

ABORDAGEM CTSA NO ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR: reflexões iniciais sobre uma intervenção didática na desmistificação do uso das radiações.

STSE APPROACH IN NUCLEAR PHYSICS EDUCATION: initial reflections on a didactic intervention in demystifying the use of radiations.

Géssica Alves

ga@discente.ifpe.edu.br

Pedro Henrique Avelino de Andrade

pedro.andrade@pesqueira.ifpe.edu.br

RESUMO

A abordagem convencional do ensino de Física frequentemente se restringe a cálculos matemáticos, negligenciando a sua aplicação prática em questões socialmente relevantes, como o emprego de radiações. Este estudo relata uma intervenção didática em tópicos de Física Nuclear, adotando a abordagem CTSA. A proposta visa estabelecer uma conexão entre o conteúdo acadêmico e a vivência diária dos alunos. A intervenção foi conduzida em uma aula com duração de uma hora e trinta minutos e contou com a participação de 18 estudantes do 9º ano até o 3º ano do ensino médio. Os resultados indicaram que a abordagem de temas contemporâneos, como o uso das radiações na sociedade, é promissora para o aprendizado, possibilitando a desmistificação de concepções equivocadas.

Palavras-chave: Ensino de Física. Radiações. Abordagem CTSA.

ABSTRACT

The traditional physics education often focuses solely on math, overlooking practical applications in relevant social issues, like radiation usage. This study details a didactic intervention in nuclear physics, using the STSE approach. It aims to bridge academic content with students' daily experiences. The intervention comprised a ninety-minute class session with eighteen students ranging from 9th to 12th grade. Findings suggest that exploring modern topics, like radiation's societal uses, enhances learning by dispelling misconceptions.

Keywords: Physics education. Radiation. STSE Approach.

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física desempenha um papel crucial no desenvolvimento crítico dos estudantes, proporcionando-lhes não apenas conhecimentos teóricos, mas também a capacidade de aplicar esses princípios na compreensão de fenômenos cotidianos. Este papel ganha ainda mais relevância quando adotamos uma abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), que busca harmonizar os conhecimentos científicos com o contexto prático e social dos estudantes.

Segundo Moreira (2021) o termo *conhecimento prévio* refere-se a elementos presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, englobando conceitos, proposições, modelos, concepções e crenças. Esses elementos podem desempenhar o papel de precursores para a aquisição de novos conhecimentos ou, alternativamente, configurar-se como obstáculos epistemológicos.

A educação escolar frequentemente suscita a percepção de que o conhecimento que se transmite não possui utilidade prática no cotidiano, gerando questionamentos sobre a eficácia da aplicação dos saberes adquiridos no ambiente escolar (ANDRADE; MAIA, 2008).

Outro ponto relevante é a metodologia utilizada em sala de aula. Na era digital temos a oportunidade de desenvolver aulas dinâmicas, fazendo uso de recursos tecnológicos. Contudo observa-se a predominância de aulas que, por vezes, focam na repetição com o objetivo principal de memorização de conteúdo. Segundo Rosa e Rosa (2005 p.6):

Hoje, no início do século XXI, mais de cem anos de história se passaram desde a introdução da Física nas escolas no Brasil, mas sua abordagem continua fortemente identificada com aquela praticada a cem anos atrás: ensino voltado para a transmissão de informações através de aulas expositivas utilizando metodologias voltadas para a resolução de exercícios algébricos.

De acordo com Moreira (2021), na cultura educacional contemporânea, predomina a abordagem conhecida internacionalmente como *ensino para a testagem*. Nesse contexto, as instituições escolares assumem predominantemente a função de centros de treinamento, relegando a um segundo plano sua função essencial como centros educacionais. Tanto professores quanto alunos são inseridos nessa dinâmica de treinamento, cujo fundamento subjacente é a preparação para as demandas do mercado.

A medida que se concentram cada vez mais em atender às exigências específicas de avaliações e testes, as escolas correm o risco de comprometer sua missão fundamental de promover o desenvolvimento intelectual, crítico e holístico dos alunos.

A ênfase excessiva na preparação para testes pode gerar uma educação limitada e unilateral, reduzindo a capacidade dos estudantes de se tornarem cidadãos reflexivos e ativos em uma sociedade que demanda pensamento crítico e participação plena. Dessa forma, é crucial repensar a orientação predominante da educação contemporânea, buscando um equilíbrio que valorize tanto a preparação prática quanto o desenvolvimento integral dos indivíduos.

No contexto do ensino de Física, destaca-se a prioridade em dedicar atenção aos conceitos físicos em detrimento das relações matemáticas, denominadas de fórmulas. As fórmulas, por sua vez, incorporam e expressam esses conceitos, sendo

desprovido de sentido o mero ato de memorizar estas fórmulas sem compreender os conceitos subjacentes (MOREIRA, 2021).

Ao explorar a interseção entre os conhecimentos de Física e as necessidades da Sociedade, surge a temática da radiação. Este fenômeno, muitas vezes envolto em mistérios e mal-entendidos, desempenha um papel vital em diversas áreas, desde a história da descoberta da radioatividade até suas aplicações fundamentais na saúde, tal como a radioterapia no tratamento do câncer.

No contexto do ensino, a abordagem CTSA oferece uma oportunidade de enriquecer a compreensão dos estudantes, estabelecendo conexões entre os conceitos físicos e sua aplicabilidade prática. Através dessa perspectiva integrada, não apenas fornecemos conhecimento teórico, mas também cultivamos a capacidade dos alunos de analisar criticamente as implicações sociais, éticas e ambientais da Física em suas vidas.

Ao abordar a esfera midiática, observa-se que os meios de comunicação tendem a focar notícias que associam as radiações ionizantes a desastres ambientais, como os incidentes de Chernobyl em 1986, Fukushima em 2011 e o caso do Césio 137 em 1987. Contudo, é vital compreender que as radiações possuem aplicações significativas em setores como a Medicina e a Indústria, transcendendo a perspectiva predominantemente negativa que muitas vezes é propagada pela mídia (PRESTES; CAPPELLETTO, 2008).

Por isso a importância da escola juntamente com os professores, desenvolverem um currículo e metodologias adequadas, baseando-se na vivência em sociedade dos indivíduos. Essa abordagem possui o potencial de proporcionar uma prática significativa no ensino do tema proposto (ROSA; ROSA, 2005).

Assim, é fundamental empregar recursos pedagógicos que promovam o desenvolvimento cognitivo do aluno, evitando sobrecarga de conceitos e fórmulas matemáticas, que frequentemente representam desafios significativos para a compreensão dos estudantes. Por isso, é essencial a busca por uma combinação de métodos participativos e significativos no processo de ensino/aprendizagem, tornando as aulas mais valorizadas e pertinentes.

Destacamos como é importante identificar o conhecimento prévio que cada aluno já possui, para que seja realizada uma metodologia mais significativa, assim facilitando o entendimento dos alunos (PRESTES; CAPPELLETTO, 2008). O que, de acordo com Moreira (2021), seria uma aprendizagem voltada para a vida e para a cidadania, diferenciando-se da abordagem tradicional que se limita a preparação para as avaliações.

Neste estudo tivemos como objetivo geral aprofundar o entendimento sobre radiação por meio da vivência de uma intervenção didática, abrangendo a história da radiação, a radioatividade, seus tipos e os princípios de proteção radiológica, bem como as suas aplicações em setores diversos. Adotando uma abordagem qualitativa, buscou-se captar as percepções dos estudantes.

A seguir, apresentaremos os resultados dessa intervenção, destacando indícios de como essa abordagem influenciou na compreensão dos estudantes sobre a radioatividade e o seu papel na sociedade. Ao unir a riqueza histórica da radiação com os desafios contemporâneos do ensino de Física, visamos contribuir para a formação de cidadãos críticos e informados, capazes de aplicar os princípios físicos de maneira ética e reflexiva durante sua jornada educacional e além.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para esta pesquisa foram analisados estudos (OKUNO, 2013; XAVIER et al, 2006; LIMA et al., 2020) sobre a visão de outros pesquisadores em relação ao tema abordado, e com finalidade de organizar melhor as ideias no presente texto, dividimos esse tópico em 4 subtemas: *Radiação*, onde caracterizamos o que é radiação e quais os tipos; *A radioatividade na história da Ciência*, neste tópico fizemos uma breve apresentação sobre os acontecimentos mais importantes na história da radiação e quem foram os principais personagens que ajudaram a desencadear esse fenômeno; *Acidentes Nucleares*, aqui apresentamos alguns dos acidentes nucleares mais notáveis da história, destacando casos como o de Chernobyl em 1986 e o acidente com o Césio 137, no Brasil em 1987, entre outros; *A Radiação aplicada a saúde*; nesta seção apresentamos as situações onde a radiação é aplicada na área da Saúde; *A Radioatividade no Ensino de Física*; nesta seção abordamos como esse tópico é importante para a sociedade, destacando sua importância no contexto educacional e suas implicações práticas em diversos aspectos do cotidiano.

2.1 Conceituando e Classificando a Radiação

Os núcleos dos átomos são compostos por partículas chamadas de prótons e de nêutrons. O número de prótons em um núcleo, conhecido como número atômico, representado por Z , e o número de nêutrons, representado por N , determinam as características do átomo. A soma desses dois números é denominada número de massa, representado por A . Os prótons e os nêutrons, coletivamente, são referidos como núcleons. Essas definições básicas fornecem a base para compreender a estrutura nuclear e as suas propriedades (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A radiação, definida como a propagação de energia por meio do espaço, pode manifestar-se através de ondas ou partículas. Enquanto as ondas eletromagnéticas, exemplificadas pela luz, representam a radiação não ionizante, caracterizada pela ausência de energia suficiente para remover elétrons dos átomos. A radiação ionizante, como nos casos dos raios X e raios gama, possui energia capaz de causar danos celulares (OKUNO, 2013).

Os núclídeos que compartilham o mesmo número atômico Z , mas diferem no número de nêutrons N , são denominados isótopos, sendo o elemento Ouro um exemplo paradigmático, abrangendo 36 isótopos, variando do ^{169}Au ao ^{205}Au . Apenas um desses núclídeos é considerado estável, enquanto os outros 35 isótopos são classificados como radioativos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Radionúclídeos passam por um processo espontâneo de decaimento, no qual emitem uma ou mais partículas, resultando na transformação em um núclídeo diferente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Embora a radiação ionizante seja aproveitada em aplicações benéficas, notadamente na Medicina e na Indústria, é crucial reconhecer seu potencial para causar danos à saúde. Esses danos incluem riscos significativos, como mutações genéticas e o desenvolvimento de câncer, enfatizando a importância de uma abordagem cuidadosa e controlada em seu uso (OKUNO, 2013).

Partículas eletricamente carregadas, como alfa, beta (elétrons e pósitrons), possuem a capacidade de remover elétrons de átomos, causando a ionização de outros átomos, a tal ponto que transmitem completamente sua energia (OKUNO, 2013).

A capacidade dos núcleos de emitirem elétrons, pósitrons e neutrinos, apesar de ser aparentemente contraditória, encontra analogia no fenômeno observado nos átomos que emitem fótons, embora seja impreciso afirmar que os átomos *contêm* fótons. A emissão de elétrons, pósitrons e neutrinos pelos núcleos durante o processo de decaimento beta segue um princípio semelhante, no qual essas partículas são geradas durante o processo de emissão. No caso específico do decaimento beta negativo, um dos nêutrons do núcleo emite um elétron e um neutrino, transformando-se em um próton (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Das ondas eletromagnéticas, os raios X e gama, são as únicas faixas do espectro eletromagnético consideradas radiação ionizante. Fótons de raios X e gama podem perder sua energia em uma única interação com átomos, arrancando seus elétrons que, por sua vez, ionizam outros átomos. Também há fótons que conseguem cruzar um meio sem fazer qualquer tipo de interação (OKUNO, 2013).

A radiação pode ser produzida por fontes naturais ou artificiais. As fontes naturais incluem radionuclídeos, que são átomos instáveis que emitem radiação, e radiação cósmica, que é a radiação proveniente do espaço. As fontes artificiais incluem reatores nucleares, aceleradores de partículas e tubos de raios X (OKUNO, 2013).

Os radionuclídeos apresentam dois parâmetros fundamentais para avaliar seu tempo de sobrevivência. A meia-vida representa o intervalo necessário para que as quantidades de núcleos (N) e atividade (R) reduzissem à metade do valor inicial. Já a vida média (τ) indica o tempo requerido para que N e R alcancem $1/e^1$ do valor inicial. Quando um núcleo passa por um decaimento alfa, transforma-se em um núcleo diferente, liberando uma partícula alfa, como ocorre no decaimento do Urânio-238 por exemplo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

No nosso corpo, os átomos estão unidos por forças elétricas, que formam as moléculas, como as moléculas de água ou de DNA. Quando uma radiação ionizante interage com um átomo desses, ela pode arrancar um de seus elétrons, deixando-o com uma carga positiva. Isso desestabiliza o átomo, que pode então reagir com outros átomos ou moléculas, o que pode levar à sua desintegração (OKUNO, 2013).

O impacto das radiações, tais como os raios gama, os elétrons e as partículas alfa, sobre organismos vivos, notadamente os seres humanos, emerge como uma temática de relevância pública. As fontes inerentes de radiação compreendem os raios cósmicos e os elementos radioativos presentes na crosta terrestre. No contexto das atividades humanas, destacam-se como radiações preponderantes os raios X e os radionuclídeos empregados em práticas medicinais e industriais. Essa discussão transcende o domínio científico, suscitando reflexões sobre os impactos sociais e ambientais dessas formas de radiação (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

No âmbito da radiologia há algumas grandezas de interesse que vale a pena apresentar quando se deseja que os estudantes compreendam melhor alguns dos usos práticos das radiações ionizantes.

Na Radiologia Clínica e na proteção radiológica, a dose absorvida, D, é a quantidade básica de dose física, e é utilizada para todos os tipos de radiação ionizante e qualquer geometria de irradiação. É definida como o quociente de ΔE por Δm , onde ΔE é a energia média transferida à porção de matéria cuja massa é Δm pela radiação ionizante, expresso na Equação 1.

¹ e: Número de Euler. Cujo valor é aproximadamente 2,71828182846.

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad (1)$$

No Sistema Internacional (SI), a unidade de medida para dose absorvida é o gray (Gy). Ainda em uso, a unidade mais antiga rad (abreviação de "radiation absorbed dose", ou seja, dose de radiação absorvida) é amplamente empregada. Ambas as unidades são estabelecidas conforme a seguinte relação: 1 Gy = 1 J/kg = 100 rad (ICRP, 2007).

Um conceito fundamental na avaliação dos efeitos biológicos resultantes da exposição a diferentes tipos de radiação, como raios gama e Nêutrons, é o de Dose Equivalente. Quando essas radiações fornecem quantidades iguais de energia a um organismo vivo, os efeitos biológicos podem variar significativamente. O conceito de dose equivalente possibilita a expressão do efeito biológico ao multiplicar a dose absorvida (em grays ou rads) por um fator numérico conhecido como Eficiência Biológica Relativa (RBE, do inglês relative biological effectiveness). Em situações específicas, como para raios X, raios gama e elétrons, RBE é igual a 1; para nêutrons lentos, RBE é 5; para partículas alfa, RBE é 10, e assim por diante. Instrumentos de monitoramento individual, como filmes fotográficos, são calibrados para registrar a dose equivalente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). No SI, a unidade de medida para dose equivalente é o Sievert (Sv), enquanto uma unidade mais antiga, o rem, ainda mantém considerável uso, com a relação estabelecida de 1 Sv = 100 rem (ICRP, 2007).

O órgão responsável por supervisionar e regulamentar as atividades relacionadas a Energia Nuclear no Brasil é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Este órgão desempenha um papel crucial na gestão e controle das práticas nucleares no país, estabelecendo normas e diretrizes que visam assegurar a segurança e proteção radiológica em diversas áreas de aplicação, tais como a Medicina Nuclear, a Indústria e a pesquisa científica.

A CNEN estabelece limites anuais para exposição a radiação, visando a proteção de trabalhadores ocupacionalmente expostos e do público em geral. Para indivíduos ocupacionalmente expostos, a dose efetiva no corpo inteiro não deve exceder 20 mSv por ano, com uma média aritmética de 5 anos não superior a 50 mSv em qualquer ano. Para o público em geral, a dose efetiva anual é limitada a 1 mSv. Há também limites específicos para órgãos, como o cristalino (20 mSv) e a pele (500 mSv). A CNEN tem autoridade para permitir exceções em circunstâncias especiais, desde que as doses efetivas sejam controladas e monitoradas rigorosamente (BRASIL, 2014).

2.2 A radioatividade na história da Ciência

Em 1895, o físico alemão Wilhelm Röntgen descobriu uma nova forma de radiação, a qual chamou de *raios X*. Ele estava trabalhando com um tubo de raios catódicos quando observou que uma tela fluorescente, que estava a alguns metros do tubo, estava brilhando. Röntgen concluiu que a luz não podia estar vindo do tubo, pois ele estava coberto por uma cartolina preta. Röntgen recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1901 por sua descoberta. A descoberta dos raios X revolucionou a Medicina, permitindo a visualização do interior do corpo humano sem a necessidade de cirurgia. Essa é uma forma de radiação que pode atravessar objetos opacos à luz (XAVIER et al., 2006).

O físico francês Antoine Henri Becquerel, interessado em fosforescência e fluorescência, investigou se as substâncias fosforescentes e as fluorescentes emitem

raios X. Becquerel descobriu que a radiação penetrante emitida pelo Urânio não era causada pela fluorescência, mas sim era uma propriedade do próprio elemento. Ele chamou essa radiação de *raios de Becquerel*, que mais tarde foi renomeada para *radioatividade* pela polonesa Marie Curie (XAVIER et al., 2006).

Em 1900 foram identificados três tipos de emissões radioativas, as partículas alfa (α) e beta (β), pelos físicos Ernest Rutherford e Pierre Curie (XAVIER et al., 2006). O químico e físico francês Paul Ulrich Villard (1860-1934) efetuou a observação de um terceiro tipo de radiação, designada como radiação gama (γ), distinguida pela sua característica de não sofrer desvio frente a placas eletricamente carregadas. Villard deduziu a ausência de carga nessa forma de radiação (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020).

Em 1903, o físico neozelandês Ernest Rutherford sugeriu que o átomo era composto por uma região central que contém a maior parte de sua massa e carga positiva. Ele também propôs que a radioatividade, com suas emissões α , β e γ , era um evento que acontecia com os núcleos instáveis de alguns elementos químicos. O decaimento radioativo é um processo pelo qual os núcleos instáveis se desintegram, emitindo partículas ou radiação. O decaimento radioativo pode transformar um átomo de um elemento químico em um átomo de outro elemento químico. (XAVIER et al., 2006).

O estudo do fenômeno da radioatividade teve início com os trabalhos do físico alemão Röntgen, que descobriu os raios X. Becquerel descobriu que os sais de Urânio emitem radiações similares aos raios X, e Marie e Pierre Curie descobriram que a radioatividade era uma propriedade intrínseca de alguns elementos químicos. A intensidade das radiações era condizente com a quantidade de Urânio observada. Marie e Pierre descobriram, em 1898, que a *pechblenda*, um minério que continha óxido de Urânio, era mais radioativa que o Urânio metálico isolado. Isso demonstra que o minério se compunha, não só do Urânio, mas também de outro elemento radioativo, o qual denominaram de *Rádio*. Marie Curie trabalhou por mais quatro anos para isolar uma quantidade significativa de *Rádio* para determinar a sua massa atômica e algumas de suas propriedades (XAVIER et al., 2006).

Em 1928, o eminente físico britânico Paul Dirac (1902-1984) iniciou investigações acerca da viabilidade da existência de um elétron positivo. Em 1932, a confirmação da presença do *elétron positivo*, também reconhecido como *antimatéria*, foi estabelecida. O físico norte-americano Carl David Anderson (1905-1991), no mesmo ano, durante análises das interações de raios cósmicos, propôs a nomenclatura *pósitron* para descrever a partícula positiva emitida por radioisótopos artificiais (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020).

Em 1934, Irène Curie, filha de Marie e Pierre Curie, juntamente com seu noivo Frédéric Joliot, avançou nos estudos sobre radioatividade ao bombardear uma folha de alumínio com partículas α , resultando na criação de um novo isótopo radioativo, o Fósforo. Essa descoberta foi significativa na História da Ciência, evidenciando que a radioatividade não é uma propriedade intrínseca dos elementos, mas pode ser induzida por meio de bombardeamento nuclear (XAVIER et al., 2006).

No mesmo ano de 1934, o renomado físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) conduziu uma notável pesquisa, revelando que o bombardeio de nêutrons nos núcleos atômicos de Urânio levava à absorção dessas partículas subatômicas. Tal fenômeno resultou na formação de elementos transurânicos, caracterizados por um número atômico superior a 92. Após a absorção, os átomos submetidos a esse processo passaram a emitir radiação gama (γ) e beta (β). Adicionalmente, Fermi

desempenhou um papel crucial na implementação do primeiro reator atômico (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020).

No decurso de suas pesquisas, o químico alemão Otto Hahn (1879-1968) juntamente com os físicos austríacos Otto Frisch (1904-1979) e Lise Meitner (1878-1968) descobriram a instabilidade intrínseca do núcleo do átomo de Urânio. Ao ser submetido a bombardeio, esse núcleo manifestou-se propenso à fragmentação, dando origem a elementos distintos. Este fenômeno foi formalmente designado como fissão nuclear (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020).

2.2.1 Descrevendo alguns Acidentes Nucleares

A produção de Energia Elétrica para o consumo populacional destaca-se como um papel significativo das Usinas Nucleares. De acordo com especialistas, o processo de fissão nuclear, ao contrário da queima de combustíveis fósseis, não emite gás carbônico, um dos principais contribuintes para o efeito estufa. O resíduo gerado durante a operação das Usinas Nucleares permanece contido até que alcance um nível de decaimento adequado para um descarte seguro. Assim, a Energia Nuclear é percebida como uma fonte de energia limpa e segura, segundo as informações obtidas (LIMA et al., 2020).

Embora a Energia Nuclear desempenhe um papel crucial no fornecimento de energia para a sociedade, é imperativo reconhecer que alguns acidentes significativos ocorreram ao longo da história, acarretando sérios danos ambientais e consequências para a saúde humana. Um exemplo emblemático é o desastre na Usina Nuclear de Chernobyl em 1986, que resultou em extensas áreas contaminadas, impactos ambientais de longo prazo e um aumento significativo de casos de câncer entre os habitantes locais.

A localização da Usina de Chernobyl, adjacente à cidade de Pripyat, situada no território da antiga União Soviética, atualmente compreendendo a Ucrânia. A estrutura da usina compreendia quatro reatores, cuja construção transcorreu entre os anos de 1977 e 1983. Notavelmente, no momento do desastre, encontravam-se em fase de construção os reatores 5 e 6, projetos que não foram concluídos. Inicialmente concebida como um símbolo de progresso da União Soviética, a usina, infelizmente, transformou-se em um emblemático símbolo de tragédia (LIMA et al., 2020).

Durante a manutenção periódica anual, o Reator encontrava-se inativo, passando por testes elétricos com uma redução significativa de sua potência. Essa condição exigia a desativação do Sistema Automático de Segurança para evitar interrupções automáticas indesejadas durante os testes. Embora reatores desse tipo não devessem operar por períodos prolongados em baixa potência devido aos riscos associados, a operação prosseguiu nesse estado. Infelizmente, os operadores na Sala de Controle do Reator, não capacitados conforme padrões internacionais de segurança, negligenciaram precauções essenciais, resultando na perda de controle sobre a operação (CARDOSO et al., s.d).

A temperatura elevou-se de maneira abrupta, resultando na transformação instantânea e completa da água circulante nos tubos em vapor, de maneira explosiva. Como consequência, ocorreu uma explosão de vapor que danificou severamente os tubos, os elementos combustíveis e os blocos de grafite. A intensidade da explosão foi tal que provocou o deslocamento da tampa de concreto e a destruição do teto do edifício, que não estava projetado para suportar tal impacto, deixando o Reator exposto ao ambiente circundante. Dado que o Grafite aquecido tem propensão à combustão espontânea, sucedeu-se um incêndio substancial, resultando na ejeção

de uma considerável quantidade do material radioativo contido nos elementos combustíveis danificados durante a explosão de vapor (CARDOSO et al., s.d).

O Brasil também foi palco de um trágico episódio envolvendo um acidente nuclear em 1987, quando uma cápsula contendo Césio-137 foi acidentalmente rompida em Goiânia. Uma cápsula contendo Césio-137 foi descoberta por dois catadores de lixo em um hospital desativado e posteriormente vendida a um ferro-velho. O rompimento do invólucro de proteção resultou na liberação do material radioativo. Devido à falta de conhecimento da população, a manipulação indevida contaminou diversas pessoas, levando ao óbito de quatro delas nos dias seguintes. Ao longo dos anos subsequentes, outras vítimas perderam a vida devido à exposição à radiação do Césio (MERÇON; VIZ QUADRAT, 2015).

O mais recente incidente nuclear significativo ocorreu alguns anos atrás na Usina Nuclear de Fukushima, situada no Japão. Em 11 de março de 2011, um terremoto seguido por um tsunami impactou o sistema de segurança da central, resultando em incêndios, explosões e, conseqüentemente, no vazamento de material nuclear. Ao contrário do desastre nuclear de Chernobyl, nos quais falhas mecânicas e até falhas humanas foram as causas, o acidente de Fukushima decorreu de uma catástrofe natural. Neste caso, as forças da natureza não conseguiram derrubar os reatores nucleares, mas a inundação acabou por desativar os sistemas de resfriamento, resultando em superaquecimento (MERÇON; VIZ QUADRAT, 2015).

A instalação nuclear é composta por seis reatores de água fervente, sendo que os reatores 4, 5 e 6 estavam em manutenção antes do terremoto. Após o abalo sísmico, os reatores restantes foram desativados automaticamente, e os geradores de emergência foram acionados para garantir o funcionamento das bombas de água essenciais ao resfriamento. Apesar de a central estar resguardada por um dique projetado para resistir a um tsunami de 5,7 metros, uma onda de 14 metros atingiu as instalações, ultrapassando a altura prevista do dique. Toda a planta, incluindo o gerador de baixa altitude, ficou submersa. Os geradores de emergência foram desligados, resultando no superaquecimento dos reatores devido à degradação do combustível nuclear (SANTOS; SOUZA, 2013).

Em resposta aos impactantes acidentes nucleares, como Chernobyl, Fukushima e o ocorrido em Goiânia, a Agência Internacional de Energia Atômica desenvolveu a Escala Internacional de Acidentes Nucleares e Radiológicos. Com o objetivo de realizar comparações e categorizações dos diversos incidentes radioativos, a Agência Internacional de Energia Atômica instituiu a Escala Internacional de Acidentes Nucleares e Radiológicos. Nessa escala, os incidentes são categorizados de 1 a 7 em uma escala ascendente de severidade, sendo o nível 7 designado para aqueles com as piores conseqüências. Até o presente momento, apenas os incidentes de Chernobyl e Fukushima receberam a classificação de nível 7 (MERÇON; VIZ QUADRAT, 2015).

2.3 Refletindo sobre a Radiação aplicada a saúde

A radiação desempenha um papel crucial na saúde, abrangendo diagnósticos, tratamentos e pesquisas médicas. A utilização dos raios-X em diagnósticos, a aplicação da radioterapia no combate ao câncer e o uso de radioisótopos na Medicina Nuclear são aspectos essenciais. Apesar dos benefícios, questões éticas, limites de exposição e preocupações com a radioproteção permeiam essas aplicações.

A relevância do radiodiagnóstico para a saúde tornou-se evidente imediatamente após sua descoberta. Em 1896, exames radiográficos já eram conduzidos em várias

nações da Europa, América e Ásia, abarcando distintas regiões anatômicas, incluindo, mas não se limitando a cabeça, pescoço, tórax, pulmão, mediastino, coração, pâncreas, baço, rim e intestino, tanto com como sem o uso de contraste. A rápida expansão do uso dessas técnicas em diversas regiões do mundo demonstra a aceitação generalizada e a necessidade urgente de ferramentas que permitissem a visualização interna do corpo humano (NAVARRO, 2009).

Nos organismos vivos, quando a radiação ionizante interage com órgãos ou tecidos, ela desencadeia, inicialmente, efeitos físicos, seguidos por efeitos químicos e, por fim, efeitos biológicos. Quando atinge uma célula, a radiação pode provocar ionização direta em uma molécula específica ou ionizar a água presente na célula, originando radicais livres. Esses radicais livres, por sua vez, reagem com a molécula-alvo, desencadeando uma série de processos (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

A radiação ionizante, ao penetrar em um material, pode induzir alterações nos átomos e moléculas, ao mesmo tempo em que ela própria experimenta atenuação. Essas propriedades são exploradas em diversas aplicações na área da Saúde, como diagnósticos, tratamentos, esterilização de instrumentos médicos e alimentos, bem como no controle de insetos vetores de doenças. A seleção cuidadosa de radioisótopos leva em consideração a energia e a meia-vida ideais para cada aplicação específica (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

Enquanto os países desenvolvidos implementavam extensivamente o radiodiagnóstico, inclusive iniciando programas de monitoramento e triagem, as populações dos países em desenvolvimento ainda careciam de acesso às tecnologias mais básicas da radiologia diagnóstica. A disparidade no acesso a esses avanços médicos ressalta as desigualdades existentes entre as nações, afetando diretamente na qualidade e na disponibilidade dos serviços de saúde para diferentes segmentos da sociedade global (NAVARRO, 2009).

Na década de 1980, os dispositivos de raios-X, mamografia, tomografia, fluoroscopia, negatoscópios e processadoras atingiram patamares significativos de qualidade e segurança. Esse avanço permitiu a realização de exames mais rápidos, com imagens de melhor qualidade, proporcionando conforto e segurança tanto para os pacientes quanto para a equipe técnica. O período marcou um notável desenvolvimento na tecnologia médica, contribuindo para a eficiência e eficácia dos procedimentos radiológicos (NAVARRO, 2009).

Além das inegáveis aplicações na área médica, os profissionais da Saúde rapidamente reconheceram o potencial dessa radiação para a terapia, ou seja, o tratamento de tumores malignos, proporcionando soluções para problemas que anteriormente só poderiam ser abordados por meio de intervenção cirúrgica (LIMA; AFONSO; PIMENTEL, 2009).

A esterilização de instrumentos hospitalares ou alimentos pode ser realizada por meio da radiação gama, que elimina as células dos micro-organismos presentes no material. Esse método não altera a temperatura do material, preservando as suas características. A irradiação é efetuada por aceleradores raios X de alta energia ou fontes de Cobalto-60 raios gama (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

A irradiação de sangue para transfusão com fontes de Cobalto-60 é uma prática realizada para eliminar linfócitos em baixas doses, evitando rejeição pelo paciente receptor. Doses mais elevadas são empregadas para eliminar micro-organismos, embora seja necessário tomar precauções para não prejudicar componentes vitais do sangue, como manter o material congelado durante o processo de irradiação (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

A Medicina Nuclear representa uma disciplina na área médica na qual os profissionais de Saúde empregam materiais radioativos para propósitos de diagnóstico e tratamento de pacientes. Nesse contexto, doses controladas e seguras de materiais radioativos, conhecidos como traçadores, são administradas aos pacientes. Esses traçadores percorrem órgãos e tecidos vivos, permitindo a aquisição de imagens que desempenham um papel crucial em procedimentos diagnósticos. Quando esses traçadores são conjugados a medicamentos, por exemplo, para o tratamento de lesões, são denominados radiofármacos (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020). A Medicina Nuclear destaca-se pela abordagem funcional, que se concentra na avaliação da função dos órgãos e tecidos, distinguindo-se de técnicas que focam principalmente na estrutura. Enquanto outras técnicas fornecem imagens estruturais, a Medicina Nuclear visa identificar alterações em processos metabólicos e funcionais antes de manifestarem problemas estruturais avançados, compreendendo o funcionamento interno do organismo (BUSHBERG et. al.; 2002).

Desde os primeiros dias da incorporação dos raios-x na vida cotidiana, alguns reconheciam os reais perigos daquela radiação ainda pouco compreendida. No entanto, o fascínio que ela exercia na maioria das pessoas levava muitos a negligenciar os riscos associados à exposição descuidada. Além disso, a falta de experiência prévia com essa forma de radiação resultou em, inicialmente, descrever as queimaduras causadas por ela como de natureza *elétrica*, devido ao uso do equipamento gerador também na Medicina Eletroterapêutica (LIMA; AFONSO; PIMENTEL, 2009).

2.3.1 Apresentando alguns Exames de imagens

2.3.1.1 Radiografia / Raio X

Os progressos científicos no final do século XIX e início do século XX ocasionaram transformações substanciais nos paradigmas teóricos e aplicados às Ciências Naturais e à Medicina. A descoberta pioneira dos raios-X, em particular, representou uma inovação crucial prontamente integrada às práticas médicas. Esta revelação, atribuída a Röntgen, possibilita uma visualização não invasiva do interior do corpo humano, provocando alterações significativas nos domínios da Anatomia e Fisiologia Humana (NAVARRO, 2009).

Antes do advento dos raios-X, o exame do interior do corpo humano dependia, em grande medida, de incisões, geralmente realizadas em cadáveres, com a compreensão funcional dos órgãos baseada predominantemente na imaginação. A descoberta revolucionária de Röntgen, em 1895, inaugurou novas perspectivas para estudos anatômicos, radiográficos e fisiológicos-fluoroscópicos, transformando radicalmente a abordagem médica ao possibilitar uma visualização interna sem procedimentos invasivos (NAVARRO, 2009).

Os raios X viabilizam a aquisição de uma radiografia, representando uma técnica unidimensional que revela a estrutura interna de objetos ou organismos. Na área médica, essas aplicações englobam a identificação de fraturas ósseas, patologias pulmonares como a pneumonia, obstrução de vasos sanguíneos e determinados tipos de neoplasias, a exemplo do câncer pulmonar e mamário. Uma aplicação menos convencional, porém com muita relevância, consiste na localização de materiais inseridos no corpo humano (SANTOS, 2020).

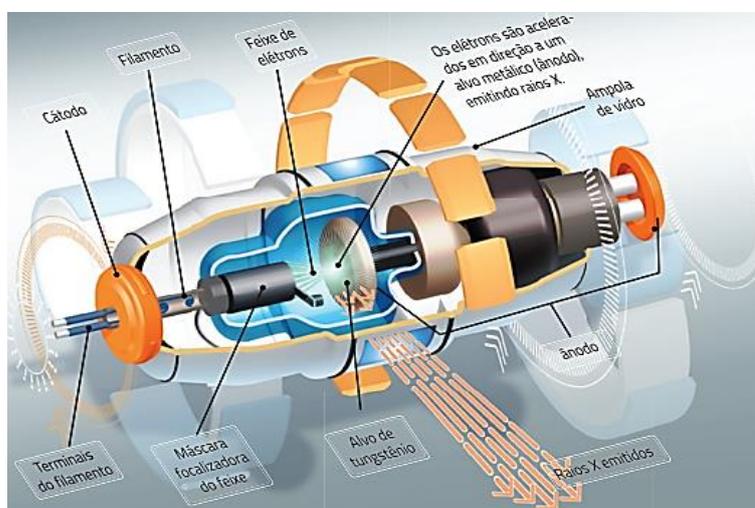
Radiações ionizantes, exemplificadas pelos raios-X, apresentam energia capaz de ionizar átomos, equiparando-se às radiações provenientes de elementos

radioativos. Distinta pela frequência e, portanto, energia, a natureza ondulatória dos raios-X, classificados como ondas eletromagnéticas, permite a ionização dos átomos (NAVARRO, 2009).

A precisão no direcionamento dos feixes de raios-X para órgãos específicos, com proteções dedicadas para evitar dispersão indesejada, é uma prática fundamental na Radiologia Diagnóstica. A atenuação diferencial, relacionada à densidade do órgão sob exame, contribui para a obtenção de imagens nítidas e informativas (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

Na Figura 1, encontra-se um esquema elucidativo das emissões de raios X, destacando componentes fundamentais do processo. Detalhes como o cátodo, filamento, feixe de elétrons e a ampola de vidro são meticulosamente representados, proporcionando uma compreensão visual do funcionamento por trás das emissões de raios X.

Figura 1 — Esquema das emissões de Raio-X



Fonte: (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020, p.110)

Na aplicação do processo, a eletricidade é empregada para aquecer o cátodo, promovendo a emissão de elétrons com velocidade elevada. Estes elétrons, ao colidirem com o ânodo, originam radiação. Ao penetrar o corpo humano, essa radiação evidencia os elementos de maior densidade, como os ossos, os quais se apresentam em tonalidade mais clara nas imagens radiográficas, enquanto os materiais menos densos exibem tonalidades mais escuras (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020). A Figura 2 ilustra visualmente esse processo na prática, com ênfase em uma radiografia do tórax, proporcionando uma compreensão mais detalhada de sua aplicação clínica.

Em contextos mais avançados, a substituição das tradicionais chapas fotográficas por detectores cintiladores representa uma significativa evolução tecnológica na radiologia. Os detectores cintiladores são dispositivos sensíveis que convertem informações provenientes da interação dos raios-X com o paciente em sinais digitais, os quais são então processados por algoritmos e técnicas digitais avançadas. Esses sinais digitais são posteriormente utilizados na reconstrução da imagem radiográfica, resultando na formação de imagens de alta resolução e detalhamento. Essas imagens podem ser visualizadas diretamente em telas de computadores, proporcionando aos profissionais de saúde uma análise mais precisa e eficiente das estruturas anatômicas e patológicas (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

Figura 2 — Raio-X do tórax

Fonte: (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020, p.110)

2.3.1.2 Mamografia

De acordo com Navarro (2009), em 1966, foi desenvolvido o primeiro equipamento específico para mamografia. A mamografia é um procedimento de imagem médica direcionado à avaliação da mama, utilizando raios X de baixa dose para a obtenção de imagens detalhadas do tecido mamário. Este exame desempenha um papel crucial na detecção precoce de possíveis anormalidades, tais como tumores ou outras irregularidades, possibilitando o diagnóstico precoce do câncer de mama.

De acordo com as orientações estabelecidas nas Diretrizes para a Detecção Precoce do Câncer de Mama no Brasil (MIGOWSKI, A. et al. 2018), a recomendação é que o rastreamento mamográfico seja disponibilizado para mulheres entre 50 e 69 anos de idade, a cada dois anos. Essa faixa etária e frequência foram determinadas com base na avaliação do equilíbrio entre os riscos e benefícios do procedimento de rastreamento.

2.3.1.3 Tomografia Computadorizada

A tomografia computadorizada por raios-X (TC), introduzida na prática clínica em 1972, revolucionou as modalidades de imagem médica ao possibilitar a geração de imagens em fatias de alta resolução. Essa técnica permitiu a reconstrução computacional de imagens a partir de dados adquiridos durante a varredura e sua representação digital, marcando um marco significativo na história da medicina diagnóstica. Ao longo das décadas, a TC tem continuamente avançado em termos de tecnologia, desempenho e aplicação clínica, desafiando previsões iniciais que sugeriam sua obsolescência em favor da ressonância magnética (KALENDER, 2006).

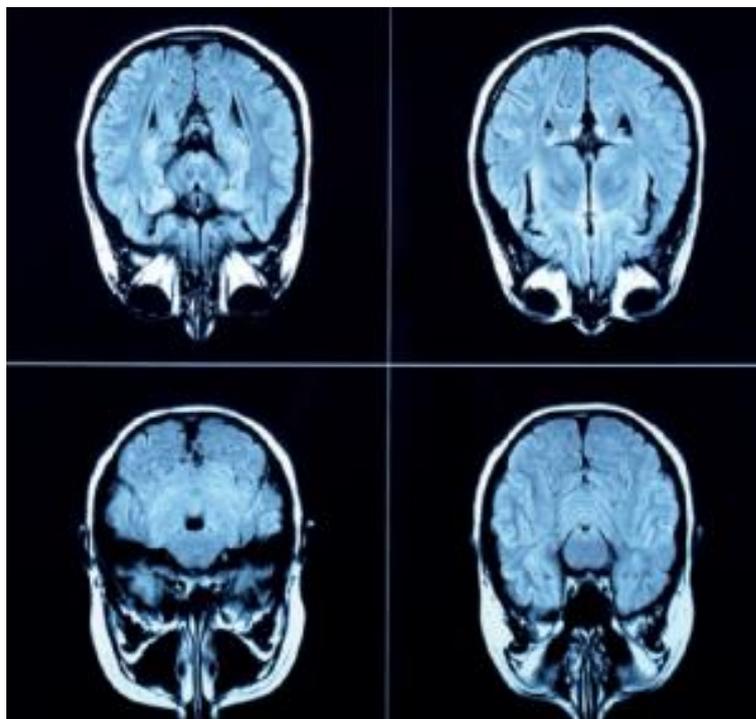
A introdução de avanços como a varredura espiral e a adoção de detectores de matriz tem impulsionado ainda mais o potencial diagnóstico da TC, permitindo a aquisição rápida de imagens detalhadas de órgãos e estruturas anatômicas em alta resolução, promovendo assim um impacto significativo na prática médica contemporânea (KALENDER, 2006).

A Figura 3 apresenta uma representação gráfica de uma máquina de tomografia computadorizada, um dispositivo avançado amplamente utilizado em diagnósticos médicos para obter imagens detalhadas do interior do corpo humano.

Figura 3 — Tomógrafo

Fonte: (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020, p.111)

Na Figura 4, apresenta-se uma tomografia computadorizada do crânio humano, proporcionando uma visão detalhada das estruturas cranianas.

Figura 4 — Tomografia computadorizada de um paciente

Fonte: (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020, p.111)

2.3.1.4 Pet Scan

Outro método empregado no campo do radiodiagnóstico é conhecido como PET (Tomografia por Emissão de Pósitrons, em inglês, Positron Emission Tomography). Nessa técnica, um radioisótopo emissor de pósitrons é introduzido no paciente, e o pósitron emitido aniquila-se com um elétron nas proximidades, originando dois fótons

com energia de 0,511 MeV cada um (relativos à aniquilação da massa de um elétron e um pósitron). Esses fótons se dispersam em direções opostas e podem ser detectados por meio da câmara de cintilação, popularmente referida como PET SCAN (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

Os raios gama possibilitam a produção de uma representação fisiológica de órgãos internos por meio da utilização de radiofármacos. Esses compostos, formados pela incorporação de radioisótopos emissores de gama em moléculas específicas, são introduzidos no paciente por vias como intravenosa, intramuscular ou oral. Esses radiofármacos têm uma afinidade preferencial por determinados órgãos, permitindo a obtenção de imagens que revelam características funcionais dessas estruturas (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

Um exemplo comum de radiofármaco é o 2-deoxi-2-[18F]fluoro-D-glicose (FDG), que é um análogo da glicose. Quando administrada ao paciente por via intravenosa, a FDG concentra-se em órgãos que utilizam glicose, como o cérebro para funções sinápticas, os músculos para movimento, células com crescimento acelerado, como as cancerosas, ou em áreas inflamadas. Regiões com concentração de FDG apresentam uma emissão mais intensa de pares de fótons, detectados por cintiladores com circuito de coincidência. Após a administração, é recomendado que o paciente permaneça em repouso por cerca de uma hora para evitar a acumulação de FDG nos músculos, além de manter um ambiente silencioso e com penumbra para prevenir a concentração excessiva no cérebro (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

2.3.2 Conhecendo a Radioterapia

A terapia por radiação, conhecida como radioterapia, consiste na aplicação controlada de radiações ionizantes ou isótopos radioativos, notadamente o cobalto-60. Essas radiações são precisamente direcionadas para áreas teciduais afetadas, visando a eliminação de células cancerígenas. Apesar de sua eficácia, a radioterapia pode desencadear efeitos colaterais, incluindo a formação de moléculas instáveis. Essas moléculas podem interagir com outros componentes celulares, resultando em danos, com o DNA sendo o alvo mais suscetível. A integridade do DNA pode ser restaurada ou não, sendo que, no último caso, a morte de células saudáveis pode ocorrer, não se limitando apenas às células cancerígenas (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020).

A radioterapia é uma abordagem terapêutica amplamente utilizada no tratamento do câncer, empregando diversas técnicas e tecnologias para administrar doses precisas de radiação às áreas afetadas. Essa modalidade terapêutica pode ser realizada por meio de fontes externas ao corpo (teleterapia), fontes inseridas diretamente na área a ser irradiada (braquiterapia) ou ainda através da administração de doses internas por meio de radiofármacos. (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

Na Figura 5, é possível visualizar uma máquina de radioterapia, destacando a complexidade e sofisticação desses equipamentos utilizados na administração precisa e controlada das doses de radiação durante o tratamento de tumores.

A prática da radioterapia, embora eficaz no combate a células cancerígenas, pode acarretar sequelas ao paciente, uma vez que a seletividade na irradiação exclusiva das células doentes ainda não é plenamente alcançada. Nesse processo, verifica-se a inevitável perda de células saudáveis e tecidos adjacentes à área irradiada. Como consequência desse fenômeno, podem manifestar-se efeitos colaterais, incluindo, mas não se limitando à, fadiga, náuseas, vômitos e alopecia (SANTOS, 2020).

Figura 5 — Aparelho de radioterapia



Fonte: (GODOY; AGNOLO; C. MELO, 2020, p.112)

2.4 A Radioatividade no Ensino: integrando conhecimentos de Física em uma abordagem CTSA

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece as competências e habilidades que os estudantes brasileiros devem desenvolver ao longo da Educação Básica, abrangendo aspectos de diversas disciplinas, incluindo a Física. No contexto específico do ensino de Física, a BNCC destaca a importância de promover uma abordagem interdisciplinar, conectando os conhecimentos científicos às aplicações práticas e à compreensão do mundo real (BRASIL, 2018).

Segundo BRASIL (2018), apresentando a BNCC, preconiza que o ensino de Física deve propiciar a compreensão dos conceitos fundamentais dessa ciência, relacionando-os com a realidade cotidiana e promovendo a capacidade dos estudantes de analisar criticamente fenômenos naturais e tecnológicos. Além disso, a BNCC destaca a relevância de desenvolver a autonomia, a criatividade, o raciocínio lógico e a capacidade de resolver problemas, habilidades essenciais que podem ser aprimoradas por meio de uma abordagem que integre a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA).

O ensino de física desempenha um papel fundamental no desenvolvimento crítico dos estudantes, sendo imperativo adotar uma abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) que harmonize os conhecimentos científicos com o contexto cotidiano dos alunos. Tal integração propicia uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos físicos, ao estabelecer conexões entre os fenômenos estudados em sala de aula e suas aplicações práticas na sociedade. Dessa maneira, a abordagem CTSA contribui para a formação de indivíduos capacitados não apenas na compreensão teórica, mas também na aplicação dos princípios físicos em situações do dia a dia, promovendo, assim, um ensino verdadeiramente integrado e enriquecedor.

Portanto, destaca-se a imperatividade de fomentar uma educação abrangente e significativa, almejando integrar diversas dimensões ao conhecimento. Isso se concretiza por meio da exploração de uma variedade de questões, propiciando a compreensão do papel, das implicações e da origem da Ciência e Tecnologia, assim

como a relação recíproca entre ambas e a Sociedade. Ademais, tal abordagem visa a formação de cidadãos críticos e informados. Estas características convergem com a tendência teórica e metodológica da Educação em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (CORRÊA; SOUZA; CASTRO, [s.d]).

A Física representa uma herança da humanidade. Adquirir conhecimentos em Física é um direito da cidadania e pode tornar-se uma experiência envolvente e cativante. Contudo, para alcançar esse objetivo, é essencial que o ensino, tradicionalmente formalista e centrado na narrativa do professor e em listas de problemas, passe por transformações significativas (MOREIRA 2021).

Portanto, ao alinhar o ensino de Física com os princípios da BNCC, os educadores são incentivados a adotar estratégias que contextualizam os conceitos físicos no âmbito da CTSA, proporcionando aos estudantes uma aprendizagem mais significativa e alinhada com as demandas contemporâneas (BRASIL, 2018).

3 METODOLOGIA

A nossa investigação adotou uma abordagem de pesquisa qualitativa, fundamentada na compreensão aprofundada e interpretação significativa dos fenômenos estudados. Conforme afirmado por Bogdan e Biklen (1994), a pesquisa qualitativa busca capturar a complexidade inerente aos contextos sociais, explorando as experiências, percepções e significados atribuídos pelos participantes. A escolha por esse método proporcionou uma compreensão mais rica e contextualizada do objeto de estudo, permitindo a análise detalhada de padrões, relações e aspectos subjetivos.

Neste estudo, uma intervenção didática foi realizada com duração de 1 hora e 30 minutos. A intervenção foi conduzida com o objetivo de explorar as aplicações da radioatividade na Sociedade, destacando a importância dessas aplicações. A amostra para esta pesquisa foi composta por 18 alunos do curso pré-militar².

A faixa etária dos participantes está compreendida entre 15 e 18 anos, abrangendo alunos desde o 9º ano do Ensino Fundamental até o 3º ano do Ensino Médio. A escolha dessa amostra específica proporcionou uma representação de diferentes estágios de formação educacional, enriquecendo a análise dos resultados obtidos.

A intervenção foi dividida em três momentos: *Sondagem dos conhecimentos prévios, Aula expositiva e a Aplicação do QUIZ.*

O primeiro momento da intervenção consistiu em uma conversa em que os participantes foram convidados a expressar suas percepções sobre o tema por meio de uma dinâmica envolvendo a criação de uma nuvem de palavras (sondagem do conhecimento prévio numa abordagem CTSA). Durante essa etapa, a palavra-chave *radiação* ou *radioatividade* foi apresentada como ponto de partida, permitindo que os participantes contribuíssem com associações, conceitos e ideias relacionadas ao tema. A partir das respostas dos estudantes, que revelaram associações predominantes com os acidentes nucleares, como Fukushima, e aplicações em procedimentos médicos, como o uso de raio-X, encerrou-se essa etapa da aula e foi iniciado um outro momento: a aula expositiva.

² Curso preparatório para jovens ingressarem nas forças armadas, localizado na cidade de Arcoverde - Pernambuco.

A aula expositiva foi realizada utilizando a ferramenta Google Slides³, para apresentar a História da Radiação, seus conceitos fundamentais, as diferentes partículas envolvidas e suas variadas aplicações na área da Saúde, Indústria, Agricultura e Geração de Energia. Além disso, abordamos a relevância da radioatividade na datação de fósseis. Durante a exposição, foram discutidos também os acidentes nucleares notórios, como Fukushima, Goiânia e Chernobyl, e os impactos que a radiação pode ter no corpo humano⁴.

Ao longo da aula, foram apresentadas questões instigantes aos participantes, visando promover uma reflexão mais profunda sobre as temáticas abordadas, como exposto no Quadro 1.

Quadro 1 — Perguntas realizadas durante a aula expositiva

PERGUNTA	OBJETIVO
Você comeria alimento irradiado?	Identificar se o aluno acredita que há riscos à saúde ao ingerir alimento que tenha sido exposto à radiação.
O que você acharia se construísse uma usina nuclear em sua cidade?	Constatar se o aluno é capaz de identificar os impactos sociais, ambientais e econômicos da instalação de uma usina nuclear local.
O que vocês entendem por radioatividade?	Verificar o conhecimento prévio do aluno.
Você considera a radioatividade como algo importante para a sociedade, ou acredita que poderíamos viver sem ela?	Refletir sobre a importância da radioatividade para a sociedade, incentivando a expressão de opiniões.

Fonte: Autoria Própria (2023)

Ao fim da aula expositiva foi solicitado aos estudantes que respondessem uma atividade no formato de *quiz* como forma de avaliação⁵ do processo de ensino-aprendizagem, utilizando a plataforma Quizizz⁶. Esse momento permitiu a verificação do entendimento dos alunos em relação aos temas abordados, promovendo uma interação dinâmica e estimulando a retenção do conhecimento. A abordagem combinada de atividades interativas, aula expositiva e avaliação por meio de um Quiz buscou proporcionar uma experiência avaliativa e participativa sobre as aplicações e a importância da radioatividade na Sociedade.

O quiz foi composto por 12 perguntas de múltipla escolha, cada uma contendo quatro alternativas, com apenas uma correta. No Quadro 2 estão descritas algumas das questões utilizadas na avaliação do quiz, suas alternativas e o objetivo pretendido com sua aplicação⁷.

Quadro 2 — Algumas das perguntas do Quiz

PERGUNTA	ALTERNATIVAS	OBJETIVO
----------	--------------	----------

³ Plataforma online de apresentação de slides

⁴ Slide disponível para consulta em: <[A importância da radioatividade para a sociedade.pptx](#)>

⁵ Foi realizada uma avaliação contínua, durante toda a intervenção, observando-se a participação e o engajamento dos estudantes e suas concepções sobre o tema da aula; a Aplicação do quiz foi realizada no sentido de aferir o processo de ensino-aprendizagem, está por sua vez, caracterizada como formativa (BARREIRA; BOAVIDA; ARAÚJO, 2006).

⁶ Software usado para criar e responder.

⁷ Quiz disponível para consulta em:

<https://quizizz.com/admin/quiz/6565136ffe802f870050744a?source=quiz_share>

Qual dos seguintes métodos de aplicação de radioatividade está sendo amplamente utilizado na medicina para tratamento de câncer?	a) Datação por carbono-14 b) Fissão nuclear c) Fusão nuclear d) Radioterapia (resposta correta)	Verificar o entendimento do estudante sobre a relevância da radioatividade.
O que é radioatividade?	a) A radioatividade é a capacidade de um material emitir partículas ou ondas eletromagnéticas. b) A radioatividade é a capacidade de um material ser usado para gerar energia elétrica. c) A radioatividade é a liberação de energia de um núcleo atômico. (resposta correta) d) A radioatividade é a capacidade de um material causar danos à saúde humana.	Verificar se os estudantes eram capazes de identificar qual o conceito de radioatividade.
Quais são exemplos de radiação não ionizante?	a) Raio X e raios gama. b) Luz visível, infravermelha e laser (resposta correta) c) Partículas alfa e beta. d) Nêutrons	Avaliar o nível de conhecimento dos estudantes sobre a presença das radiações não ionizantes no cotidiano.
Qual dos símbolos abaixo representa a radioatividade?	a)  (resposta correta) b)  c)  d) 	Verificar se os estudantes conseguem identificar o símbolo da radioatividade.
Qual é o símbolo internacional que identifica alimentos irradiados?	a)  (resposta correta) b)  c)  d) 	Verificar se os estudantes conseguem identificar o símbolo para alimentos irradiados

Fonte: Autoria Própria (2023)

Esta etapa da intervenção foi realizada remotamente e os estudantes contaram com um prazo de 10 dias para responder a atividade através da plataforma Quizizz. Esse prazo foi dado devido ao esgotamento do tempo de aula presencial, provocado por uma maior participação dos estudantes durante a intervenção. No total, 15 estudantes responderam o quiz, e 3 acessaram a plataforma, mas não responderam nenhuma questão, cujos resultados serão abordados no próximo tópico.

A intervenção buscou não apenas transmitir informações, mas também promover a reflexão crítica dos participantes sobre a presença e o impacto da radioatividade em diversas esferas da vida.

É crucial ressaltar que esta pesquisa não tem a pretensão de realizar um aprofundamento nos temas da Física Moderna das radiações. Em vez disso, buscamos desenvolver um conhecimento científico acessível, muitas vezes não disponibilizado no ambiente escolar.

A abordagem adotada nesta intervenção evidencia uma perspectiva alinhada com a metodologia CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente). Ao buscar não apenas a transmissão de informações, mas também fomentar a reflexão crítica dos participantes sobre a presença e os impactos da radioatividade em diferentes esferas da vida, a intervenção promove uma conexão entre os conceitos científicos e seu contexto social e ambiental.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Conforme detalhado na Metodologia, a intervenção didática foi conduzida com uma turma composta por 18 estudantes, com o propósito claro de ampliar e aprofundar o conhecimento científico dos participantes. O objetivo primordial era estimular o desenvolvimento de suas habilidades cognitivas, proporcionando uma experiência educativa enriquecedora. A seleção dessa amostra específica visava não apenas representar diferentes estágios de formação educacional, abrangendo alunos do 9º ano do Ensino Fundamental ao 3º ano do Ensino Médio, mas também promover uma diversidade de perspectivas e experiências entre os participantes.

No decorrer da intervenção, os discentes foram submetidos a conteúdos cientificamente pertinentes à Sociedade, frequentemente negligenciados nos currículos convencionais. Esta abordagem visou não somente a transmissão de informações, mas também a instigação do desenvolvimento de habilidades críticas, analíticas e de pensamento reflexivo, por meio da aplicação prática desses conhecimentos, aliada à participação ativa dos estudantes.

Nos próximos tópicos, será detalhadamente apresentado os resultados obtidos no processo da intervenção didática, juntamente com os resultados obtidos pela aplicação do questionário. A descrição dessas etapas visa proporcionar uma visão do desenvolvimento da intervenção, destacando a abordagem pedagógica empregada e os desafios encontrados durante a aplicação do quiz. Serão discutidos os métodos utilizados para envolver os participantes, as estratégias de comunicação empregadas e como a interatividade foi incorporada para promover uma experiência educativa enriquecedora. Além disso, serão abordadas as adaptações necessárias em resposta a eventuais contratemplos, oferecendo uma análise reflexiva do processo e suas implicações para os resultados obtidos.

4.1 Refletindo sobre a Intervenção didática

A intervenção pedagógica exibiu resultados positivos, evidenciados pelo engajamento ativo dos alunos desde o início da atividade, caracterizada por uma dinâmica de *chuva de palavras*. Empregou-se uma ferramenta fundamentada nos princípios da abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) para investigar o conhecimento prévio dos estudantes em relação ao tema em questão. Notavelmente, ao serem questionados sobre as palavras *radiação* ou *radioatividade*, a maioria das respostas destacou associações com eventos negativos, como *acidentes nucleares* e *bomba atômica*. Surpreendentemente, apenas um aluno mencionou a aplicação médica do raio-X.

No segundo momento, durante a exposição dos conteúdos, os estudantes mantiveram uma participação ativa nas interações propostas. Ao serem indagados sobre suas opiniões em relação a construção de uma Usina Nuclear na cidade, as respostas foram diversificadas e estimularam debates enriquecedores. Um aluno expressou otimismo ao afirmar que isso seria benéfico para a economia local. No entanto, a discussão ganhou complexidade quando outro aluno alertou para os riscos significativos de acidentes associados à usina. Em um momento de confrontação de ideias, um estudante destacou a possibilidade de resistência da população devido ao estigma relacionado à radiação, frequentemente associada a acidentes radioativos.

Esse posicionamento reflete a percepção de que a criação da usina nuclear enfrentaria resistência e preconceito por parte da comunidade. Essa variedade de perspectivas proporcionou um ambiente rico para o debate e enriqueceu a compreensão dos alunos sobre as complexidades envolvidas na temática da radiação e suas aplicações para a Sociedade.

Exploramos ainda a percepção sobre a aceitação de alimentos irradiados, e todos os participantes afirmaram que consumiriam esses alimentos sem hesitação. Essas interações proporcionaram uma compreensão mais aprofundada das percepções dos alunos sobre assuntos relacionados à radioatividade e evidenciaram a complexidade das atitudes sociais em relação a essas temáticas.

O quiz representou uma oportunidade para avaliar a compreensão dos alunos após toda a exposição. Funcionou como uma ferramenta de avaliação complementar aos diálogos durante a intervenção. Inicialmente, a proposta era que os estudantes respondessem ao quiz logo após a exposição dos conteúdos; no entanto, devido à limitação de tempo, foi estabelecido um prazo para que pudessem responder em casa.

O aspecto desfavorável decorrente da realização assíncrona do quiz pelos estudantes reside na reduzida adesão, contrariando a usual participação ativa observada no ambiente presencial. Essa discrepância pode ser atribuída a complexidade adicional quando as atividades são propostas para execução fora do contexto da sala de aula. Além disso, identifica-se uma oportunidade de melhoria relacionada ao tempo de intervenção, uma vez que, apesar da integralidade da aula expositiva, nos últimos 15 minutos da aula, foi observada uma necessidade de acelerar o encerramento da intervenção devido às restrições de tempo, como também mencionado em relação a condução do quiz.

Mesmo diante de desafios identificados após a intervenção, é notável a significativa contribuição da integração de temas físicos presentes na sociedade contemporânea para o desenvolvimento crítico dos estudantes como cidadãos. Esse momento de interação proporciona a formação das bases científicas dos alunos, promovendo uma compreensão mais ampla e crítica do papel da Física em contextos sociais e contribuindo para o letramento científico dos estudantes.

4.2 Refletindo sobre o Quiz

O quiz foi proposto como parte da experiência avaliativa da aula, planejado com o intuito de explorar as implicações práticas e teóricas da aula sobre radioatividade na compreensão dos participantes. Através desta avaliação, buscou-se não apenas mensurar a assimilação de informações, mas também compreender de que maneira os conceitos apresentados na aula puderam se refletir no entendimento e perspectivas dos estudantes em relação às aplicações da radioatividade em diversos

contextos do cotidiano. Essa abordagem avaliativa contribui ao objetivo de promover uma educação conectada e contextualizada com as demandas da sociedade.

A avaliação do conhecimento dos estudantes por meio do quiz contou com a participação de 15 alunos. A seguir, apresentaremos os resultados obtidos em cada questão, destacando o número de acertos e erros. É relevante destacar que, mesmo sendo uma análise quantitativa, o foco principal reside em oferecer percepções e orientações, considerando a modesta dimensão da amostra. Essa análise preliminar servirá como um ponto de partida para intervenções futuras, ciente de suas limitações estatísticas.

A análise dos resultados referentes a Questão 1: "Qual dos seguintes métodos de aplicação de radioatividade está sendo amplamente utilizado na medicina para tratamento de câncer?", 93,33% acertaram. Os resultados mostram uma alta taxa de acertos, refletindo um entendimento sólido dos estudantes sobre a aplicação da radioatividade na Medicina para o tratamento do câncer. A porcentagem de acertos é bastante expressiva, indicando bom rendimento na abordagem do tema durante a intervenção.

A análise da Questão 2: "Qual das emissões radioativas tem o maior poder de penetração?" revelou um desempenho positivo da maioria dos participantes, 93,33% acertaram a questão. Esses resultados indicam uma compreensão satisfatória por parte dos alunos sobre as características das emissões radioativas em relação ao poder de penetração.

A análise da Questão 3: "A radioatividade tem muitas aplicações na sociedade. Desde a sua descoberta, grandes avanços científicos foram alcançados gerando desenvolvimento tecnológico. Qual dos cientistas abaixo, revolucionou a medicina ao descobrir a existência dos raios-X?" demonstrou uma variação nas respostas dos participantes 60% acertaram a questão. Essa questão aborda a contribuição de um cientista específico para a Medicina, e os resultados refletem diferentes níveis de conhecimento sobre esse aspecto.

A análise da Questão 4: "Os raios X e raios gama são formas de radiação?" revelou que 66,67% dos participantes acertaram a resposta. Isso indica um entendimento correto por parte dos estudantes sobre as formas de radiação. No entanto, é essencial destacar que um terço dos participantes apresentou dificuldade em identificar corretamente essas formas de radiação. Essa informação pode ser valiosa para orientar ajustes no ensino desses conceitos específicos em futuras intervenções educacionais.

A análise da Questão 5: "Qual material causou o maior acidente radioativo que se tem conhecimento no Brasil?" revela um desempenho abaixo do esperado, com 46,67% dos participantes acertando a resposta. A expectativa de uma resposta mais positiva, considerando que se trata de um incidente significativo no Brasil (o acidente de Goiânia), não foi atendida. Isso sugere uma possível falta de conhecimento sobre eventos nucleares cruciais na história do país. Recomenda-se uma abordagem mais aprofundada sobre eventos nucleares locais em futuras intervenções educacionais para fortalecer o entendimento dos estudantes sobre questões nucleares no contexto brasileiro.

A análise da Questão 6: "Qual é o principal órgão responsável pelo controle do uso da radioatividade no Brasil?" indica um desempenho positivo por parte dos participantes, com 93,33% dos estudantes acertando a resposta correta. A elevada taxa de acertos sugere um conhecimento adequado sobre a instituição brasileira responsável pelo monitoramento e controle do uso da radioatividade.

A análise da Questão 7: "Qual é o símbolo internacional que identifica alimentos irradiados?" revela um desempenho sólido por parte dos estudantes, com 86,67% acertando a resposta. Essa taxa de acertos demonstra um nível satisfatório de conhecimento sobre o símbolo internacional associado a alimentos irradiados. A porcentagem de acertos indica que a maioria dos participantes está familiarizada com a simbologia utilizada para identificar produtos submetidos à irradiação.

A análise da Questão 8: "O que é radioatividade?" indica uma distribuição equilibrada nas respostas, com 53,33% dos estudantes acertando. O desempenho relativamente equilibrado pode sugerir que o conceito de radioatividade apresenta um nível intermediário de compreensão entre os participantes. A divisão de respostas pode indicar que, embora uma parte dos estudantes tenha uma compreensão satisfatória do conceito, outra parcela podem necessitar de maior esclarecimento ou aprofundamento nessa área específica. Considerando essa variação, estratégias pedagógicas podem ser ajustadas para abordar de maneira mais adequada o entendimento conceitual da radioatividade durante intervenções futuras.

A análise da Questão 9: "Dentre as principais doenças causadas pelo excesso de exposição à radiação, a mais letal é?" revelou um desempenho satisfatório por parte dos estudantes, com 66,67% acertando. No entanto, é notável que todos os participantes que erraram e escolheram a síndrome da radiação como resposta. Isso pode indicar uma possível confusão na interpretação da pergunta ou falta de clareza sobre os diferentes efeitos da exposição à radiação. Considerando esse resultado, sugere-se uma revisão e esclarecimento da questão para garantir uma compreensão mais precisa nas intervenções futuras.

A análise da Questão 10: "Exemplos de radiação não ionizante" indica um desempenho menos favorável, com 46,67% dos estudantes acertando. Esta foi a única questão em que o número de erros superou o número de acertos. Isso pode sugerir uma necessidade de maior ênfase ou explanação sobre o tema de radiação não ionizante em intervenções futuras. Pode ser benéfico avaliar se a elaboração das perguntas teve impacto nas dificuldades encontradas pelos estudantes ou se a maneira como o tópico foi abordado precisa ser ajustada para tornar a compreensão mais acessível.

A análise da Questão 11: "Qual o nome do elemento químico que tem o maior poder de absorção de radiação ionizante" revela um desempenho favorável, com 80% dos estudantes acertando. Esse resultado indica um bom entendimento por parte da maioria dos participantes em relação ao elemento químico com maior capacidade de absorção de radiação ionizante.

A análise da Questão 12: "Qual dos símbolos abaixo representa a radioatividade?" demonstra um excelente desempenho dos estudantes, com 100% de acertos. Esse resultado reflete um conhecimento consistente por parte dos participantes ao identificar corretamente o símbolo que representa a radioatividade.

A análise dos resultados do quiz, composto por 12 questões, oferece uma visão do entendimento dos estudantes em relação aos conceitos abordados na aula sobre radioatividade. É notável que a maior parte dos participantes demonstrou acerto em diversas questões, evidenciando um bom nível de compreensão. No entanto, vale destacar que algumas questões apresentaram um índice menor de acertos, indicando áreas específicas que podem demandar maior atenção ou revisão.

Esta variação nos resultados sugere que, enquanto determinados temas foram assimilados de maneira satisfatória, outros podem necessitar de uma abordagem mais detalhada ou estratégias de ensino diferenciadas. Um ponto relevante

observado é que a maioria das questões foi respondida em menos de 30 segundos, o que pode ter impactado na compreensão dos estudantes, resultando em algumas respostas incorretas.

A análise individual de cada questão e o entendimento das respostas fornecem percepções para ajustes e aprimoramentos futuros, contribuindo para uma abordagem mais eficaz na compreensão dos estudantes sobre as aplicações da radioatividade na sociedade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises finais deste estudo evidenciam importantes reflexões sobre o ensino nas escolas e a relevância de abordar assuntos que têm impacto direto na sociedade.

Durante a aplicação da intervenção, tornou-se aparente que nenhum estudante presente tinha sido previamente apresentado ao tema proposto, conforme relatado pelos próprios alunos. Mesmo diante da diversidade do grupo, a constatação reforça a lacuna existente no currículo educacional, indicando que temas de relevância muitas vezes não são abordados na formação dos estudantes.

A constatação de que o tempo disponível para a aplicação da intervenção foi limitado levanta a necessidade de avaliar a eficácia do método utilizado. Ficou evidente que um tempo mais extenso seria crucial para garantir uma abordagem mais eficiente, especialmente considerando a impossibilidade de realizar o Quiz durante a aula, como inicialmente planejado. A decisão de permitir respostas assíncronas, devido às restrições de tempo, não estava prevista na metodologia, destacando a importância de um planejamento flexível.

Apesar desses desafios, o trabalho apresentou pontos positivos significativos. A oportunidade de proporcionar aos alunos um conhecimento científico que não fazia parte de seu repertório anterior contribuiu para o desenvolvimento do senso crítico. Além disso, a abordagem interativa e participativa permitiu que os estudantes se envolvessem ativamente no processo de aprendizagem, estimulando o pensamento crítico e a retenção do conhecimento. A constatação de que o trabalho teve impacto na formação dos alunos, capacitando-os a refletir sobre assuntos relevantes, é um indicativo promissor para futuras aplicações e ajustes metodológicos.

Diante dessa análise, sugere-se que futuras implementações contemplem uma extensão do tempo dedicado à intervenção, sendo um intervalo de duas horas e trinta minutos considerado adequado para explorar integralmente a aplicação da metodologia proposta. Essa extensão possibilitaria uma análise mais abrangente dos resultados obtidos. Este estudo fornece percepções valiosas que podem orientar aprimoramentos nas práticas educacionais, visando uma educação mais abrangente e conectada às demandas da sociedade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. R.; MAIA, M. S. Jr. **Ensino da Física e o cotidiano**: a percepção do aluno de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Sergipe. *Scientia Plena*, [S.l.], v. 4, p. 1-8, abr. 2008.

BARREIRA, C.; BOAVIDA, J.; ARAÚJO, N. **Avaliação formativa**: novas formas de ensinar e aprender. *Revista Portuguesa de Pedagogia*, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 95-133,

2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14195/1647-8614_40-3_4>. Acesso em: 30 jan. 2024.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.

BONFIM, Carolina Santos; STRIEDER, Roseline Beatriz. **Que estamos discutindo sobre radioatividade e energia nuclear na interface Educação CTS/Natureza da Ciência?** In: Anais do VIII Siacts, Seminário Ibero-Americano Cts, v. 8, p. 1010-1024, nov. 2022.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **CNEN NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Rio de Janeiro: CNEN, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília, 2018.

BUSHBERG, J. T.; SEIBERT, J. A.; LEIDHOLDT, E. M. J.; BOONE, J. M. **The Essential Physics of Medical Imaging**. 2 ed., USA, Lippincott Williams & Wilkins, 2002.

CARDOSO, Eliezer de Moura et al. **Apostila Educativa**. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 29 p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br>>. Acesso em: 03 jan. 2024.

CARVALHO, Regina Pinto de; OLIVEIRA, Silvia Maria Velasques De. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC, 2017. E-book (68 p.). Disponível em: <<http://portal.sbpcnet.org.br/livro/energianuclearnasaude.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2024.

CORRÊA, Sâmeli Maria Furtado; SOUZA, Jorge Raimundo da Trindade; CASTRO, George Anderson Macedo. **Abordagem CTS no conteúdo de Radioatividade**: possíveis contribuições para a participação social do educando. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/editora/anais/enpec/2023/TRABALHO_COMPLETO_EV181_MD1_ID2476_TB708_12032023162200.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

GODOY, Leandro; AGNOLO, Rosana Maria Dell; C. MELO, Wolney. **Ciências da Natureza**. São Paulo: FTD, 2020. 276 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. v.4. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

ICRP. **The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. ICRP Publication 103. Ann. ICRP, v. 37, n. 2-4, 2007.

KALENDER W. A. **X-ray computed tomography**. Physics in Medicine & Biology. 2006.

LIMA, I. H. S. de et al. **Acidente nuclear de Chernobyl**: os efeitos biológicos da radiação. Caderno de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde - UNIT - Sergipe, v. 6, n. 1, p. 107–119, 8 abr. 2020.

LIMA, Rodrigo da Silva; AFONSO, Júlio Carlos; PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira. **Raios-x**: fascinação, medo e Ciência. Revista Química Nova, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 263-270, 2009. FapUNIFESP. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000100044>>. Acesso em: 30 jan. 2024.

MERÇON, Fábio; VIZ QUADRAT, Samantha. **A radioatividade e a história do tempo presente**. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico, 10 set. 2015.

Disponível em:<

<https://comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=116&id=1394>>. Acesso em: 4 jan. 2024.

MIGOWSKI A, Silva GAE, Dias MBK, Diz MDPE, Sant'Ana DR, Nadanovsky P. **Guidelines for early detection of breast cancer in Brazil. II - New national recommendations, main evidence, and controversies.** Cad Saude Publica, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. **Desafios no ensino da Física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 1-8, 2024. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0451>>. Acesso em: 30 jan. 2024.

NAVARRO, Marcus Vinícius Teixeira. **Risco, Radiodiagnóstico e Vigilância Sanitária.** [S. l.]: Universidade Federal da Bahia, Centro Editorial e Didactico, 2009.

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes:** acidente radiológico de Goiânia. Estudos Avançados, [S.L.], v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142013000100014>>. Acesso em: 30 jan. 2024.

PRESTES, Michely; CAPPELLETTO, Eliane. **Aprendizagem Significativa no Ensino de Física das Radiações:** contribuições da Educação Ambiental. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, Rio Grande, v. 20, p. 180-194, jan. 2008.

ROSA, Cleci Werner da; ROSA, Álvaro Becker da. **Ensino de Física:** objetivos e imposições no ensino médio. Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 1-18, 2005.

SANTOS, P. N. C.; SOUZA, V. L. B. **Fukushima:** após um ano do acidente, quais as influências nos meios: físico, biológico e antropogênico? Caderno de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde - UNIT - Pernambuco, v. 1, n. 1, p. 67–73, 2013.

SANTOS, Kelly Cristina dos (ed.). **Diálogo Ciências da Natureza e suas Tecnologias.** São Paulo: Moderna, 2020. 268 p.

XAVIER, A. M. et al. **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais.** Revista Química Nova, v. 30, p. 83–91, 1 fev. 2007.