.



Fonte: Registro da autora (2025)

- Os alunos analisaram as informações e usaram as tampinhas para representar a estrutura atômica do elemento, incluindo prótons, nêutrons e elétrons.

Figura 28 – Alunos manuseando tampinhas coloridas representando prótons, nêutrons e elétrons, modelando a estrutura atômica.



Fonte: Registro da autora (2025)

- Essa abordagem prática permitiu que os alunos explorassem a estrutura atômica de forma interativa e visual.

Figura 29 – Modelo do átomo de Alumínio construído com tampinhas coloridas, representando prótons, nêutrons e elétrons.



Fonte: Registro da autora (2025)

A análise dos resultados da atividade prática de representação atômica com tampinhas coloridas mostra que os alunos compreenderam a estrutura atômica, aplicando conceitos teóricos de forma interativa. Isso se alinha à ideia de Caetano e Pommer (2023), que destacam a importância de abordagens variadas para construir conhecimento de maneira eficaz, evidenciando a interconexão entre prática e teoria no ensino de Ciências e Física.

A utilização de tampinhas, um material de baixo custo e fácil acesso, foi uma estratégia eficaz para promover a visualização e a compreensão da estrutura atômica. Os alunos identificaram e representaram os componentes do átomo (prótons, nêutrons e elétrons) de forma precisa, consolidando a compreensão de que o átomo é constituído por um núcleo (prótons e nêutrons) e uma eletrosfera (elétrons).

A participação integral dos alunos e a construção bem-sucedida dos modelos atômicos sugerem que a atividade promoveu uma aprendizagem significativa e duradoura dos conceitos abordados.

7.4 Análise do 4º encontro – A Força Nuclear de Homer

Nessa aula sobre Força Nuclear, ministrada para alunos do 9º ano, teve como objetivo apresentar a definição, características e importância da força nuclear no contexto da Física Nuclear. A análise dos resultados obtidos a partir da aplicação de um questionário com 6 questões objetivas revelou os seguintes resultados:

Questão 1: Qual é a força responsável por manter os elétrons ligados ao núcleo?

- Alternativa correta: Força eletromagnética
- Porcentagem de acertos: 77%

Questão 2: Qual é o principal desafio para os prótons permanecerem unidos no núcleo?

- Alternativa correta: A repulsão eletromagnética entre os prótons.
- Porcentagem de acertos: 61%

Questão 3: Qual é a característica da força nuclear?

- Alternativa correta: É atrativa e tem um alcance extremamente curto.
- Porcentagem de acertos: 23%

Questão 4: Entre quais partículas a força nuclear atua?

- Alternativa correta: Entre prótons, nêutrons e entre prótons e nêutrons.
- Porcentagem de acertos: 92%

Questão 5: Qual é a função da força fraca no núcleo atômico?

- Alternativa correta: Mediar processos radioativos.
- Porcentagem de acertos: 15%

Questão 6: Qual é o resultado da ausência da força forte no universo?

- Alternativa correta: A estrutura do universo seria completamente diferente.
- Porcentagem de acertos: 61%

Os resultados sugerem que os alunos demonstram uma compreensão geral satisfatória das forças que atuam no núcleo atômico, mas revelam lacunas específicas

que demandam atenção adicional. A provável razão para isso é que os alunos do Ensino Fundamental ainda não tiveram contato aprofundado com esses conceitos, o que os torna mais desafiadores. A abstração inerente às forças nucleares e processos radioativos exige um cuidado especial. Para abordar esses temas de forma eficaz, é recomendável uma abordagem didática e simplificada, que priorize a construção de uma base sólida e gradual, permitindo que os alunos assimilem os conceitos fundamentais antes de avançar para níveis mais complexos de entendimento

7.5 Análise do 5º encontro – O Mágico Homer e o Segredo do Decaimento Beta

Considerando as dificuldades apresentadas pelos alunos do 9º ano em compreender conceitos abstratos relacionados às forças e processos nucleares, a atividade proposta visou explorar esses temas de maneira lúdica e interativa. Utilizando massinha de modelar, os alunos foram incentivados a criar modelos representativos de estruturas atômicas e do processo de decaimento beta, seguidos pela exposição dos modelos criados.

A utilização de massinha de modelar como ferramenta de modelagem permitiu aos alunos uma interação tangível com os conceitos, enquanto a comparação com elementos de magia buscou despertar o interesse e facilitar a assimilação dos processos complexos envolvidos.

A atividade de modelagem com massinha de modelar foi recebida positivamente pelos alunos, que a classificaram como recreativa e distinta das abordagens tradicionais de ensino. A utilização de uma abordagem lúdica e interativa facilitou a compreensão dos conceitos de estrutura atômica e processos nucleares, permitindo que os alunos assimilassem o conteúdo de maneira mais eficaz e agradável. A combinação de aspectos recreativos e educacionais contribuiu para um ambiente de aprendizado mais dinâmico e estimulante, promovendo uma melhor retenção do conhecimento. De acordo com Cavagis e Benedetti Filho (2023), investir na formação de professores para o uso de abordagens lúdicas e tecnologias emergentes pode melhorar a qualidade do ensino e contribuir para uma aprendizagem mais expressiva.

Figura 30 – Atividade de Modelagem com Massinha: Explorando a Estrutura Atômica e o Decaimento Beta.



Fonte: Registros da autora (2025)

Figura 31 – Exposição dos trabalhos realizados pelos alunos com massinha de modelar representando estruturas atômicas e decaimento beta.



Fonte: Registros da autora (2025)

7.6 Análise do 6º encontro – Fissão e Fusão: Homer descobre o poder da reação nuclear

Os alunos tiveram a oportunidade de conhecer os processos de Fissão e Fusão Nuclear, constatando-se que não tinham consciência da presença desses fenômenos em aplicações cotidianas, como na medicina, no funcionamento do Sol e também em armas como a bomba atômica. A exemplificação das aplicações facilitou a compreensão dos conceitos abstratos, tornando evidente a importância de contextualizar a Física com situações reais e tangíveis para os alunos.

Nessa atividade, a abordagem CTSA foi aplicada ao contextualizar os conceitos de Fissão e Fusão Nuclear com aplicações reais, mostrando a relevância dos

conceitos para os alunos. As implicações sociais, ambientais e éticas das tecnologias nucleares foram discutidas, e a reflexão sobre a importância da Física no cotidiano foi promovida, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa. Segundo Samagaia e Peduzzi (2004), é fundamental redistribuir o protagonismo do processo de ensino, engajando os estudantes em debates relevantes que estimulem uma análise crítica da Ciência e seu impacto.

7.7 Análise do 7º encontro – Bomba Atômica: O poder destrutivo que Homer não entende

Após a aula anterior, onde os alunos aprenderam sobre os conceitos de Fissão e Fusão Nuclear e suas aplicações em diversas áreas, como medicina e energia, chegou o momento de aprofundar o estudo sobre a bomba atômica. Nesta aula, os alunos iniciaram o projeto de criação de um mural sobre a bomba atômica, realizando uma pesquisa sobre sua história, efeitos e implicações, aplicando os conhecimentos adquiridos anteriormente.

Como ressaltam Guio e Dorsch (2023), essa atividade permite que os alunos aprofundem seu conhecimento sobre a bomba atômica, um exemplo impactante para promover debates sobre os efeitos socioambientais da energia nuclear. Isso possibilita refletir sobre a importância da Física no contexto histórico e social.

Inicialmente, o objetivo era abordar exclusivamente a bomba atômica, mas os alunos optaram por uma abordagem mais abrangente, partindo de conceitos primordiais como o átomo até os processos de Fissão e Fusão Nuclear, a fim de proporcionar uma compreensão mais contextualizada e significativa do tema para toda a comunidade escolar.

Sob a perspectiva CTSA, ao abordar as implicações sociais, políticas e ambientais do desenvolvimento e uso da bomba atômica, os alunos puderam refletir criticamente sobre as consequências devastadoras para as pessoas e o meio ambiente, considerando as implicações éticas e morais da criação e uso dessa tecnologia. A representação visual das implicações da bomba atômica, incluindo os efeitos a longo prazo sobre as vítimas e o meio ambiente, permitiu que os alunos criassem um mural impactante que destaca a importância da conscientização sobre os efeitos devastadores das armas nucleares. Dessa forma, o mural se torna uma ferramenta poderosa para transmitir uma mensagem de paz e reflexão para a escola.

7.8 Análise do 8º encontro – A Física Nuclear ao alcance de todos: Homer aprende sobre a bomba atômica.

No último encontro, finalizando a aplicação do produto educacional, foi exposto o mural criado pelos alunos do 9º ano, resultado de um longo processo de construção de conhecimento. Observou-se que os alunos tiveram dificuldades em assimilar alguns conceitos novos e distantes de sua realidade, mas que atividades lúdicas e contextualizadas facilitaram a compreensão de alguns deles.

A curiosidade dos alunos sobre tragédias, como a de Chernobyl e as bombas atômicas lançadas em Hiroshima e Nagasaki, impulsionou a pesquisa e o aprofundamento no assunto. Embora não seja possível afirmar que todos os alunos tenham absorvido 100% do tema proposto, é notável o progresso alcançado.

Com planejamento, organização e atividades interativas, foi possível superar alguns desafios e fazer a diferença no aprendizado. A maioria dos alunos do 9º ano da escola CETI Maria de Carvalho demonstrou segurança ao apresentar o trabalho e muitos que inicialmente não sabiam opinar sobre o tema agora conseguem discutir questões sociais, éticas e ambientais relacionadas à Física Nuclear.

Esse resultado dialoga com a discussão de Souza (2016), que aponta que a sociedade não apenas se beneficia da Ciência, mas também desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de pesquisas. Ao abordar temas relevantes para os alunos, é possível aumentar a motivação e a compreensão, contextualizando o conhecimento e estimulando a criticidade. Isso pode transformar a sala de aula em um espaço de discussão, onde os alunos são incentivados a participar de decisões informadas e se engajar mais ativamente em seu contexto social.

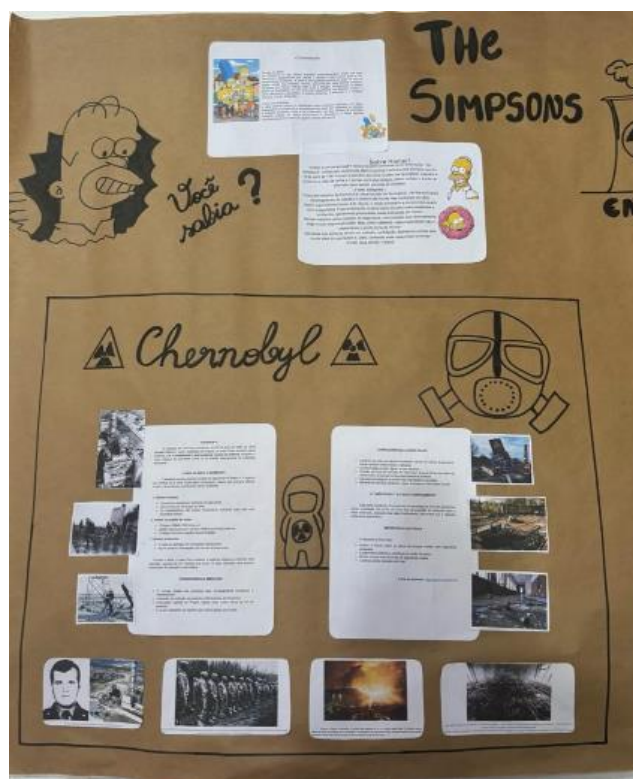
Aqui está o resultado do mural, que representa o esforço e a dedicação desses alunos! (Ver figuras 32 - 40)

Figura 32 – Exposição do Mural para toda a comunidade escolar.



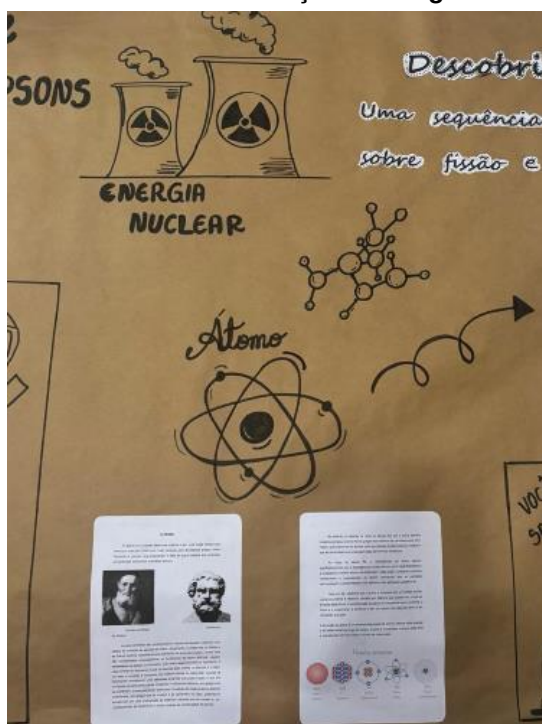
Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 33 – Alunos compartilham curiosidades sobre "Os Simpsons" e Chernobyl, ambos com enfoque em usinas nucleares.



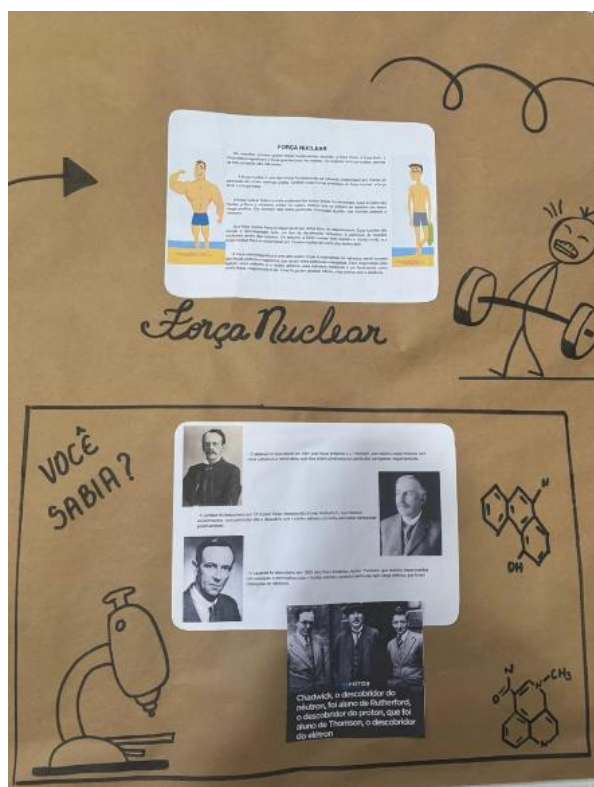
Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 34 – Alunos apresentam um breve contexto histórico sobre o átomo e sua evolução ao longo do tempo.



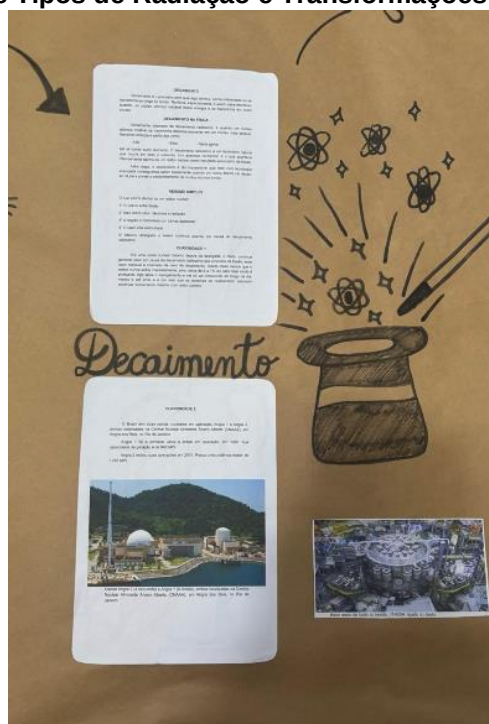
Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 35 – Força Nuclear:
Explorando a interação que mantém o núcleo atômico unido.



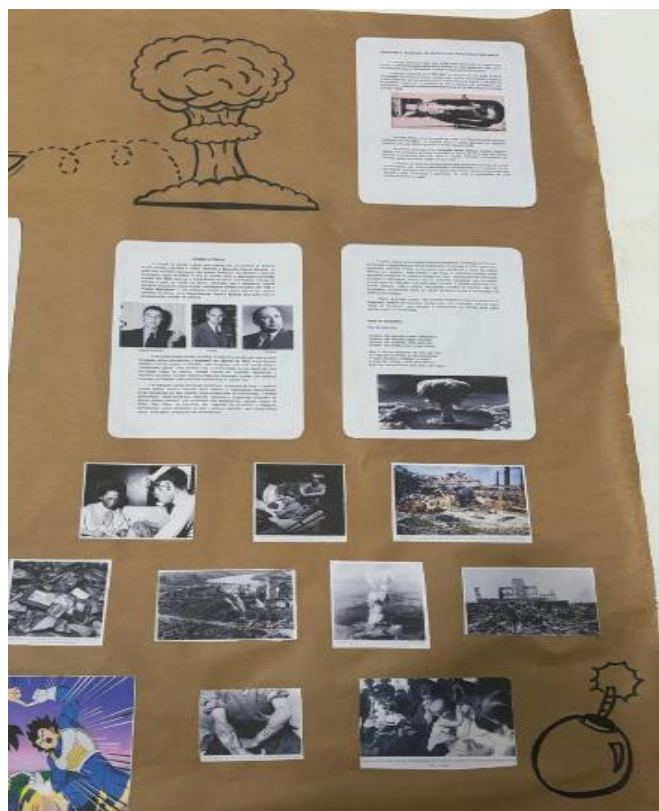
Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 36 - Decaimento Nuclear:
Explorando os Tipos de Radiação e Transformações Atômicas



Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 38 - Finalizando a apresentação com o tema da bomba atômica desde sua fabricação até impactos sociais.



Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 39 - A autora ressalta a necessidade de nos tornarmos cidadãos conscientes e capazes de influenciar debates sobre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.



Fonte: Registro da autora (2025)

Figura 40 - Conclusão da aplicação do produto educacional



Fonte: Registro da autora (2025)

8. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo investigar o ensino de Física Nuclear no Ensino Fundamental utilizando uma Sequência Didática interativa que adota a abordagem CTSA, visando promover uma aprendizagem mais contextualizada e reflexiva. A aplicação do produto educacional sobre Física Nuclear tem o potencial de gerar resultados significativos. Essa abordagem pode promover uma compreensão mais profunda e integrada de conceitos como Fusão e Fissão Nuclear, bem como suas aplicações, contribuindo para a formação de cidadãos críticos e responsáveis.

Os resultados desta pesquisa revelaram que os alunos do Ensino Fundamental são capazes de assimilar temas complexos, como Física Nuclear, quando apresentados de maneira prática e interativa. Contudo, também foi constatado que os alunos encontraram obstáculos decorrentes da falta de conhecimentos prévios e da dificuldade em compreender conceitos abstratos, bem como em reconhecer as suas aplicações práticas no cotidiano. Além disso, a limitação dos conteúdos nos livros didáticos e a falta de conexão do tema com o dia a dia dos alunos também limitaram um pouco a compreensão do assunto, tornando necessária a busca por abordagens mais eficazes e contextualizadas para superar essas barreiras e promover uma aprendizagem mais significativa.

De acordo com essas limitações, a capacitação docente emerge como um elemento crucial para que os professores disponham das ferramentas necessárias para mediar o conteúdo de forma eficaz. A pesquisa evidenciou que, quando estratégias pedagógicas adequadas são implementadas, os alunos são capazes de construir sua própria aprendizagem de maneira significativa. Isso reforça a concepção de que o professor desempenha o papel de mediador no processo de ensino-aprendizagem, sendo a escolha das estratégias de ensino um fator determinante para fomentar a compreensão e o engajamento dos estudantes. Além disso, é fundamental que o professor busque meios de motivar e instigar a curiosidade do aluno, principalmente daqueles desmotivados, pois sem isso, a aprendizagem pode não ser eficaz, independentemente da abordagem utilizada. A motivação e o interesse do aluno são fundamentais para que ele se envolva ativamente no processo de aprendizagem e alcance os objetivos desejados.

A abordagem CTSA também oferece oportunidades para os professores refletirem sobre sua prática pedagógica e desenvolverem habilidades docentes essenciais. Ao contextualizar os conceitos científicos e tecnológicos, essa abordagem torna-os mais interessantes e relevantes para os alunos, incentivando o pensamento crítico sobre as implicações sociais e ambientais da Ciência e Tecnologia.

Esses resultados mostram que é necessário adaptar a abordagem pedagógica para atender às necessidades específicas de aprendizagem dos alunos. A turma do 9º ano, por exemplo, era heterogênea, com alunos em diferentes níveis de aprendizagem e com interesses variados. Para superar essas dificuldades, a incorporação de recursos didáticos que favoreçam a visualização e a experimentação, como simulações, atividades práticas e exemplos contextualizados, pode ser uma estratégia eficaz para promover uma aprendizagem mais profunda e eficaz.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação satisfatória dessa abordagem depende da capacitação contínua dos professores e da disponibilidade de recursos adequados nas escolas. Sugere-se que futuras pesquisas sejam realizadas para investigar a eficácia de diferentes estratégias de ensino de Física Nuclear no Ensino Fundamental, bem como para desenvolver e validar recursos didáticos inovadores que possam apoiar os professores nessa tarefa, contribuindo assim para a melhoria da alfabetização científica e a formação de cidadãos críticos e responsáveis.

O produto educacional em questão apresenta uma abordagem inovadora e pode ser adaptado também para as turmas de Ensino Médio, onde os resultados poderão ser diferentes devido à base sólida dos alunos em estrutura atômica e outros temas necessários. Em última análise, a aplicação desse produto pode contribuir para a melhoria da alfabetização científica no Ensino Fundamental, tornando-o uma ferramenta de transformação social que valorize a formação da cidadania e a responsabilidade ambiental e social.

Em conclusão, esta pesquisa contribui para a compreensão da eficácia da abordagem CTSA no ensino de Física Nuclear no Ensino Fundamental, evidenciando seu potencial para promover uma aprendizagem mais contextualizada e significativa. Destaca a importância de repensar as práticas pedagógicas tradicionais e de investir na capacitação docente e no desenvolvimento de recursos didáticos inovadores para melhorar a alfabetização científica e formar cidadãos críticos e responsáveis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. **O discreto charme das partículas elementares**. 2ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

ARCHILA, Daniela Lima Cerqueira; CAMPOS, Tereza Raquel Taulois. Portfólio de patentes em tecnologias nucleares e outras tecnologias competitivas da CNEN com foco na sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 187-210, 2021.

AULER, Décio. **Movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS): modalidade, problemas e perspectivas em sua implementação no ensino de física**. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 6. Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 1998.

BARRETO, Benigno; XAVIER, Claudio. **Física aula por aula: Eletromagnetismo Física Moderna**. v. 3. 3ª ed. São Paulo: FTD, 2016.

BAKHTIN, Mikhail. **Marxismo e filosofia da linguagem**. Hucitec, 1986.

BENEDETTI FILHO, Edemar; CAVAGIS, Alexandre. Uso da plataforma Construct 2® na formação continuada de professores em jogos educativos virtuais. **Revista ELO–Diálogos Em Extensão**, v. 12, 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino de Física**. Brasília: MEC, 2002

CAETANO, Eduardo Ferreira; POMMER, Wagner Marcelo. Energia Nuclear: Um estado do conhecimento envolvendo dissertações e teses voltadas ao ensino de Física no período 2000 a 2019. **Abakós**, v. 11, n. 2, p. 52-66, 2023.

CALÇADA, Caio Sergio; SAMPAIO, José Luiz. **Física: Volume único**. 2ª ed. São Paulo: Atual, 2005.

CAMELO, Ana Paula. Participação pública em políticas energéticas em debate: estudo de caso em torno da energia nuclear no Brasil. **Revista Sinais**, v. 21, n. 1, 2017.

CEREZO, José Antônio López. **Ciência, tecnologia e Sociedade: o desafio da interação**. Editora IAPAR, Londrina – PR, p. 3-39, 2002.

CHASSOT, Attico. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista brasileira de educação**, p. 89-100, 2003.

CUNHA, Kássia Moreira. **O ensino de física nuclear no ensino médio: uma proposta de sequência didática**. Trabalho de conclusão da Graduação em Física – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2020.

CRUZ, Sônia Maria Corrêa de Souza; ZYLBERSZTAJN, Arden. **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. 2ª edição revisada. Florianópolis-SC: Editora da UFSC, p. 171-196, 2005.

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

EISENBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Núcleos e Partículas. Sólidos**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

EISNER, Elliot Wayne. As artes e a criação da mente. **Artes da linguagem**, v. 80, n. 5, p. 340-344, 2003.

FARIAS, Ian do Nascimento; FERREIRA, Thiago Wanderley Cavalcanti Pirajá Viana. **A energia nuclear no Brasil e a conclusão de Angra 3: segurança, viabilidade econômica e aceitação social**. Trabalho de conclusão do curso de Bacharel em Engenharia de Energia – Universidade Federal de Pernambuco, 2025.

FERREIRA, Marcia Alexandra Andrade. **Mídias, mediações e a questão nuclear: uma proposta de mediação institucional e tecnológica nas aulas de Física no ensino médio**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2013.

FIGUEIREDO, Carmen Simone Macedo; MESSEDER, Jorge Cardoso; RAMOS, Ana Cristina Costa. Explorando ciências numa ótica CTS: relato de experiência no ensino fundamental. **Revista ENCITEC**, v. 1, n. 1, p. 62-69, 2011.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GODOY, Leandro Pereira de; DELL'AGNOLO, Rosana Maria; MELO, Wolney Candido. **Multiversos: ciências da natureza: ciência, tecnologia e cidadania: ensino médio**. São Paulo: Editora FTD, 2020.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos da Física: Óptica e Física Moderna**. v. 4. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HAMMEL, Cristiane; MIYAHARA, Ricardo Yoshimitsu; DOS SANTOS, Sandro Aparecido. Uma UEPS com enfoque CTSA no ensino de Física: geração, produção e consumo de energia elétrica. **Experiências em ensino de ciências**, v. 14, n. 1, p. 256-270, 2019.

INVERNIZZI, Noela; FRAGA, Lais. Estado da arte na educação em ciência, tecnologia, sociedade e ambiente no Brasil. **Revista Ciência & Ensino**, v. 1, 2008.

JERÔNIMO, Renato Bezerra. **A importância da energia nuclear no processo de transição energética: considerações à luz do princípio da precaução.**

Monografia (Bacharelado em Direito) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDBEN – nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, 1996.

LOPES, Cesar Valmor Machado. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica.** Dissertação (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2009.

MACHADO, Tariana Brocardo. **Aceitação da energia nuclear por parte da opinião pública no Brasil.** Tese (Doutorado em Ciências da Comunicação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

MACIEL, Renan Carlos Ferreira Picanço; COSTA, Fábio José Souza; PEREIRA, Gerlany de Fátima dos Santos. Perspectiva curricular ciência-tecnologia-sociedade-ambiente: uma investigação do enfoque CTSA em livros didáticos de 6º e 7º anos do Ensino Fundamental II de Ciências Naturais à luz da BNCC. **REVISTA DELOS**, v. 17, n. 61, p. e2807-e2807, 2024.

MAESTRELLI, Sandra Godoi. **A abordagem CTSA nos anos iniciais do ensino fundamental: contribuições para o exercício da cidadania.** Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MELZER, Ehrick Eduardo Martins; AIRES, Joanez Aparecida. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 11, n. 22, p. 62-77, 2015.

MIRANDA, Gilberto José. Elaboração e aplicação de questionários. **Trabalho de Conclusão de Curso: uma abordagem leve, divertida e prática.** São Paulo: Saraiva Educação, p. 216-229, 2020.

MORAES, José Uibson Pereira; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira. **O Ensino de Física e o Enfoque CTSA: caminhos para uma educação cidadã.** São Paulo: Livraria da Física, v. 144, 2012.

MOREIRA, Marco Antônio. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista brasileira de ensino de física.** São Paulo. Vol. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.

MOURA, Felipe Roberto Barros de. **O papel da energia nuclear na transição e na segurança e autossuficiência energética dos países.** Trabalho de conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

MURAYAMA, Caio Cesar Salgado; SCHMID, Fernando Pagnin. **Perspectivas para a energia nuclear no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2021.

NETO, Antônio; SANTOS, Adevalton Bernardo dos. Ensino de Física por meio do telefone celular. **Teoria e Prática da Educação**, v. 23, n. 3, p. 96-114, dezembro, 2020.

NETO, Jorge Megid; PACHECO, Décio. Pesquisas sobre o ensino de Física no nível médio no Brasil: concepção e tratamento de problemas em teses e dissertações. **Pesquisas em ensino de física**. São Paulo: Escrituras, v. 2, p. 15-30, 2001.

NUNES, Danilo Baracho. **Estudando os modelos atômicos, a tabela periódica e a física moderna**. Monografia (Física Licenciatura) – Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas, 2021.

OSTERMANN, Fernanda. **Partículas elementares e interações fundamentais**. Instituto de Física – UFRGS. Porto Alegre, 2001

PIAGET, Jean. **Epistemologia Genética**. Petrópolis: Vozes, 1970.

PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel; SILVEIRA, Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto; BAZZO, Walter Antônio. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 13, p. 71-84, 2007.

ROSA, Cleci Werner; ROSA, Álvaro Becker da. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Electrônica de Enseñanza de las ciencias**, v. 4, n. 1, 2005.

SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez; ZANATTA, Ronnie Petter Pereira. Mediação digital e representações mentais: um estudo sobre hibridação cognitiva na articulação entre humanos e não humanos nas aulas de ciências da natureza. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 29, n. 2, p. 337-364, 2024.

SAMAGAIA, Rafaela; PEDUZZI, Luiz OQ. Uma experiência com o projeto Manhattan no ensino fundamental. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 02, p. 259-276, 2004.

SANTO, Gabriel Scoparo Espírito. **Repensando as situações de aprendizagem em física: proposta de duas sequências didáticas com abordagem CTSA para formação ética do cidadão**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, São Paulo, 2015.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em educação em ciências**, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2000.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos.; SCHNETZLER, Roseli Pacheco. **Educação em química**: compromisso com a cidadania. 3. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2003.

SILVA, Kaio Moab de Oliveira; SILVA, Oberlan da. Dos atomistas ao átomo moderno: um resgate histórico da evolução dos modelos atômicos. 2021.

SILVA, Lilianne de Sousa, et al. Sequências didáticas sob a óptica das teorias de ensino-aprendizagem. **Educación**, v. 34, n. 66, p. 176-193, 2025.

SOUZA, Lucas Emanuel Goecking Liesner de; LIMA, Carolina Carneiro. Energia Nuclear: Desafio Atual, Universalização e Medo Social. Dom Helder – **Revista de Direito**, v. 2, n. 2, p. 63-90, 2019.

SOUZA, Marcos Vinicius Lima. **Ensinando Física e energia nuclear num contexto histórico e sociocultural**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Feira de Santana, 2016.

TAVARES, Cacilene Moura. **A abordagem CTSA no ensino de ciências: um estudo documental do plano estadual de educação no estado do Pará**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Pará, 2016.

TIPLER, Paul Allen; LLEWELLYN, Ralph Alvin. **Física Moderna**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

UGALDE, Maria Cecília Pereira; ROWEDER, Charlys. Sequência didática: uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem. **Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 6, p. e99220-e99220, 2020.

APÊNDICE

SOBRE A AUTORA



A autora do trabalho "Descobrimos o poder do átomo: uma sequência didática interativa para o ensino sobre fusão e fissão nuclear no ensino fundamental" é uma professora de Física dedicada e apaixonada, com mais de 20 anos de experiência no ensino público. Ela é funcionária pública estadual e municipal, atuando como professora de Física no Ensino Médio, no CETI Maria de Carvalho, município de Santo Antônio de Lisboa - PI, e também professora de Matemática no Ensino Fundamental II na rede municipal.

A autora possui uma sólida formação acadêmica na área de Física e Educação. Ela é graduada em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI), concluída em 2003. Posteriormente, buscou aprimorar sua formação docente com a especialização em Docência do Ensino Superior pelo Instituto Superior de Educação Programus do Piauí, concluída em 2016. Entre 2024 e 2026, a autora cursou o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física no IFPI, campus Picos, onde desenvolveu a presente pesquisa.

A escolha do tema "Descobrimos o poder do átomo" foi motivada pelo profundo fascínio da autora pela Física de Partículas e Nuclear, áreas que, apesar de fundamentais para a compreensão dos fenômenos naturais, são frequentemente negligenciadas na educação básica. Com essa pesquisa, ela visa não apenas aprofundar seus conhecimentos nessa área, mas também compartilhar sua paixão pela Física com seus alunos e colegas professores, inspirando outros a se interessarem pela Ciência e a explorar as maravilhas do mundo subatômico. Ao tornar esses conceitos mais acessíveis e atraentes, a autora espera despertar a curiosidade e motivação dos estudantes, contribuindo para uma educação científica mais atualizada e engajadora.