



**UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL**

MAXWEL DA SILVA DIAS

**SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA ABORDAR A FISSÃO
NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO**

**RECIFE
2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL**

MAXWEL DA SILVA DIAS

**SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA ABORDAR A FISSÃO
NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de dissertação apresentado à
Universidade Federal Rural de Pernambuco
- UFRPE, como requisito para obtenção do
título de Mestre em Química pelo Mestrado
Profissional em Química em Rede Nacional.

Orientador: Prof. Dr. Lucas dos Santos
Fernandes

Co-Orientadora: Prof. Dr^a. Ângela Fernandes
Campos

RECIFE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Ana Catarina Macêdo – CRB-4 1781

D541s Dias, Maxwell da Silva.
Sequência de ensino e aprendizagem para abordar a fissão nuclear no ensino médio / Maxwell da Silva Dias. - Recife, 2024.
151 f.; il.

Orientador(a): Lucas dos Santos Fernandes.
Co-orientador(a): Ângela Fernandes Campos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Química (PROFQUI), Recife, BR-PE, 2023.

Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

1. Fissão nuclear. 2. Energia nuclear. 3. Radioatividade.
4. Química (Ensino médio) - Estudo e ensino I. Fernandes, Lucas dos Santos, orient. II. Campos, Ângela Fernandes, coorient. III. Título

CDD 540

MAXWEL DA SILVA DIAS

**SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA ABORDAR A FISSÃO
NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de dissertação apresentado à
Universidade Federal Rural de Pernambuco
- UFRPE, como requisito para obtenção do
título de Mestre em Química pelo Mestrado
Profissional em Química em Rede Nacional.

Orientador: Prof. Dr. Lucas dos Santos
Fernandes

Co-Orientadora: Prof. Dr^a. Ângela Fernandes
Campos

Data de aprovação: 15/08/2024

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^o Dr. Lucas dos Santos Fernandes – Orientador.

Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF

Prof^a Dra. Ângela Fernandes Campos – Co-Orientadora.

Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE

Prof^a Dra. Flávia Cristiane Vieira da Silva - Membro externo.

Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE

Prof^a Dra. Kátia Cristina Silva de Freitas - Membro interno

Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE

Dedico à minha querida avó, **Luzia Torres da Silva** (*in memoriam*), que com tanto amor e dedicação ajudou a me criar. Sua sabedoria, carinho e ensinamentos seguem vivos em mim, e foi graças à sua força e apoio que cheguei até aqui. Mesmo não estando presente fisicamente, sei que seus valores e sua presença me acompanharam em cada passo dessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, cuja graça e misericórdia me sustentaram ao longo desta jornada acadêmica. Sem Sua presença e orientação, este trabalho não teria sido possível. Toda honra e glória a Ele.

Minha gratidão eterna à minha mãe e aos meus familiares pelo suporte emocional e encorajamento essenciais para a conclusão desta dissertação. Sua fé em mim e suas palavras de incentivo me deram a força necessária para alcançar este objetivo.

Agradeço profundamente ao Prof. Dr. Lucas dos Santos Fernandes e à Prof^a Dr^a Ângela Fernandes Campos pela orientação e apoio para o meu crescimento acadêmico. Suas orientações precisas e conhecimentos vastos foram essenciais para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Lucas dos Santos Fernandes, cuja paciência, dedicação e expertise foram imprescindíveis para a realização desta dissertação. Sua orientação foi a base sólida sobre a qual construí este trabalho.

Aos professores do PROFQUI, meu sincero agradecimento por compartilharem seus conhecimentos e experiências ao longo do curso. Suas contribuições e ensinamentos foram indispensáveis para o desenvolvimento desta dissertação e para minha trajetória acadêmica.

Quero expressar minha gratidão aos meus colegas de turma, agradeço a amizade, companheirismo e pelas valiosas discussões que tivemos ao longo do curso. A troca de ideias e experiências com vocês enriqueceu meu aprendizado e tornou essa jornada acadêmica mais significativa. Juntos, enfrentamos os desafios e celebramos as conquistas, criando memórias que levarei comigo para sempre.

Gostaria de agradecer aos funcionários da minha escola pela compreensão e paciência nos períodos em que estive ausente devido aos meus estudos. A consideração e o apoio de vocês permitiram que eu conciliasse minhas responsabilidades profissionais e acadêmicas com sucesso.

Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa de estudos, sem esse apoio, seria muito mais difícil alcançar os meus objetivos de crescimento acadêmico e pessoal.

RESUMO

A fissão nuclear é o processo espontâneo ou artificial de divisão do núcleo atômico provocado pelo impacto com projéteis, geralmente nêutrons. Esse processo produz energia e núcleos atômicos mais leves. A fissão nuclear atualmente apresenta diversas aplicações que vão da energia nuclear à síntese de radiofármacos. Pesquisas apontam que os estudantes não aprendem de forma satisfatória os conceitos relacionados à fissão nuclear. O presente estudo teve como objetivo geral investigar se uma sequência de ensino e aprendizagem estruturada a partir dos três momentos pedagógicos pode contribuir para o processo de aprendizagem de fissão nuclear por estudantes do Ensino Médio. Esta pesquisa apresenta elementos do método qualitativo, tendo em vista que os dados foram analisados segundo os procedimentos de descrição e interpretação. Esta dissertação apresenta o formato multipaper. O paper 1 apresenta uma pesquisa de revisão sistemática da literatura sobre radioatividade em periódicos nacionais da área de Ensino de Química e nos anais das últimas edições do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ). O paper 2 traz uma pesquisa de desenvolvimento de uma cartilha sobre fissão nuclear que foi utilizada na intervenção didática deste estudo. Por fim, o paper 3 apresenta os resultados de uma pesquisa interventiva de aplicação, na qual uma turma de estudantes do Ensino Médio vivenciou uma sequência de ensino e aprendizagem sobre fissão nuclear. Os resultados da revisão sistemática da literatura apontaram que, de uma forma geral, os estudos analisados: (i)-são pesquisas aplicadas; (ii)-pertencem a linha de pesquisa 'Ensino e Aprendizagem'; (iii)-são estudos interventivos; (iv)-utilizam diversos recursos didáticos, principalmente discussões e vídeos; (v)-coletam dados a partir de questionários e respostas a exercícios; (vi)-são direcionados a estudantes do Ensino Médio. Os resultados da pesquisa de desenvolvimento da cartilha sobre fissão nuclear apontaram que 80% dos professores consideraram ótimos ou bons os aspectos visuais (cores, imagens, organização etc.). A análise ainda revelou que 100% dos avaliadores consideraram a linguagem da cartilha ótima ou boa. Em relação aos conceitos científicos, 100% dos professores consideraram que eles foram empregados de forma ótima ou boa ao longo do protótipo. Por fim, 100% dos avaliadores consideraram que a contextualização da fissão nuclear com o cotidiano foi realizada de forma ótima ou boa. Os resultados da pesquisa interventiva de aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre fissão nuclear revelaram que os estudantes apresentam dificuldades em entender o conceito de fissão nuclear e o processo de geração de energia nuclear. Apesar disso, eles apresentaram argumentos a favor e contra a instalação de uma usina nuclear às margens do Rio São Francisco no sertão de Pernambuco. A fissão nuclear é um fenômeno atômico de grande importância para o desenvolvimento científico e tecnológico, dessa forma, espera-se que mais pesquisas sobre esse objeto de conhecimento sejam realizadas com a finalidade de contribuir para o ensino e para a aprendizagem dos estudantes.

Palavras-Chave: Fissão nuclear; Energia nuclear; Radioatividade; Ensino de Química.

ABSTRACT

Nuclear fission is the spontaneous or artificial process of division of the atomic nucleus caused by impact with projectiles, usually neutrons. This process produces energy and lighter atomic nuclei. Nuclear fission currently has several applications ranging from nuclear energy to the synthesis of radiopharmaceuticals. Research shows that students do not learn concepts related to nuclear fission satisfactorily. The present study had the general objective of investigating whether a structured teaching-learning sequence based on the three pedagogical moments can contribute to the nuclear fission learning process for high school students. This research presents elements of the qualitative method, considering that the data were analyzed according to description and interpretation procedures. This dissertation presents the multipaper format. Paper 1 presents a systematic review of the literature on radioactivity in national journals in the field of Chemistry Teaching and in the annals of the latest editions of the National Chemistry Teaching Meeting (ENEQ). Paper 2 presents research into the development of a primer on nuclear fission that was used in the didactic intervention of this study. Finally, paper 3 presents the results of an interventional application research, in which a class of high school students experienced a teaching and learning sequence about nuclear fission. The results of the systematic literature review showed that, in general, the studies analyzed: (i) - are applied research; (ii)-belong to the 'Teaching and Learning' line of research; (iii) - these are interventional studies; (iv)-use various teaching resources, mainly discussions and videos; (v) - collect data from questionnaires and responses to exercises; (vi)-are aimed at high school students. The results of the research to develop the primer on nuclear fission showed that 80% of teachers consider the visual aspects (colors, images, organization, etc.) to be excellent or good. The analysis also revealed that 100% of the evaluators considered the language of the booklet to be excellent or good. Regarding scientific concepts, 100% of teachers considered that they were used in an excellent or good way throughout the prototype. Finally, 100% of the evaluators considered that the contextualization of nuclear fission within everyday life was carried out in an excellent or good way. The results of interventional research on the application of a teaching-learning sequence on nuclear fission revealed that students have difficulties in understanding the concept of nuclear fission and the process of generating nuclear energy. Despite this, they presented arguments for and against the installation of a nuclear plant on the banks of the São Francisco River in the hinterland of Pernambuco. Nuclear fission is an atomic phenomenon of great importance for scientific and technological development, therefore, it is expected that more research on this object of knowledge will be carried out in order to contribute to teaching and student learning.

Keywords: Nuclear fission. Nuclear energy. Radioactivity. Teaching of Chemistry.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 HISTÓRIA DA FISSÃO NUCLEAR.....	12
2.2 ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR.....	15
2.3 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE FISSÃO NUCLEAR.....	17
3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	22
4 PAPER 1 - Pesquisa de Revisão Sistemática da Literatura.....	25
5 PAPER 2 - Pesquisa de Desenvolvimento.....	46
6 PAPER 3 - Pesquisa Interventiva de Aplicação.....	54
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
ANEXO A - Reportagem sobre a implantação de uma usina nuclear em Itacuruba-PE.....	71
APÊNDICE A - Artigo publicado na revista Dynamis.....	73
APÊNDICE B - Artigo submetido e aprovado no ENEQ (MOMADIQ).....	91
APÊNDICE C - Cartilha sobre Fissão Nuclear.....	94
APÊNDICE D - Relato de experiência do piloto submetido e aprovado no ENEQ.....	112
APÊNDICE E - Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) para maiores de 18 anos.....	120
APÊNDICE F - Termo de assentimento livre e esclarecido (TALE) para menores entre 07 e 17 anos.....	124
APÊNDICE G - Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) para os responsáveis dos menores de 18 anos.....	128
APÊNDICE H - Transcrições de áudio do primeiro momento pedagógico.....	131
APÊNDICE I - Transcrições de áudio do terceiro momento pedagógico.....	146
APÊNDICE J - Transcrições das soluções individuais à situação-problema.....	151

1 INTRODUÇÃO

Em 2022, 1,1% da energia elétrica gerada no Brasil foi de origem nuclear produzida nas usinas de Angra 1 e Angra 2 no Rio de Janeiro (Brasil, 2023). A energia nuclear é produzida a partir de um fenômeno radioativo denominado fissão nuclear, que é a quebra do núcleo atômico induzida pelo impacto com nêutrons (Cardoso, 2012). A divisão do núcleo libera uma grande quantidade de energia na forma de calor, que é transformada em energia elétrica. Nesse processo ainda são liberados mais nêutrons que atingem outros núcleos formando uma reação em cadeia controlada. As usinas nucleares utilizam elementos químicos físséis como os radioisótopos urânio - 235 e plutônio - 239 para gerar energia.

A fissão nuclear foi descoberta no século XX por meio da contribuição de vários cientistas que realizaram experimentos de irradiação de núcleos de urânio ($Z=92$) com nêutrons. A primeira sugestão da ocorrência desse fenômeno radioativo surgiu em 1934, quando se pensava que o núcleo atômico era inviolável por forças externas (Ribeiro; Fernandes, 2022). Posteriormente, os experimentos de irradiação de núcleos de urânio revelaram a produção de elementos mais leves, como o bário ($Z=56$) e o lantânio ($Z=57$). Dessa forma, foram produzidas evidências de que o núcleo poderia ser fissionado ao ser atingido por nêutrons (Hahn; Strassmann, 1939).

Para explicar esse fenômeno foi utilizado o modelo da gota líquida, que é fracionada quando a tensão superficial é rompida pelo contato com um projétil. Nesse sentido, considerou-se o núcleo atômico uma gota líquida mantida coesa por meio de forças nucleares. Contudo, essa coesão é desfeita quando o núcleo é atingido por nêutrons e se fragmenta (Meitner; Frisch, 1939a).

A fissão nuclear atualmente apresenta diversas aplicações que vão da energia nuclear à síntese de radiofármacos à base de Tc-99m obtido por meio da fissão nuclear do urânio-235 (Carvalho; Oliveira, 2017).

Compreender a fissão nuclear pode contribuir para que as aplicações desse fenômeno radioativo sejam desfrutadas de forma consciente e não temidas. Pesquisadores da Dinamarca identificaram que os estudantes consideram todas as técnicas de diagnóstico por imagem perigosas (Siersma *et*

al., 2021). Provavelmente, conhecimentos científicos relacionados à ciência nuclear poderiam deixá-los mais confortáveis ao realizarem esse tipo de exame.

Os estudantes podem apresentar conhecimentos prévios sobre radioatividade construídos a partir dos meios de comunicação, sobretudo por meio da televisão e dos recursos digitais (Prestes; Cappelletto, 2008). Segundo Pozo e Crespo (1998, p. 87), “[...] conhecimentos prévios são todos aqueles conhecimentos (corretos ou incorretos) que cada sujeito possui e adquiriu ao longo de sua vida na interação com o mundo que o cerca e a escola”. Os conhecimentos dos estudantes podem ser agrupados em duas categorias: concepções prévias (construídas a partir do cotidiano e das interações sociais) e concepções alternativas (construídas ou mantidas após o ensino formal e que estão em desacordo com o conhecimento científico atual). De acordo com Boo (1998, p. 569-570), concepções alternativas são “[...] ideias dos alunos, manifestadas após a exposição a modelos ou teorias formais, que estão em desacordo com aqueles atualmente aceitos pela comunidade científica”.

Alguns estudos identificaram diversas concepções alternativas sobre fissão nuclear: (i)- a fissão nuclear serve para obter energia quebrando o elétron do urânio; (ii)- fissão nuclear é a reação na qual um elemento se divide em isótopos e radiação é emitida simultaneamente; (iii)- fissão nuclear é uma reação em que moléculas maiores são quebradas em moléculas menores; (iv)- fissão nuclear é a explosão de núcleo/átomo; (v)- confusão entre fusão e fissão nuclear; (vi)- a fissão nuclear ocorre quando o material radioativo é dividido em seus dois isótopos (Tsaparlis; Hartzavalos; Nakiboglu, 2013).

Após uma pesquisa bibliográfica em periódicos nacionais e internacionais da área de ensino de Ciências / Química, verificou-se que o conceito de fissão nuclear é pouco abordado. Por outro lado, as aplicações, principalmente a energia nuclear é intensamente discutida em diversos estudos (Freitas; Vaz, 2020; Santana *et al.*, 2021). Na busca realizada, apenas dois trabalhos abordavam a fissão nuclear. Um desses trabalhos identificou concepções alternativas sobre fissão nuclear (Tsaparlis; Hartzavalos; Nakiboglu, 2013). O outro propôs uma sequência didática baseada em elementos da História e Filosofia da Ciência para o ensino de fissão nuclear (Ribeiro; Fernandes, 2022).

No Brasil, o ensino de fissão nuclear está previsto entre os objetos de conhecimento da BNCC (Brasil, 2018). Dessa forma, são necessárias

estratégias de ensino para abordar esse objeto de conhecimento de forma contextualizada com as suas aplicações.

Considerando a importância da compreensão da fissão nuclear, as dificuldades de aprendizagem, a ausência de investigações sobre o ensino desse objeto de conhecimento e a sua presença na BNCC, esta dissertação buscou responder a seguinte *Questão de Pesquisa*:

A utilização de uma sequência de ensino e aprendizagem baseada na história e nas aplicações da fissão nuclear pode contribuir para o processo de aprendizagem de estudantes do Ensino Médio?

Buscando respondê-la, foi formulado o seguinte *Objetivo Geral*:

Avaliar a utilização de uma sequência de ensino e aprendizagem baseada na história e nas aplicações da fissão nuclear para o processo de aprendizagem de estudantes do Ensino Médio.

E os seguintes *Objetivos Específicos*:

- Analisar a produção bibliográfica sobre o ensino de radioatividade em periódicos e em anais de eventos nacionais da área de ensino de Química;
- Elaborar uma sequência de ensino e aprendizagem baseada na história e nas aplicações da fissão nuclear para estudantes do Ensino Médio;
- Avaliar a aplicação da sequência de ensino e aprendizagem elaborada em uma turma de estudantes do Ensino Médio;
- Construir e validar, junto a um grupo de especialistas, uma cartilha sobre fissão nuclear, sua história e aplicações para estudantes do Ensino Médio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo está dividido em três partes: (i) – História da Fissão Nuclear; (ii)- Ensino de Fissão Nuclear; (iii) - Concepções Alternativas sobre Fissão Nuclear.

2.1 HISTÓRIA DA FISSÃO NUCLEAR

Em 1932, o físico britânico James Chadwick (1891-1974) descobriu o nêutron, uma partícula atômica que não possui carga elétrica e apresenta massa semelhante ao próton. A partir de então, os grupos de pesquisa em radioatividade que utilizavam partículas alfa para atingir núcleos atômicos passaram a utilizar nêutrons como projéteis (Nesvizhevsky; Villain, 2017). Essa ideia foi concebida pelo físico italiano Emilio Segrè (1905-1989), que fazia parte de um grupo de pesquisa em radioatividade liderado por Enrico Fermi (1901-1954) na Universidade de Roma.

A partir de 1934, Fermi publicou diversos estudos envolvendo a irradiação de núcleos de urânio com nêutrons desacelerados (Fermi, 1934) Nesses experimentos, ele concluiu que o núcleo de urânio absorveu nêutrons e se transmutou em elementos mais pesados, que ele chamou de ausônio ($Z=93$) e hespério ($Z=94$). Esses seriam os primeiros elementos químicos transurânicos, isto é, que apresentariam número atômico superior ao do urânio. Por essas descobertas, atualmente consideradas espúrias, Fermi foi laureado com o Prêmio Nobel em Física de 1938.

Após as publicações de Fermi, a geoquímica alemã Ida Noddack (1896-1978), contestou a descoberta dos transurânicos e sugeriu que os italianos poderiam ter sintetizado elementos mais leves por meio da quebra do núcleo do urânio (Noddack, 1934). Contudo, sua sugestão recebeu pouca importância. Isso é compreensível levando em consideração que seria mais plausível, na época, acreditar na síntese de transurânicos do que na divisão do núcleo atômico, pois o núcleo era considerado inviolável por forças externas (Hook, 2007).

Na Alemanha, o grupo de pesquisa sobre radioatividade liderado pela física Lise Meitner (1878-1968) e pelo químico Otto Hahn (1879-1968) se propôs a investigar os transurânicos anunciados por Fermi. Empregando os mesmos

métodos dos italianos, Meitner e Hahn, não só confirmaram a descoberta dos transurânicos 93 e 94, como também anunciaram a descoberta dos elementos químicos de número atômico 95, 96 e 97 (Meitner; Hahn; Strassmann, 1937).

Por sua vez, na França, Irène Joliot-Curie (1897-1956) e Paul Savitch relataram a presença de um elemento químico semelhante ao lantânio entre os produtos da irradiação de núcleos de urânio com nêutrons (Curie; Savitch, 1938). Eles acreditavam que se tratava de algum tipo de contaminação, pois não havia explicação para a síntese de um elemento de número atômico tão baixo ($Z=57$). Na realidade, os experimentos conduzidos por Joliot-Curie e Savitch levaram à divisão do núcleo de urânio e produziram lantânio contaminado com Ítrio ($Z=39$) (Herrmann, 1990).

Impressionados pelos resultados obtidos pelos cientistas franceses, em outubro de 1938, Hahn e Strassmann decidiram repetir os experimentos. Ao analisarem os produtos da irradiação de urânio com nêutrons, Hahn e Strassmann identificaram um elemento que acreditavam ser rádio ($Z=88$). Nesse momento, Lise Meitner, de origem judia, já havia deixado a Alemanha e se refugiado na Suécia, fugindo da perseguição aos judeus promovida pelo governo nazista alemão (Sime, 1997). Após estabelecer-se em Estocolmo, Meitner e Hahn continuaram a colaboração científica por meio de cartas.

Em novembro de 1938, Hahn e Meitner realizaram um encontro secreto em Copenhague, onde discutiram a possível formação de rádio a partir do bombardeamento de urânio com nêutrons. Contudo, essa hipótese só seria viável se o urânio emitisse duas partículas alfa, porém Meitner não acreditava nessa possibilidade e solicitou a Hahn que repetisse os experimentos (Sime, 1998). Ao retornar à Alemanha, Hahn e Strassmann refizeram os experimentos e identificaram a presença de bário ($Z=56$) entre os produtos do bombardeamento de urânio com nêutrons.

Em dezembro, pouco antes do Natal, Hahn submeteu um artigo no qual relatou que o bombardeamento de urânio com nêutrons havia produzido bário. Em seguida, por meio de uma carta, Hahn solicitou a Meitner uma explicação para a formação de bário. Meitner respondeu que, embora o resultado não fosse impossível, até aquele momento, permanecia inexplicado (Sime, 1997).

Após a resposta de Meitner, Hahn pediu ao editor da revista a inclusão de mais um parágrafo ao artigo: “A soma dos números de massa $Ba + Ma$, por

exemplo, $138 + 101$ dá $239!$ " (Hahn; Strassmann, 1939, p. 15). Nesse trecho, Hahn estabelece que a soma entre as massas do bário e do masúrio (atualmente chamado tecnécio) seria igual à massa do urânio mais um nêutron ($238+1$). Dessa forma, pode-se interpretar que a divisão do núcleo de urânio em função da colisão com um nêutron poderia gerar bário e masúrio. Apesar dessa hipótese, não havia uma explicação física para a divisão do núcleo atômico.

Algumas semanas após a publicação de Hahn e Strassmann, Meitner e o físico Otto Frisch (1904-1979), que era seu sobrinho, apresentaram uma explicação para a divisão do núcleo de urânio, comparando-o a uma gota de água que pode se fracionar através da quebra da tensão superficial (Meitner; Frisch, 1939a). Posteriormente, Frisch nomeou esse fenômeno de fissão nuclear, em analogia à fissão celular (Frisch, 1939). Apesar das contribuições de Meitner, Strassmann e Frisch, o reconhecimento pela descoberta da fissão nuclear, pelo menos inicialmente, foi atribuído apenas a Hahn, que foi laureado individualmente com o Prêmio Nobel de Química em 1944.

Com o reconhecimento da fissão nuclear, surgiram questionamentos em relação à existência dos transurânicos anunciados por Fermi e por Meitner e Hahn. Após explicarem a fissão, Meitner e Frisch (1939b) anunciaram que a fissão nuclear do urânio produz elementos mais leves e, portanto, conhecidos.

De fato, a primeira síntese bem-sucedida de um elemento transurânico ocorreu somente em 1940, quando os físicos americanos Edwin McMillan e Philip Abelson descobriram o neptúnio ($Z=93$) entre os produtos resultantes da irradiação de núcleos de urânio com nêutrons (McMillan; Abelson, 1940). Por essa descoberta, McMillan compartilhou o Prêmio Nobel em Química de 1951 com o químico Glenn Seaborg (1912-1999).

Enquanto desenvolvia as bases teóricas da fissão nuclear, Meitner estabeleceu uma relação entre a energia liberada e a equação de Einstein: $E=m.c^2$ (Frisch, 1979). Foi nesse contexto que a relação entre energia e massa emergiu 34 anos após a sua concepção em 1905 (Bodanis, 2001).

Uma vez que a fissão nuclear foi evidenciada experimentalmente, os esforços científicos e tecnológicos direcionaram-se para o controle da reação em cadeia e a utilização da grande quantidade de energia liberada durante esse processo. Além da energia, os nêutrons e os fragmentos da fissão nuclear são empregados em diversas áreas da pesquisa e da medicina.

2.2 ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR

A fissão nuclear é definida como “Uma reação em cadeia em que núcleos grandes e instáveis são quebrados por projéteis – como o nêutron – produzindo núcleos menores e uma grande quantidade de energia” (Passos; Souza, 2012, p. 83). Esse fenômeno radioativo pode ocorrer espontaneamente ou artificialmente por meio do bombardeamento de núcleos atômicos com projéteis. Após iniciado, esse processo libera mais nêutrons que atingem outros núcleos gerando uma reação em cadeia que libera uma grande quantidade de energia.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) menciona a fissão nuclear apenas uma vez na etapa do Ensino Médio na Competência Específica 1 da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:

Dessa maneira, podem-se estimular estudos referentes a: estrutura da matéria; transformações químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia e da quantidade de movimento; ciclo da água; leis da termodinâmica; cinética e equilíbrio químicos; fusão e **fissão nucleares**; [...] (Brasil, 2018, p. 554, grifo do autor).

Portanto, trata-se de um objeto de conhecimento que faz parte do ensino obrigatório para todos os estudantes brasileiros que cursam o Ensino Médio. Dessa forma, é fundamental que os professores dominem esse conteúdo bem como o conhecimento pedagógico associado à fissão nuclear.

A fissão nuclear produz energia, nêutrons e núcleos atômicos que podem ser aproveitados em benefício da sociedade. Enquanto a energia liberada na fissão nuclear pode ser transformada em energia elétrica, os núcleos atômicos mais leves podem ser utilizados na síntese de radiofármacos.

As aplicações da fissão nuclear podem interessar os estudantes e abrir caminho para o estudo desse fenômeno radioativo numa perspectiva envolvendo as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Nesse sentido, a história da fissão nuclear exemplifica de maneira excepcional como cientistas elaboraram as teorias (teoria da transmutação radioativa, teoria da estabilidade nuclear etc.) que culminaram com a construção de dispositivos tecnológicos (radiofármacos, reatores e bombas nucleares) que impactaram a sociedade. O Quadro 1 apresenta algumas aplicações da fissão nuclear:

Quadro 1 – Aplicações da fissão nuclear.

Aplicação	Descrição
Geração de Energia Elétrica	Nas usinas nucleares, emprega-se o processo de fissão nuclear de radioisótopos combustíveis, tais como urânio - 235 e plutônio - 239.
Diagnóstico por Imagem	O radioisótopo tecnécio - 99m, produzido via fissão nuclear, constitui a maior parte dos radiofármacos utilizados em exames de imagem.
Terapia Com Radionuclídeos	Os radioisótopos ítrio - 90, célio - 137, estrôncio - 89 e iodo - 131, produzidos via fissão nuclear, são utilizados em tratamentos de alguns tipos de câncer.
Fabricação de Bombas Atômicas	Bombas de fissão com combustíveis físséis como urânio - 235, tório - 232 e plutônio - 239.
Datação de Minerais	Minerais contendo impurezas formadas por urânio - 238 ao longo do tempo sofrem fraturas provenientes da fissão nuclear espontânea desse radioisótopo. Analisando a fratura pode-se datar o mineral utilizando a técnica denominada Método dos Traços de Fissão (MTF).
Estudo da Oscilação dos Neutrinos	Os antineutrinos liberados pelo decaimento beta dos fragmentos da fissão nuclear permitem o estudo dos neutrinos.
Desenvolvimento de Reatores Nucleares	Fabricação de reatores nucleares mais eficientes, menos poluentes e seguros à base de tório e urânio - 233.
Análise de Materiais	Uma fonte de califórnio - 252 emite nêutrons através da fissão nuclear espontânea que são absorvidos pelos elementos de um material transportado em uma esteira. Cada elemento químico emite um espectro único de raios gama, que são utilizados para determinar a composição do material. Essa técnica é chamada análise de raios γ imediatos por ativação de nêutrons, a sigla em inglês é PGNA.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essas aplicações da fissão nuclear podem ser utilizadas para contextualizar esse fenômeno com o cotidiano dos estudantes. Muito provavelmente todas as pessoas se beneficiam das aplicações da fissão nuclear, principalmente energia nuclear e dos radiofármacos. Utilizar as aplicações benéficas da fissão nuclear pode contribuir para ressignificar a imagem dos fenômenos radioativos perante a sociedade, que constantemente é bombardeada pela mídia televisiva e digital com informações sobre acidentes radioativos e ameaças de dispositivos bélicos nucleares.

2.3 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE FISSÃO NUCLEAR

De acordo com Pozo e Crespo (1998), os conhecimentos prévios são construídos a partir da interação do sujeito com o mundo cotidiano e escolar. Esses conhecimentos podem estar corretos ou incorretos do ponto de vista científico. Os conhecimentos prévios, em desacordo com o saber científico, que permanecem após o ensino formal são chamados de concepções alternativas (Boo, 1998).

De acordo com Pozo (1995), as concepções prévias dos estudantes apresentam as seguintes características: (i)- são construções pessoais; (ii)- são incoerentes do ponto de vista científico; (iii)- são estáveis e resistentes à mudança; (iv)- são compartilhadas por pessoas com características muito diferentes; (v)- apresentam caráter implícito; (vi)- buscam mais a utilidade do que a verdade. Conhecendo essas características pode-se entender porque as concepções prévias, em muitas oportunidades, são obstáculos para a aprendizagem de conhecimentos científicos. Numa perspectiva de ensino construtivista, o objetivo principal não é simplesmente mudar as concepções prévias, mas problematizá-las à luz do conhecimento científico, de forma que o estudante estabeleça conexões entre esses conhecimentos, saiba distingui-los e utilizá-los de forma adequada.

Alís (2005) destacou algumas origens para as concepções alternativas:

- A) Experiências físicas cotidianas;
- B) Linguagem cotidiana e midiática;
- C) Erros conceituais em livros didáticos;
- D) Concepções alternativas por parte dos professores;
- E) Utilização de estratégias de ensino inadequadas.

Em relação à fissão nuclear, observa-se que esse fenômeno não é percebido no cotidiano, embora exista o contato com energia nuclear e radiofármacos provenientes da divisão do núcleo atômico (Ribeiro; Fernandes, 2022). Dessa forma, é pouco provável que as concepções alternativas sobre fissão nuclear sejam formadas a partir de experiências físicas cotidianas.

Por sua vez, a linguagem midiática quase sempre se refere à fissão nuclear de forma pejorativa, destacando acidentes radioativos (Chernobyl, Fukushima etc.), bombas atômicas e problemas causados por contaminações lixo nuclear. Dessa forma, uma parcela significativa da sociedade teme a radioatividade e suas aplicações em função de uma imagem distorcida criada pela mídia (Neumann, 2014).

Os livros didáticos também apresentam deficiências em relação ao tema radioatividade. Em relação à história da radioatividade:

[...] a maioria das coleções apresenta questões históricas sobre a radioatividade de modo pouco relevante, em geral como introdução ao estudo do assunto, mas sem serem promovidas discussões sobre o desenvolvimento histórico-científico em atividades sugeridas (Tarnowski; Lawal, 2021, p. 941).

Enquanto a abordagem da história da radioatividade é abordada de forma inadequada em livros didáticos, a história da fissão nuclear quase nunca é lembrada. Contudo, a história da fissão nuclear é um episódio histórico relevante que pode ser explorado em livros didáticos tanto para ensinar esse conceito como para destacar as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, a participação das mulheres na Ciência e a relação entre teoria e prática na construção dos conhecimentos científicos (Ribeiro; Fernandes, 2022).

Diversos estudos têm identificado concepções alternativas de futuros professores química sobre fissão nuclear (Tsaparlis; Hartzavalos; Nakiboglu, 2013; López; Marco, 2022). Esse dado é preocupante, tendo em vista que, se a compreensão desse fenômeno não for melhorada, essas concepções alternativas podem ser transmitidas aos estudantes durante o ensino.

Em relação às abordagens de ensino sobre radioatividade inadequadas, Pinto e Marques (2019, p. 27-28) afirmam que:

De certa maneira tal tema vem sendo abordado, mas de forma bastante superficial, pois quase sempre é deixado para ser ensinado nos últimos meses do ano. Geralmente são abordados com mais profundidade os aspectos relativos aos constituintes do núcleo atômico e as reações de emissões nucleares, muitas vezes sem qualquer relação com o cotidiano do aluno. Outro aspecto importante é a ausência dos fatos históricos. A História da Radioatividade é trabalhada de forma restrita deixando os alunos sem nenhum subsídio que desperte algum interesse.

É esse tipo de abordagem tradicional que precisa ser substituída por estratégias de ensino inovadoras que potencializam a ação do discente na construção de conhecimentos. A literatura apresenta algumas experiências bem sucedidas no ensino de radioatividade envolvendo História da Ciência (Pinto; Marques, 2019), ensino por situação-problema (Silva; Campos; Almeida, 2017), jogos didáticos (Sales *et al.*, 2020), entre outras.

Vários estudos publicados nos últimos anos identificaram diversas concepções alternativas sobre fissão nuclear (Tsaparlis; Hartzavalos; Nakiboglu, 2013; López; Marco, 2022). Essas concepções serão apresentadas a seguir:

- As reações nucleares têm a ver apenas com a fissão nuclear;
- [Na fissão nuclear] Os átomos se dividem em prótons e elétrons;
- [A fissão nuclear serve] Para obter energia quebrando o elétron do urânio;
- Radioatividade só pode ser produzida através de reações de fissão e fusão;
- Radioisótopos são átomos de um elemento que têm o mesmo número de massa, mas um deles surgiu após uma fissão nuclear.
- [Durante a fissão do urânio] Prótons em movimento muito rápido são lançados em um átomo de urânio, e dessa colisão grandes quantidades de energia são liberadas;
- [Um reator termonuclear é] Um reator onde a fissão do núcleo do átomo de urânio é realizada usando energia térmica;
- [Fissão nuclear] É a reação na qual um elemento se divide em isótopos e radiação é emitida simultaneamente;
- [Fissão nuclear] É uma reação em que moléculas maiores são quebradas em moléculas menores;
- [Fissão nuclear é a] Explosão de núcleo/átomo;
- Confusão entre fusão e fissão nuclear;
- [A fissão nuclear ocorre] Quando o material radioativo é dividido em seus dois isótopos;
- As reações de fissão [nuclear] são (envolvem) separação/dissociação;
- As reações de fissão [nuclear] são decaimento.

Conforme pode ser observado, as concepções alternativas sobre fissão nuclear são abundantes e foram identificadas em estudos realizados nos últimos dez anos em diferentes países (Turquia, Grécia e Espanha) e em níveis de ensino (Ensino Médio, Ensino Superior).

As concepções alternativas desempenham um papel significativo na aprendizagem, e esse fenômeno também é observado no contexto do ensino de radioatividade. A compreensão dessas ideias pode ser fundamental para o desenvolvimento de abordagens de ensino mais satisfatórias em termos da construção de conceitos, procedimentos e atitudes baseadas na Ciência.

3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Foram realizadas três pesquisas subsequentes, o delineamento metodológico de cada uma será detalhado posteriormente junto aos resultados em artigos apresentados nos próximos capítulos. Dessa forma, esta dissertação assume o formato multipaper. O paper 1 apresenta uma **pesquisa de revisão sistemática** da literatura sobre radioatividade em periódicos e em anais de eventos da área de Ensino nacionais (Dias; Fernandes; Campos, 2023). Este artigo foi publicado na revista Dynamis (Qualis A4 da área de Ensino) e encontra-se no Apêndice A.

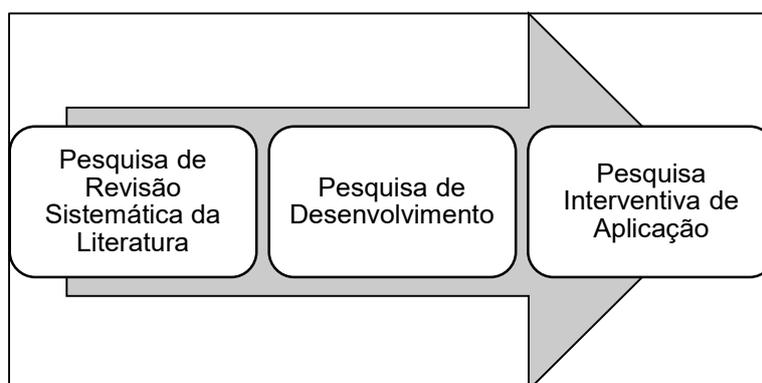
O paper 2 traz uma **pesquisa de desenvolvimento** de uma cartilha sobre fissão nuclear que foi utilizada na intervenção didática desta dissertação. A cartilha foi apresentada no XXII ENEQ dentro da Mostra de Materiais Didáticos de Química (MOMADIQ) e encontra-se no Apêndice B. Por sua vez, a cartilha está no Apêndice C.

Por fim, o paper 3 apresenta os resultados de uma **pesquisa interventiva de aplicação**, na qual uma turma de estudantes do Ensino Médio vivenciou uma sequência de ensino e aprendizagem sobre fissão nuclear.

O estudo piloto da pesquisa interventiva foi apresentado no XXII ENEQ e encontra-se no Apêndice D.

A Figura 1 apresenta a ordem na qual as pesquisas que compõem esta dissertação foram realizadas:

Figura 1 - Pesquisas realizadas dentro deste estudo.



Fonte: Própria.

REFERÊNCIAS

ALÍS, J. C. El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 2, n. 2, p.183-208, 2005.

BODANIS, D. **$E=mc^2$** : uma biografia da equação que mudou o mundo e o que ela significa. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

BOO, H. K. Students' understandings of chemical bonds and the energetic of chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, n. 5, p. 569-581, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular** – Etapa do Ensino Médio. Brasília, 2018.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2023**: Ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

CARDOSO, E. M. **Energia Nuclear e Suas Aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEM, 2012.

CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, S. M. V. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo: SBPC; Viena: IAEA, 2017.

CURIE, I.; SAVITCH, P. Sur les radioéléments formés dans l'uranium irradié par les neutrons. II. **Journal de Physique et le Radium**, v. 9, n. 9, p. 355-359, 1938.

DIAS, M. S.; FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F. Uma meta-análise qualitativa das pesquisas sobre ensino de radioatividade no Brasil. **Dynamis**, v. 29, n. 2, p. 192-909, 2023.

FERMI, E. Possible production of elements of atomic number higher than 92. **Nature**, v. 133, p. 898-899, 1934.

FREITAS, A. B.; VAZ, W. F. O Ensino de Radioatividade em Química e a Educação Ambiental no Aspecto da Racionalidade. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 6, n.1, p. 53-69, 2020.

FRISCH, O. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. **Nature**, v. 143, p. 276, 1939.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den nachweis und das verhalten der bei der bestahlung des urans mittels neutronen entstehenden erdalkalimetalle. **Naturwissenschaften**, v. 27, p. 11-15, 1939.

HERRMANN, G. Five decades ago: from the "transuranics" to nuclear fission. **Angewandte Chemie**, v. 29. n. 5, p. 469-496, 1990.

- HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. *In*: HOOK, E. B. (Org.). **Prematuridade na Descoberta Científica**. São Paulo: Perspectiva, 2007. p. 201-237.
- LÓPEZ, A. I. M.; MARCO, P. T. Misconceptions, knowledge, and attitudes towards the phenomenon of radioactivity. **Science & Education**, v. 32, n. 2, p. 405-426, 2022.
- MCMILLAN, E.; ABELSON, P. H. Radioactive element 93. **Physical Review**, v. 57, p. 1185-1186, 1940.
- MEITNER, L.; FRISCH, O. Desintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction. **Nature**, v. 143, p. 239-240, 1939a.
- MEITNER, L.; FRISCH, O. Products of the fission of the uranium nucleus. **Nature**, v. 143, p. 471-472, 1939b.
- MEITNER, L.; HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über die umwandlungsreihen des urans, die durch neutronenbestrahlung erzeugt werden. **Zeitschrift für Physik**, v. 106, p. 249-270, 1937.
- NESVIZHEVSKY, V.; VILLAIN, J. The discovery of the neutron and its consequences (1930–1940). **Comptes Rendus Physique**, v. 18, n. 9-10, p. 592-600, 2017.
- NEUMANN, S. Three misconceptions about radiation — and what we teachers can do to confront them. **The Physics Teacher**, v. 52, n. 6, p. 357-359, 2014.
- NODDACK, I. Über das element 93. **Angewandte Chemie**, v. 47, p. 653-655, 1934.
- PASSOS, M. H. S.; SOUZA, A. A. **Química Nuclear e Radioatividade**. 2. ed. Campinas: Átomo, 2012.
- PINTO, G. T.; MARQUES, D. M. Uma proposta didática na utilização da história da ciência para a primeira série do ensino médio: a radioatividade e o cotidiano. **História da Ciência e Ensino**. v. 1, p. 27-57, 2019.
- POZO, J. I. El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos. *In*: Coll, C.; POZO, J. I.; SARABIA, B.; VALLS, E. **Los contenidos en la reforma: enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes**. Buenos Aires: Santillana, 1995. p.19-80.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. A solução de problemas nas Ciências da Natureza. *In*: POZO, J. I. (Org.). **A Solução de Problemas: aprender a resolver, resolver para aprender**. Porto Alegre: Artmed, 1998. p. 67-102.

- PRESTES, M. CAPPELLETTO, E. Aprendizagem significativa no ensino de Física das radiações: contribuições da Educação Ambiental. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 20, p. 180-194, 2008.
- RIBEIRO, M. J. S.; FERNANDES, L. S. Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear. **Educação Química em Ponto de Vista**, v. 6, p. 1-17, 2022.
- SALES, M. F.; SILVA, J. S.; HARAGUCHI, S. K.; SOUZA, G. A. P. Jornada radioativa: um jogo de tabuleiro para o ensino de radioatividade. **Ludus Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 74-87, 2020.
- SANTANA, C. M. L.; RODRIGUES, B. O. S.; AQUINO, F. S.; FRANÇA, E. J.; AQUINO, K. A. S. TAPEQUIM: Uma Tabela Periódica que Contribui para o Ensino de Radioisótopos Naturais na Perspectiva de uma Aprendizagem Significativa Crítica. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 7, n. 3, p. 74-88, 2021.
- SIERSMA, P.T.; POL, H. J.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VISSCHER, A. J. Pre-university students' conceptions regarding radiation and radioactivity in a medical context. **International Journal of Science Education**, v. 43, n. 2, p. 179-196, 2021.
- SILVA, F. C. V.; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. Situação-problema sobre radioterapia no ensino superior de química: contextos de uma investigação. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n.1, p. 14-25, 2017.
- SIME, R. L. **Lise Meitner**: a life in physics. Berkeley: University of California Press, 1997.
- SIME, R. L. Lise Meitner and the discovery of nuclear fission. **Scientific American**, v. 278, n. 1, p. 80-85, 1998.
- TARNOWSKI, K. S.; LAWAL, I. T. A abordagem histórica da radioatividade em livros didáticos de química e física do PNLD 2018. **Scientia Naturalis**, v. 3, n.2, p. 941-956, 2021.
- TSAPARLIS, G.; HARTZAVALOS, S.; NAKIBOGLU, C. Students' knowledge of nuclear science and its connection with civic scientific literacy in two european contexts: the case of newspaper articles. **Science & Education**, v. 22, n. 8, p. 1963-1991, 2013.

4 PAPER 1 – UMA META-ANÁLISE QUALITATIVA DAS PESQUISAS SOBRE ENSINO DE RADIOATIVIDADE NO BRASIL

Resumo

A radioatividade é um objeto de conhecimento presente na BNCC e refere-se a um fenômeno com aplicações importantes para a sociedade, tais como: energia nuclear, radiofármacos, radioterapia etc. Tendo em vista a relevância dessa temática, o presente estudo teve como objetivo avaliar por meio de uma meta-análise qualitativa as publicações nacionais sobre ensino de radioatividade. Foram selecionados para análise estudos sobre ensino de radioatividade publicados nos últimos cinco anos em periódicos da área de Ensino de Química e nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química. Ao total, 23 estudos foram analisados entre artigos (4), resumos simples (5) e trabalhos completos (14). Os resultados apontam que, de uma forma geral, os estudos analisados: (i)- são pesquisas aplicadas; (ii)- pertencem a linha de pesquisa 'Ensino e Aprendizagem'; (iii)- são estudos interventivos; (iv)- utilizam diversos recursos didáticos, principalmente discussões e vídeos; (v)- coletam dados a partir de questionários e respostas a exercícios; (vi)- são direcionados a estudantes do Ensino Médio. Espera-se que esta revisão sistemática da literatura oriente o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o ensino de radioatividade que complementem as que foram analisadas e contemplem outras linhas de pesquisa, níveis de ensino e objetos de conhecimento relacionados à radioatividade.

Palavras-Chave: Ensino. Estudos. Radioatividade.

A QUALITATIVE META-ANALYSIS OF RESEARCH ON RADIOACTIVITY TEACHING IN BRAZIL

Abstract

Radioactivity is an object of knowledge present at the BNCC and refers to a phenomenon with important applications for society, such as: nuclear energy, radiopharmaceuticals, radiotherapy, etc. Bearing in mind the relevance of this theme, the present study aimed to evaluate, through a qualitative meta-analysis, national publications on teaching radioactivity. Studies on teaching radioactivity published in the last five years in journals in the area of Chemistry Teaching and in the annals of the National Meeting of Chemistry Teaching were selected for analysis. A total of 23 studies were analyzed, including articles (4), simple abstracts (5) and full papers (14). The results indicate that, in general, the analyzed studies: (i)- are applied research; (ii)- belong to the research line 'Teaching and Learning'; (iii)- they are interventional studies; (iv)- they use several didactic resources, mainly discussions and videos; (v)- collect data from questionnaires and answers to exercises; (vi)- are aimed at high school students. It is hoped that this systematic review of the literature will guide the development of new research on teaching radioactivity that will complement those that were

analyzed and include other lines of research, levels of teaching and objects of knowledge related to radioactivity.

Keywords: Teaching. Studies. Radioactivity.

1. INTRODUÇÃO

A radioatividade pode ser definida como “[...] o processo de decaimento espontâneo e transformação de núcleos atômicos instáveis acompanhado da emissão de partículas nucleares e/ou radiação eletromagnética” (L’Annunziata, 2007, p. 1, tradução nossa). Esse fenômeno apresenta diversas aplicações científicas e tecnológicas (geração de energia nuclear, síntese de radiofármacos, datação, conservação de alimentos, radioterapia etc.) e a sua compressão faz parte dos objetos de conhecimento previstos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) na etapa do Ensino Médio na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. A BNCC estabelece que sejam abordadas no Ensino Médio “[...] as consequências de emissões radioativas no ambiente e na saúde” (Brasil, 2018, p. 549).

Alguns estudos têm apontado dificuldades por parte dos estudantes em relação à aprendizagem de radioatividade e conceitos relacionados a esse fenômeno. López e Marco (2022) resumiram algumas concepções alternativas (ideias construídas após o ensino formal que estão em desacordo com o aceito atualmente pela comunidade científica) sobre radioatividade: (i)- radiação é acumulada pela matéria; (ii)- a radioatividade é prejudicial aos seres vivos; (iii)- radiação é altamente destrutiva e perigosa; (iv)- objetos e seres expostos à radiação tornam-se radioativos; (iv)- radioatividade é um fenômeno artificial; (v)- os átomos não podem alterar a sua natureza; (vi)- os termos irradiação e contaminação são utilizados de forma indistinta; (vii)- fissão nuclear e fusão nuclear são confundidas; (viii)- os termos átomo, isótopo, radioisótopo e elemento químico não são diferenciados.

Em um estudo realizado com futuros professores de Química foram identificadas as seguintes concepções alternativas; (i)- materiais radioativos e radiação não ocorrem naturalmente, são criados artificialmente pelos cientistas; (ii)- radiação ionizante não pode ser recomendada para a conservação de alimentos; (iii)- a radioatividade pode ser detectada pelo corpo humano; (iv)-

elétrons da camada de valência afetam a estabilidade nuclear (Silva; Campos; Almeida, 2013a). Esses dados são preocupantes, pois as concepções alternativas dos professores podem ser compartilhadas com os alunos durante o ensino.

Soma-se às dificuldades de aprendizagem, o medo das aplicações dos fenômenos radioativos frequentemente referidos na mídia de forma negativa: bombas atômicas, acidentes em usinas nucleares, lixo radioativo, contaminações com substâncias radioativas entre outros (Damasio; Tavares, 2017). Porém, essa imagem negativa pode ser minimizada a partir da construção de conhecimentos científicos sobre radioatividade e dos procedimentos de segurança que envolvem as aplicações dos fenômenos nucleares.

Uma vez construídos, os conhecimentos científicos podem ser utilizados para que os cidadãos participem de tomada de decisão em relação às aplicações da Ciência e da Tecnologia (Cachapuz *et al.*, 2011). Nesse sentido, conhecimentos científicos sobre radioatividade poderão ser mobilizados pelos cidadãos para a participação na tomada de decisões individuais e coletivas acerca das aplicações dos fenômenos nucleares, tais como: construção de usinas nucleares, uso de radiofármacos, realização de sessões de radioterapia, consumir alimentos conservados via radiação ionizante etc.

Diante da importância da construção de conhecimentos sobre radioatividade, o presente estudo tem como questão de pesquisa: *Quais as características das pesquisas sobre ensino de radioatividade no Brasil?* Acreditamos que este estudo de revisão da literatura revele, entre outros aspectos, como esse objeto de conhecimento tem sido abordado nas salas de aula e quais estratégias e recursos didáticos têm sido utilizados para melhorar as aprendizagens dos estudantes. O objetivo deste estudo é avaliar por meio de uma meta-análise qualitativa as publicações nacionais sobre ensino de radioatividade.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma pesquisa de revisão sistemática da literatura, “[...] uma modalidade de pesquisa, que segue protocolos específicos e busca dar alguma logicidade a um grande *corpus* documental” (Galvão; Ricarte,

2020, p. 57). Especificamente, este estudo consiste numa revisão de literatura do tipo meta análise-qualitativa. De acordo com Rodrigues (2002, p. 26):

“[...] uma meta-análise qualitativa procura identificar, através de determinadas categorias, semelhanças e controvérsias numa quantidade de estudos da mesma área de pesquisa. Trata-se, na verdade, de um processo de descrição interpretativa, orientado por determinadas categorias teóricas. O resultado final é uma visão mais acurada do desenvolvimento da área analisada”.

Em consonância com o tipo de pesquisa, os dados foram analisados seguindo princípios do método qualitativo, sobretudo a descrição e a interpretação dos resultados (Lüdke; André, 2014).

O *corpus* de análise desta pesquisa foram estudos sobre o ensino de radioatividade publicados em periódicos nacionais da área de Ensino de Química e nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) nos últimos cinco anos (2017-2022). Esse recorte foi escolhido em função da existência de outros estudos de revisão realizados anteriormente (Silva; Campos; Almeida, 2013b; Rodrigues; Toledo, 2020). Foram consultados todos os periódicos da área de Ensino de Química incluídos na última avaliação da qualidade dos periódicos realizada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Nesse sentido, foram consultados os seguintes periódicos: Educación Química (A1), Química Nova na Escola (A2), Educação Química em Punto de Vista (A3), Revista Debates em Ensino de Química (A3), Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química (B4) e Tchê Química (C).

A busca nos periódicos foi realizada em janeiro de 2023 diretamente no site das revistas e nos anais do ENEQ realizados em 2018 e 2020. Para identificar os estudos de interesse, foram utilizadas na pesquisa as seguintes palavras-chave: Marie Curie, Pierre Curie, Becquerel, Roentgen, radioatividade, radiofármacos, radiação, fissão e fusão, decaimento, meia-vida, emissões alfa, beta e gama, radioisótopos.

Seguindo os critérios estabelecidos anteriormente foram selecionados para análise artigos (A1...A4), resumos simples (RS1...RS5) e trabalhos completos (TC1...TC14) que apresentavam no título pelo menos uma das palavras-chave. Uma lista com a codificação dos trabalhos selecionados para compor o *corpus* de análise encontra-se na sessão de resultados e discussão.

A análise de dados foi realizada considerando quatro aspectos gerais: bibliográficos, teóricos, metodológicos e didáticos (Fernandes; Campos, 2017). As categorias de análise dos dados estão no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Categorias de análise do corpus.

Aspectos Bibliográficos				
Tipo de Trabalho	Artigo	Resumo Simples	Trabalho Completo	
Aspectos Teóricos				
Tipo de Pesquisa	Teórica		Aplicada	
Linha de Pesquisa	CTS; Currículo e Avaliação; Diversidade e Inclusão; Estudos de Gênero.	Educação em espaços não-formais e Divulgação Científica Ensino e Aprendizagem	Experimentação no Ensino; Formação de Professores; História, Filosofia e Sociologia da Ciência.	Linguagem e Cognição; Materiais Didáticos; TIC. Educação Ambiental;
Aspectos Metodológicos				
Método de Pesquisa	Qualitativo		Quantitativo	Misto
Modalidade de Pesquisa	Bibliográfica; Documental; Experimental.	Etnográfica; Estudo de caso; Pesquisa-Ação.	Intervenção; Historiográfica; Desenvolvimento.	
Instrumentos de Coleta de Dados	Produções escritas; Questionário; Entrevista.		Gravação de áudio; Gravação de vídeo; Fotografia.	
Sujeitos de Pesquisa	Ensino Fundamental	Ensino Médio	Ensino Superior	Professores
Aspectos Didáticos				
Recursos Didáticos	Vídeos; Textos; Imagens; Palestras; Folders.		Jogos; Aplicativos; Experimentos; Visitas técnicas; Cartilhas.	
Objetos de Conhecimento	Radioatividade; História da radioatividade; Raios x; Raios gama; Fissão e fusão.		Decaimento radioativo; Energia nuclear; Radiação; Partículas alfa e beta.	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Todos trabalhos selecionados para análise foram lidos integralmente e posteriormente categorizados pelos autores deste estudo de forma independente. Em caso de discordância, os trabalhos foram lidos novamente e discutidos entre os pesquisadores até chegar a um consenso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a busca nos periódicos e nos anais do ENEQ, foram selecionados 23 estudos distribuídos em três tipos: artigo (4), resumo simples (5) e trabalho completo (14). Esse resultado aponta para uma quantidade considerável de estudos publicados nos anais do ENEQ. Por outro lado, há uma escassez de estudos sobre radioatividade publicados nas revistas da área de Ensino de Química (apenas quatro nos últimos cinco anos). Todos os trabalhos selecionados no ENEQ correspondem aos anais do evento realizado em 2020. Nos anais do evento realizado em 2018 não foi identificado nenhum estudo sobre o ensino de radioatividade. Esse resultado corrobora com a revisão da literatura realizada por Rodrigues e Toledo (2020).

Dados básicos dos trabalhos analisados encontram-se no Quadro 2:

Quadro 2 - Código, título e origem dos estudos analisados.

CÓDIGO	TÍTULO	ORIGEM
A1	Uma educadora científica do século XIX e algumas questões sexistas por ela enfrentadas: Marie Curie superando preconceitos de gênero	Educación Química
A2	O ensino de radioatividade em química e a educação ambiental no aspecto da racionalidade	Revista Debates em Ensino de Química
A3	TAPEQUIM: Uma tabela periódica que contribui para o ensino de radioisótopos naturais na perspectiva de uma aprendizagem significativa crítica	Revista Debates em Ensino de Química
A4	Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear	Educação Química em Punto de Vista
RS1	“Chernobyl Ataca” e “Nobel ou Nada”: utilizando jogos didáticos para o ensino de radioatividade e tabela periódica	Anais do XX ENEQ
RS2	Analisando elementos da transposição didática interna em vídeos-aula sobre radioatividade	Anais do XX ENEQ
RS3	Ciência, tecnologia e sociedade (CTS): abordagem crítica no ensino de radioatividade por meio das usinas nucleares	Anais do XX ENEQ

RS4	Utilização de desenhos da série Os Simpsons em debate sobre radioatividade para desenvolver a habilidade de argumentação em alunos do 2º ano EM	Anais do XX ENEQ
RS5	A vida de Marie Curie em um jogo didático: a história da ciência em foco	Anais do XX ENEQ
TC1	A abordagem histórica da radioatividade em livros didáticos de química e física do PNL D 2018	Anais do XX ENEQ
TC2	Análise da aplicação de um estudo de caso para o ensino de radioatividade no contexto da energia nuclear	Anais do XX ENEQ
TC3	Análise da significação do conhecimento científico por meio da construção e divulgação de curtas-metragens no ensino de radioatividade	Anais do XX ENEQ
TC4	Caracterizando contextos e visões de ciência sobre a temática radioatividade em vídeos disponíveis no youtube	Anais do XX ENEQ
TC5	Desativação de usinas nucleares: uma sequência didática para abordagem da radioatividade no ensino médio	Anais do XX ENEQ
TC6	Discutindo conteúdos de radioatividade à luz de Ausubel: utilização de um documentário como recurso didático	Anais do XX ENEQ
TC7	Encontro nacional de ensino de química e suas contribuições para o ensino de radioatividade	Anais do XX ENEQ
TC8	Mapeamento dos trabalhos do encontro nacional de pesquisa em educação em ciências – ENPEC (2011 a 2019) dos temas Marie Curie e radioatividade	Anais do XX ENEQ
TC9	O uso de role playing-game para ao ensino de química: radioatividade	Anais do XX ENEQ
TC10	Radiação: um recurso didático para o ensino da ciência nuclear e suas tecnologias no ensino básico	Anais do XX ENEQ
TC11	Análise dos conteúdos publicados em studygrams sobre fissão e fusão nuclear	Anais do XX ENEQ
TC12	O caso Pierre e Marie Curie: a opressão de gênero pautada no ideal de amor romântico	Anais do XX ENEQ
TC13	A ciência pelo cientista - Marie Sklodowska Curie: uma nova abordagem para o ensino de química	Anais do XX ENEQ
TC14	A imagem de Marie Curie e de seu fazer científico: relações de gênero em narrativas históricas	Anais do XX ENEQ

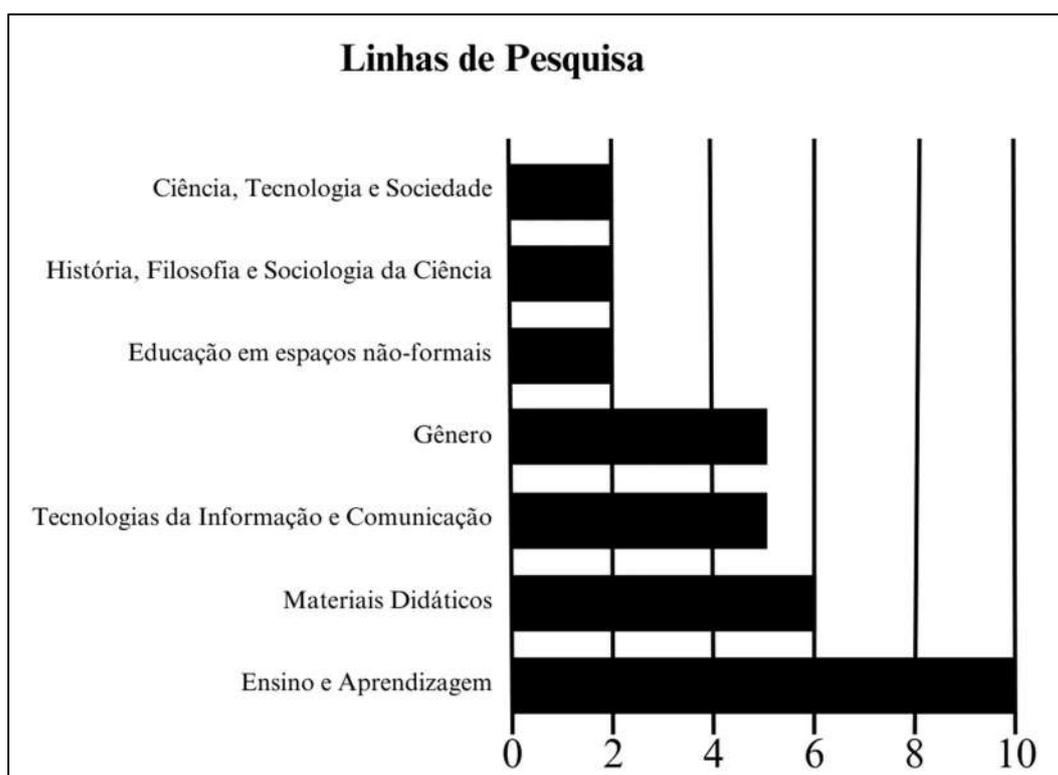
Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação ao tipo de estudo, foi identificada a predominância de pesquisas aplicadas (16) em relação às teóricas ou básicas (07). Esse é um resultado positivo, pois indica que as pesquisas sobre o ensino de radioatividade realizadas nas universidades têm chegado às salas de aula, muito provavelmente, por meio de estagiários, licenciandos, pibidianos, residentes e professores de Química. A difícil transferência dos conhecimentos construídos

nas pesquisas em ensino para a sala de aula é um problema das pesquisas educacionais (MASSONI; MOREIRA, 2017).

Quanto às linhas de pesquisa, observou-se que os trabalhos selecionados estão distribuídos em sete segmentos, conforme a Figura 1:

Figura 1 - Linhas de Pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com os dados da Figura 1, a linha de pesquisa 'Ensino e Aprendizagem' foi predominante com dez estudos (A2, A3, RS2, TC2, TC4, TC5, TC6, TC7, TC9 e TC13). Dessa forma, verifica-se a preocupação dos pesquisadores com as questões relacionadas ao ensino de radioatividade, tendo em vista que, os estudantes apresentam dificuldades de aprendizagem quanto a esse objeto de conhecimento (Siersma *et al.*, 2021; López; Marco, 2022; Tsaparis; Hartzavalos; Nakiboglu, 2013; Silva; Campos; Almeida, 2013).

A segunda linha de pesquisa mais frequente foi a de 'Materiais Didáticos' com quatro estudos. Dois estudos abordaram o tema radioatividade a partir de jogos didáticos (RS1 e RS5). Outro estudo analisou como a história da radioatividade é abordada em livros didáticos (TC1). Por fim, o último estudo

classificado nesta linha (A4) elaborou uma sequência didática para o ensino do conceito de fissão nuclear.

Em seguida, duas linhas de pesquisa se destacaram com três estudos cada uma. Em relação à linha 'Tecnologias da Informação e Comunicação', os estudos se concentraram na utilização de desenhos televisivos (RS4) e de um aplicativo (TC10) para o ensino de temas relacionados à radioatividade. O outro estudo (TC11) fez um levantamento em postagens em redes sociais sobre concepções de radioatividade.

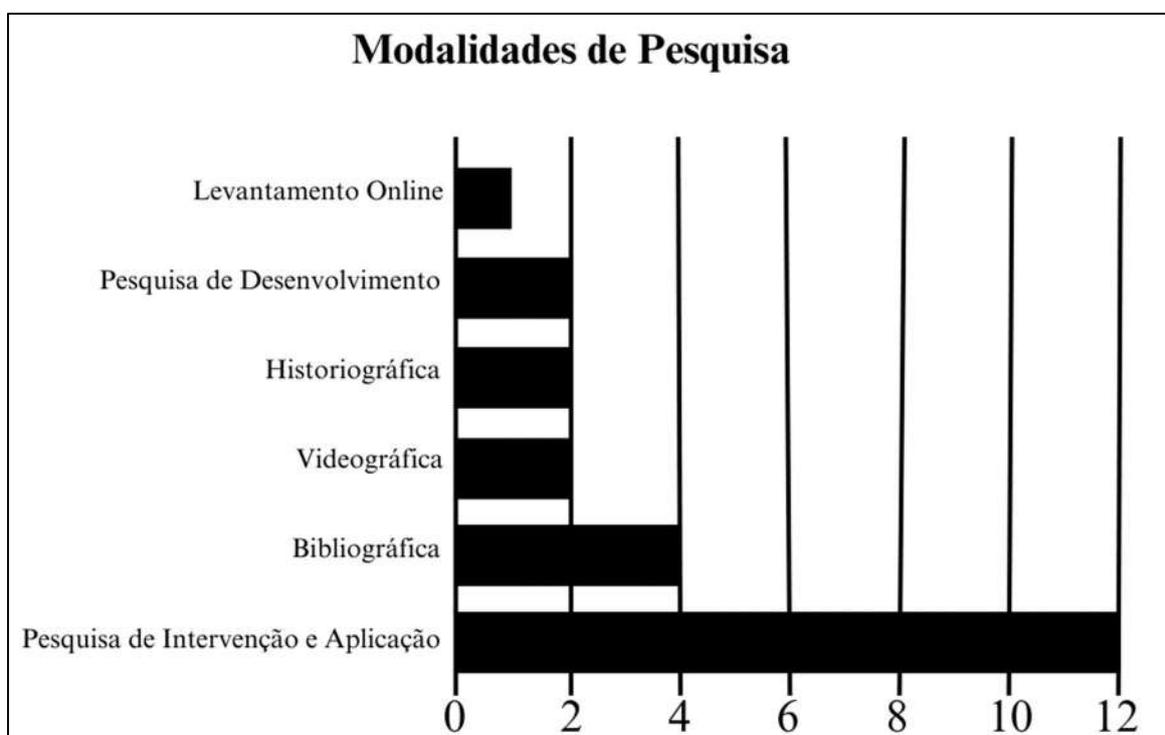
A linha de pesquisa 'Estudos de Gênero' contou com três estudos que analisaram o preconceito de gênero vivenciado por Marie Curie (A1, TC12 e TC14). Marie Curie deixou a Polônia para estudar, pois, em seu país natal, as mulheres não eram admitidas nas universidades (Quinn, 1997). Enquanto estudante estrangeira em Paris, Marie Curie teve que adotar uma série de comportamentos para a sua proteção e preservação da sua reputação de 'estudante séria' antes de se casar com Pierre Curie (Pugliese, 2012). Após o casamento, algumas portas se abriram por ser esposa de um cientista em ascensão, por outro lado, alguns passaram a atribuir o sucesso científico do casal apenas a Pierre Curie (Pugliese, 2012). Com a morte prematura do marido, Marie Curie continuou as pesquisas sobre radioatividade e por diversas vezes teve que fornecer mais evidências experimentais do que seus colegas de profissão para ter seus resultados reconhecidos por uma comunidade científica predominantemente masculina (Quinn, 1977). Estudos que mostram como as questões de gênero impactam a Ciência visibilizam as desigualdades e desfazem a visão romântica de que a Ciência tem gênero neutro (Schiebinger, 2001). Pelo contrário, o gênero privilegiado pela Ciência sempre foi o masculino (Keller, 1995).

Não foram identificadas pesquisas nas seguintes linhas: Currículo e Avaliação, Diversidade e Inclusão, Educação Ambiental, Experimentação no Ensino, Formação de Professores, Linguagem e Cognição. Esse resultado indica a necessidade de mais estudos que contemplem toda a diversidade das linhas de pesquisa em Ensino de Química. Nesse sentido, estudos relacionando radioatividade a impactos ambientais poderiam contribuir para o ensino de Química comprometido com o meio ambiente. Da mesma forma, estudos envolvendo propostas curriculares para o ensino de radioatividade são

necessários, pois esse objeto de conhecimento está contemplado na BNCC (Brasil, 2018). No que se refere à formação de professores, além da ausência de estudos na área de ensino, há uma lacuna no Brasil em relação ao ensino de radioatividade nos cursos de Licenciatura em Química (Zapateiro; Figueiredo, 2020; Moraes; Silva, 2020).

No que se refere à modalidade de pesquisa, predominaram estudos interventivos de aplicação (A2, A3, RS1, RS3, RS4, TC2, TC3, TC5, TC6, TC9, TC10 e TC13) e bibliográficos (TC1, TC7, TC8 e TC14). As modalidades de pesquisa identificadas nos estudos analisados são apresentadas na Figura 2:

Figura 2 - Modalidades de Pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo Teixeira e Megid Neto (2017, p. 1068/1069), as pesquisas de aplicação “Envolvem o planejamento, a aplicação (execução) e a análise de dados sobre o processo desenvolvido, em geral, tentando delimitar limites e possibilidades daquilo que é testado ou desenvolvido na intervenção”. Essa modalidade de pesquisa analisa os dados de uma intervenção buscando avaliar se os objetivos didáticos em termos de aprendizagens, habilidades ou competências foram atingidos. Em resumo, o foco é avaliar o impacto didático da intervenção.

Os estudos bibliográficos também se destacaram, totalizando quatro pesquisas. Segundo Gil (2022, p. 44) “A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Pesquisas bibliográficas apresentam um panorama sobre as produções científicas em temas específicos. Dessa forma, essas pesquisas permitem mapear o que tem sido produzido e apontar as lacunas que podem ser preenchidas a partir da realização de novos estudos. Em relação aos estudos analisados, observou-se que nenhum deles investigou a produção científica internacional sobre o ensino de radioatividade, todos voltaram-se para anais do ENEQ (TC7 e TC14), ENPEC (TC8 e TC14) e livros didáticos (TC1). Também, verificou-se que essas pesquisas não analisaram a produção científica nacional ou internacional publicada em periódicos da área de Ensino de Ciências/Química.

No que se refere à coleta de dados das pesquisas analisadas, foi observado que alguns estudos utilizaram mais de um instrumento. Mais da metade dos trabalhos não foram contabilizados na Figura 3, pois considerou-se apenas os instrumentos para coleta de dados das pesquisas aplicadas com a participação de sujeitos. Nesse sentido, não foram contabilizados os estudos que analisaram vídeos (RS2 e TC4), postagens em redes sociais (TC11), pesquisas bibliográficas (TC1, TC7, TC8 e TC14), historiográficas (A1 e TC12), de produção de materiais didáticos (A4) e RS5) ou que não explicitaram quais instrumentos foram utilizados para coletar dados (RS4).

Figura 3 - Instrumentos de coleta de dados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os principais instrumentos de coleta de dados usados nas pesquisas foram exercícios (A2, RS1, TC2, TC5, TC6, TC9 e TC10), questionários (RS1, TC2, TC3, TC10 e TC13) e observações (A2, TC2, TC6 e TC9). A coleta de dados a partir de exercícios é incompleta, pois nesse tipo de atividade didática são avaliadas habilidades instrumentais básicas, tais como: memorização de conceitos e cálculos (Gonçalves *et al.*, 2007). Por outro lado, a coleta de dados a partir da resolução de problemas pode revelar como os conhecimentos prévios foram mobilizados para encontrar a solução para um enunciado complexo que exige a tomada de decisão e a relação entre vários objetos de conhecimento (Gonçalves *et al.*, 2007). Apesar da completude da resolução, o uso de problemas como instrumento de coleta de dados ocorreu em apenas um estudo (TC5). A partir desses dados foi possível observar que a disparidade no uso de problemas e exercícios no ensino de Química se repete quando essas atividades didáticas são utilizadas como instrumentos de coleta de dados.

Todos os trabalhos que utilizaram a observação também usaram questionários para coletar dados. Nesse sentido, percebe-se que os autores apostaram na complementaridade entre esses instrumentos. Quando usada como principal instrumento ou associada a outros, como o questionário, a observação possibilita o contato direto do pesquisador com o fenômeno investigado (Lüdke; André, 2014). Esse contato direto é a principal vantagem da observação sistemática enquanto instrumento de coleta de dados. Por sua vez, os questionários são os instrumentos de coleta de dados mais utilizados para a coleta de opiniões nas pesquisas (Massoni; Moreira, 2017). Entre outros motivos, isso ocorre em função da facilidade de obter dados de um grande número de sujeitos. Além disso, pode ser enviado eletronicamente e não prescinde da presença do pesquisador no momento das respostas. Nesse sentido, questionários bem elaborados podem trazer à luz dados significativos para as pesquisas educacionais.

As produções escritas foram utilizadas em três estudos. Foram categorizados como produções escritas, textos dissertativos e argumentativos elaborados pelos sujeitos de pesquisa (A3, RS3 e TC13). “A escrita ainda é pouco explorada nas aulas de Química, o que pode causar estranheza por parte dos alunos, quando lhes são propostas atividades desse tipo” (Gatti *et al.*, 2016, p. 140). No entanto, as produções escritas permitem avaliar as compreensões dos estudantes em relação aos objetos de conhecimento e ao desenvolvimento de habilidades e competências nos campos da comunicação e expressão.

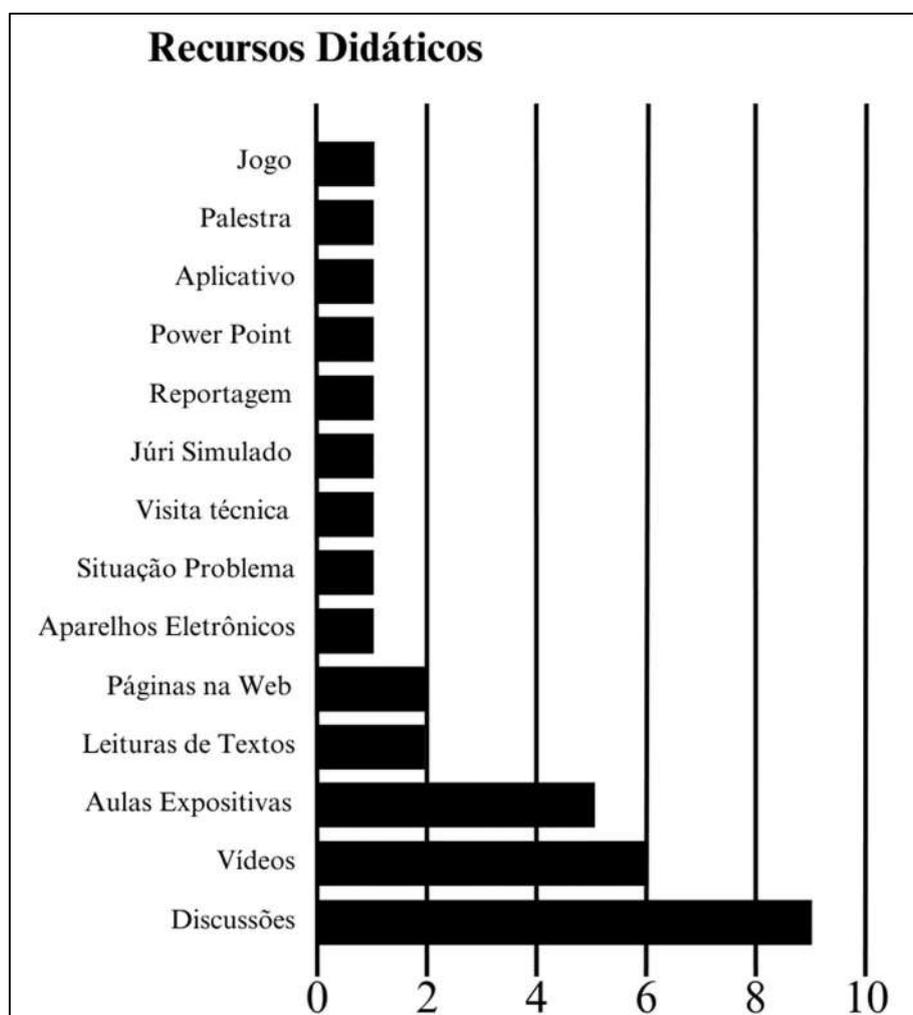
Os demais instrumentos de coleta de dados foram menos utilizados. No entanto, a diversidade de instrumentos mostra que os pesquisadores dispõem de várias ferramentas para coletar dados audiovisuais e escritos.

Dos estudos analisados, doze tiveram a participação de sujeitos de pesquisa. Os demais trabalhos foram classificados como teóricos ou analisaram dados escritos ou audiovisuais. Apenas dois trabalhos envolveram mais de um grupo de sujeitos (TC10 e TC13). Predominaram pesquisas desenvolvidas com alunos do Ensino Médio (A2, RS1, RS3, RS4, TC2, TC3, TC5, TC6, TC9, TC10 e TC13), totalizando dez. Apenas um estudo teve como sujeitos alunos do Ensino Superior (TC10) e outro alunos dos Anos Finais do Ensino Fundamental (TC13). Esse dado pode ser explicado pela inclusão da radioatividade entre os objetos de conhecimento do Ensino Médio, inclusive antes da BNCC. Por outro

lado, as pesquisas sobre o ensino de radioatividade no Ensino Superior são escassas, pois este é um tema pouco abordado na formação inicial de professores de Química (Zapateiro; Figueiredo, 2020; Morais; Silva, 2020). Além disso, a ausência de estudos sobre o ensino de radioatividade no Ensino Superior “[...] é preocupante, na medida em que a falta de pesquisa em como ensinar esse conteúdo, envolvendo os futuros professores, aponta para a escassa reflexão sobre esta temática [...]” (Silva; Campos; Almeida, 2013b, p. 55).

Observou-se que os estudos sobre o ensino de radioatividade utilizaram diversos recursos didáticos, conforme pode ser observado na Figura 4:

Figura 4 - Recursos didáticos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Pelo visto, predominaram discussões (A2, A3, RS3, RS4, TC2, TC5, TC6, TC10 e TC13) e vídeos didáticos (A2, A4, RS3, TC3, TC5, TC6 e TC9). As discussões enquanto recurso didático são ricas, pois permitem que os alunos mobilizem seus conhecimentos e os expressem na forma de um discurso argumentativo. Ao analisar os argumentos fornecidos pelos estudantes nas discussões, é possível identificar indícios de aprendizagens e do desenvolvimento de habilidades e competências (Souza; Queiroz, 2018).

Quanto aos vídeos didáticos, Morán afirma que:

O vídeo ajuda a um bom professor, atrai os alunos, mas não modifica substancialmente a relação pedagógica. Aproxima a sala de aula do cotidiano, das linguagens de aprendizagem e comunicação da sociedade urbana, mas também introduz novas questões no processo educacional (Morán, 1995, p. 27).

Os vídeos didáticos são recursos didáticos utilizados frequentemente no ensino de radioatividade, muito provavelmente, porque exploram elementos audiovisuais que proporcionam uma experiência completa em relação aos fenômenos radioativos. Tais experiências não seriam possíveis por meio da experimentação, tendo em vista que, a manipulação de substâncias radioativa é perigosa. Nesse sentido, os vídeos didáticos permitem que os estudantes entrem em contato com a história da radioatividade por meio de filmes (*Radioactive*), séries (*Chernobyl*) e documentários (*Césio-137*, *O Pesadelo de Goiânia*). Adicionalmente, vídeos sobre radioatividade apresentam substâncias (rádio, césio, urânio etc.), equipamentos (reatores nucleares, bombas atômicas, contadores Geiger-Müller etc.) e procedimentos (geração de energia, radioterapia, produção de radioisótopos etc.) que jamais poderiam ser visualizados, manipulados ou realizados em laboratórios de ensino.

Os outros recursos didáticos mencionados na Figura 4 foram menos utilizados. Mas a diversidade aponta que os recursos foram planejados levando em consideração o contexto escolar nos quais foram utilizados. Os recursos didáticos não são universais, cabe ao professor utilizar os melhores recursos didáticos disponíveis e adequados a realidade das suas salas de aula.

Em relação aos objetos de conhecimento, foram identificadas três categorias nos estudos analisados: ensino de radioatividade e conceitos relacionados (08), aplicações dos fenômenos radioativos (08) e história da

radioatividade (08). Três estudos não abordaram nenhum objeto de conhecimento, pois focaram nas questões de ensino. Por outro lado, outros estudos abordaram mais de um objeto de conhecimento.

Em relação ao ensino de radioatividade, alguns estudos analisados abordaram o conceito de radioatividade de forma geral (A2, RS1, RS2, TC4 e TC6) enquanto outros se dedicaram a conceitos mais específicos: fusão e fissão nuclear (A4, TC6 e TC11), radiação (TC6) e radioisótopos (A3). Outros conceitos relacionados à radioatividade, tais como: decaimento, período de meia-vida, partículas alfa e beta, não foram contemplados em estudos específicos.

Dos estudos analisados, oito estudos problematizaram as aplicações da radioatividade. A maioria optou pela energia nuclear (RS3, TC2, TC4, TC5 e TC9). Essas pesquisas abordaram como a energia nuclear é produzida, bem como os aspectos positivos e negativos relacionados à geração de energia pelas usinas nucleares. Os demais estudos abordaram as questões ambientais a partir da discussão do acidente radiológico que ocorreu em Goiânia (GO), em 1987, com o radioisótopo césio-137 (A2 e TC3). Outro estudo abordou os impactos à saúde humana causados pelo contato com resíduos radioativos (RS4). O descarte de resíduos radioativos é um problema global. As usinas nucleares utilizam pastilhas de combustível físsil (urânio-235 ou plutônio-239), que após o uso são armazenadas em depósitos temporários à espera de um destino final. Porém, os depósitos estão chegando ao limite de sua capacidade e não existem ainda alternativas viáveis para reciclar ou reutilizar esses resíduos (Goldemberg; Lucon, 2018).

Os aspectos históricos relacionados à radioatividade foram abordados em oito estudos. A biografia e as contribuições científicas de Marie Curie foram discutidas em cinco pesquisas (A1, RS5, TC12, TC13 e TC14). A ênfase em Marie Curie é compreensível, pois é a cientista ocidental mais famosa. Pioneira nos estudos sobre radioatividade, ela foi laureada com dois prêmios Nobel (Física, 1903 e Química, 1911) e descobriu dois elementos químicos radioativos (polônio e rádio), entre outras contribuições científicas (Quinn, 1997). No entanto, o reconhecimento científico de Marie Curie acabou ofuscando as contribuições de outras mulheres na Ciência (El Jamal; Guerra, 2022). Para alguns cientistas, o reconhecimento das contribuições científicas de Marie Curie é suficiente para declarar que as mulheres são valorizadas na Ciência, no

entanto, a realidade é bem diferente. A própria Marie Curie foi vítima em diversos episódios de assédio, sexismo e misoginia ao longo de sua carreira científica (McGrayne, 1994). Um dos episódios mais significativos do sexismo acadêmico, ocorreu quando ela não foi aceita como membro da Academia de Ciências da França, em 1911 (Quinn, 1997).

Dois outros estudos abordaram a história da radioatividade de forma geral, descrevendo as primeiras observações dos fenômenos radioativos por Roentgen, Becquerel e Marie e Pierre Curie no final do século XIX e no início do século XX (TC1 e TC4). Por fim, um trabalho descreveu a história da fissão nuclear (A4), cuja descoberta contou com a participação de vários cientistas, e destacou as contribuições de três mulheres: Ida Noddack (sugeriu a possibilidade da fissão em 1934), Irène Joliot-Curie (realizou experimentos de fissão, mas os interpretou de forma equivocada em 1938) e Lise Meitner (realizou experimentos de fissão, mas só os interpretou corretamente em 1938) (Ribeiro; Fernandes, 2022).

De uma forma geral, observou-se que os estudos analisados sobre ensino de radioatividade nos últimos cinco anos: (i)- são pesquisas aplicadas; (ii)- pertencem a linha de pesquisa 'Ensino e Aprendizagem'; (iii)- são estudos interventivos; (iv)- utilizam diversos recursos didáticos, principalmente discussões e vídeos; (v)- coletam dados a partir de questionários e respostas a exercícios; (vi)- são direcionados a estudantes do Ensino Médio; (vii)- abordam objetos de conhecimentos relacionados à radioatividade forma geral, história da radioatividade e aplicações dos fenômenos radioativos.

Além dessas características gerais, observou-se as seguintes lacunas: (i)- ausência de estudos relacionando a radioatividade e a formação de professores; (ii)- falta de recursos didáticos e sequências didáticas inclusivas; (iii)- poucos estudos publicados em periódicos nacionais nos últimos cinco anos; (iv)- carência de pesquisas sobre radioatividade nos currículos do Ensino Superior;

As características e as lacunas evidenciadas sobre as pesquisas nacionais em ensino de radioatividade refletem o modo como os pesquisadores brasileiros têm abordado esse objeto de conhecimento nos últimos cinco anos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo traçou o perfil das publicações sobre o ensino de radioatividade em periódicos nacionais da área de Ensino de Química e nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química. Os estudos analisados apresentam diversas propostas para o ensino de radioatividade no ensino médio. No entanto, foram percebidas algumas lacunas nas publicações, como a ausência de estudos relacionando o ensino de radioatividade e a formação de professores de Química e o baixo número de artigos publicados em periódicos da área de Ensino de Química.

Além da radioatividade natural devido a presença de inúmeros radioisótopos na água, no solo e no ar, cada vez mais a sociedade tem entrado em contato com produtos irradiados ou que contém isótopos radioativos, tais como: radiofármacos à base de Tc-99m, materiais cirúrgicos e alimentos irradiados com radiação gama, equipamentos de radioterapia etc. Tendo em vista essas aplicações, mais do que nunca é necessário compreender os fenômenos radioativos. Essa compreensão é necessária, pois a radioatividade é vista com desconfiança e medo por uma parcela da sociedade que não esquece os danos causados por bombas nucleares (Hiroshima, Nagasaki), acidentes radioativos (Chernobyl, Fukushima) e acidentes radiológicos (Goiânia). Acreditamos que abordagens didáticas adequadas podem contribuir para que a sociedade compreenda a radioatividade e suas aplicações sem temê-las.

A diversidade de pesquisas, propostas de ensino e recursos didáticos mostram a originalidade dos estudos nacionais sobre o ensino de radioatividade. Esses estudos podem ser adaptados e aplicados em outros contextos na Educação Básica. Dessa forma, essas pesquisas podem contribuir para as aprendizagens de mais estudantes.

Destaca-se que a meta-análise qualitativa realizada neste estudo não esgota as possibilidades de avaliar a produção científica sobre ensino de radioatividade em âmbito nacional. Contudo, os resultados obtidos apresentam as principais características dos estudos publicados nos últimos cinco anos em periódicos e no principal evento brasileiro da área de Ensino de Química.

Por fim, espera-se que esta revisão sistemática da literatura oriente o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o ensino de radioatividade que

complementem as que foram analisadas e contemplem outras linhas de pesquisa, níveis de ensino e objetos de conhecimento relacionados à radioatividade e suas aplicações científicas e tecnológicas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular – Etapa do Ensino Médio**. Brasília, 2018.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A Necessária Renovação do Ensino das Ciências**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DAMASIO, F.; TAVARES, A. **Perdendo o Medo da Radioatividade: pelo menos o medo de entendê-la**. Campinas: Autores Associados, 2017.

EL JAMAL, N. O.; GUERRA, A. O caso Marie Curie pela lente da História Cultural da Ciência: discutindo relações entre mulheres, ciência e patriarcado na Educação em Ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 24, n. 1, p. 1-22, 2022.

FERNANDES, L. F.; CAMPOS, A. F. Tendências de pesquisa sobre a resolução de problemas em Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 16, n. 3, p. 458-482, 2017.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2020.

GATTI, I. M. C.; AFONSO, A. F.; CERQUEIRA, P. L.; COELHO, M. M. P. Escrita e criatividade na contextualização da Química. **Revista PerCursos**, v. 17, n. 35, p. 140-159, 2016.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. S. Energia nuclear no Brasil e no Mundo. *In*: VEIGA, J. E. (Org.). **Energia Nuclear: do anátema ao diálogo**. São Paulo: Editora SENAC, 2018.

GONÇALVES, S. M.; MOSQUERA, M. S.; SEGURA, A. F. **La Resolución de Problemas em Ciências Naturales: un modelo de enseñanza alternativa y superador**. Buenos Aires: Editorial SB, 2007.

KELLER, E. F. **Reflections on Gender and Science**. New Haven: Yale University Press, 1995.

L'ANNUNZIATA, M. F. **Radioactivity**: introduction and history. Netherlands: Elsevier, 2007.

LÓPEZ, A. I. M.; MARCO, P. T. Misconceptions, knowledge, and attitudes towards the phenomenon of radioactivity. **Science & Education**, v. 32, n. 2, p. 405-426, 2022.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação**: abordagens qualitativas. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2014.

MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. **Pesquisa Qualitativa em Educação em Ciências**: projetos, entrevistas, questionários, teoria fundamentada, redação científica. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

MORAIS, M. B.; SILVA, F. C. V. Caracterizando contextos e visões de ciência sobre a temática radioatividade em vídeos disponíveis no Youtube. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 20., 2020, Recife. **Anais [...]** Recife: UFRPE/UFPE, 2020. p. 1-12.

MORÁN, J. M. O vídeo na sala de aula. **Comunicação e Educação**, v. 2, p. 27-35, 1995.

PUGLIESE, G. **Sobre o “Caso Marie Curie”**: a radioatividade e a subversão do gênero. São Paulo: Alameda, 2012.

QUINN, S. **Marie Curie**: uma vida. São Paulo: Scipione Cultural, 1997.

RIBEIRO, M. J. S.; FERNANDES, L. S. Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear. **Educação Química em Punto de Vista**, v. 6, p. 1-17, 2022.

RODRIGUES, C. A abordagem processual no estudo da tradução: uma meta-análise qualitativa. **Cadernos de Tradução**, v. 2, n. 10, p. 23-57, 2002.

RODRIGUES, J. M.; TOLEDO, E. J. L. Encontro Nacional de Ensino de Química e suas Contribuições para o Ensino de Radioatividade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 20., 2020, Recife. **Anais [...]** Recife: UFRPE/UFPE, 2020. p. 1-9.

SCHIEBINGER, L. **O Feminismo Mudou a Ciência?** Bauru: EDUSC, 2001.

SIERSMA, P. T.; POL, H. J.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VISSCHER, A. J. Pre-university students' conceptions regarding radiation and radioactivity in a medical context. **International Journal of Science Education**, v. 43, n. 2, p. 179-196, 2021.

SILVA, F. C. V.; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. Concepções alternativas de licenciandos em química sobre radioatividade. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 87-97, 2013a.

SILVA, F. C. V.; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. Alguns aspectos do ensino e aprendizagem de radioatividade em periódicos nacionais e internacionais. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 10, n. 19, p. 46-61, 2013b.

SOUZA, N. S.; QUEIROZ, S. L. Quadro analítico para discussões argumentativas em fóruns on-line: aplicação no ensino de Química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 145-170, 2018.

TEIXEIRA, P. M. M.; MEGID NETO, J. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. **Ciência & Educação**, v. 23, n. 4, p. 1055-1076, 2017.

TSAPARLIS, G.; HARTZAVALOS, S.; NAKIBOGLU, C. Students' knowledge of nuclear science and its connection with civic scientific literacy in two european contexts: the case of newspaper articles. **Science & Education**, v. 22, n. 8, p. 1963-1991, 2013.

ZAPATEIRO, G. A.; FIGUEIREDO, M. C. Elaboração e aplicação de uma situação de estudo a partir do conteúdo radioatividade: em foco a formação inicial em químicas. **Revista Prática Docente**, v. 5, n. 3, p. 1747-1765, 2020.

5 PAPER 2 – APRENDENDO SOBRE FISSÃO NUCLEAR: DESENVOLVIMENTO DE UMA CARTILHA PARA ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar os processos de elaboração e avaliação de uma cartilha sobre fissão nuclear. A cartilha foi elaborada por um mestrando em Química em Rede Nacional como produto educacional proveniente de sua dissertação. Além disso, o principal autor é professor da rede pública de ensino do estado de Pernambuco. A cartilha é destinada a estudantes do Ensino Médio e busca auxiliar na compreensão do fenômeno radioativo conhecido como fissão nuclear. A fissão nuclear é “Uma reação em cadeia em que núcleos grandes e instáveis são quebrados por projéteis – como o nêutron – produzindo núcleos menores e uma grande quantidade de energia” (Passos; Souza, 2012, p. 83). Esse fenômeno apresenta diversas aplicações, tais como: geração de energia nuclear, síntese de radiofármacos e a construção de bombas atômicas.

Em um estudo publicado recentemente, Dias, Fernandes e Campos (2023), relataram a ausência de materiais didáticos para o ensino de radioatividade. Buscando preencher essa lacuna, foi produzida uma cartilha intitulada “Aprendendo sobre Fissão Nuclear, sua História e suas Aplicações”.

METODOLOGIA

A produção desse material educacional apresenta elementos de uma pesquisa de desenvolvimento. As pesquisas de desenvolvimento de materiais educacionais geralmente são realizadas em três fases: 1 - análise das necessidades e do contexto; 2 - projeto, desenvolvimento e avaliação formativa; 3 - avaliação somativa (Mckeeney, 2001). Na fase 1, verificou-se que existe uma lacuna de materiais didáticos para o ensino de radioatividade (Dias; Fernandes; Campos, 2023). Na fase 2, o protótipo da cartilha foi construído e avaliado por um grupo de professores de Química. Na terceira fase o protótipo foi aperfeiçoado em função da análise dos professores que o avaliaram.

Após a construção, o protótipo da cartilha foi enviado para um grupo de 15 professores de Química que analisaram os aspectos positivos, negativos e forneceram sugestões de aperfeiçoamento e críticas. Os avaliadores da cartilha eram professores da educação básica e discentes do Mestrado Profissional em Química em Rede nacional (PROFQUI) de uma universidade federal situada em Pernambuco. A análise do protótipo foi realizada por meio de um questionário eletrônico construído e enviado pela plataforma *Google Forms*.

De acordo com Plomp (2007, p. 13):

[...] a pesquisa de desenvolvimento em Educação é o estudo sistemático de projetar, desenvolver e avaliar intervenções educacionais (como programas, estratégias de ensino-aprendizagem e materiais, produtos e sistemas) como soluções para problemas complexos na prática educacional, que também visa avançar nosso conhecimento sobre as características dessas intervenções e os processos de concepção e desenvolvimento das mesmas.

No presente estudo, a fase 1 foi realizada após a revisão sistemática da literatura. Nesse sentido, verificou-se que existe a necessidade da elaboração de materiais didáticos para o ensino de radioatividade e demais conceitos relacionados. O contexto do Ensino Médio exige ainda materiais didáticos, além do livro didático, que abordem os conceitos científicos de forma motivadora e contextualizada. Dessa forma, a cartilha foi elaborada pensando na articulação entre o conceito de fissão nuclear e a energia nuclear.

Na fase 2, foi desenvolvido um protótipo da cartilha sobre fissão nuclear, que foi submetido à avaliação na terceira fase. A fase 3 da pesquisa de desenvolvimento consistiu na avaliação do protótipo por um grupo de especialistas. Nesse sentido, o protótipo da cartilha foi enviado para um grupo de 15 professores de Química que analisaram aspectos positivos, negativos e forneceram sugestões de aperfeiçoamento. A análise foi realizada por meio de um questionário eletrônico enviado construído na plataforma *Google Forms*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas ao questionário encontram-se no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 - Questionário de avaliação do protótipo.

Aspectos visuais (cores, imagens, organização etc.)	Ótimo		Bom		Regular		Ruim	
	(10)	66,7%	(2)	13,3%	(2)	13,3%	(1)	6,7%
Conceitos científicos	Ótimo		Bom		Regular		Ruim	
	(9)	60%	(6)	40%	()		()	
Linguagem	Ótimo		Bom		Regular		Ruim	
	(13)	86%	(2)	13,3%	()		()	
Contextualização	Ótimo		Bom		Regular		Ruim	
	(10)	66,7%	(5)	33,3%	()		()	
Elogios								
Críticas								
Sugestões								

Fonte: Própria.

De acordo com os dados do Quadro 1, todos os indicadores avaliados obtiveram aprovação igual ou superior a 60%. Esse dado sugere que a construção da cartilha obedeceu a alguns parâmetros estéticos, linguísticos e didáticos. Dessa forma, os elogios apresentados no Quadro 2 corroboram com esses dados percentuais:

Quadro 2 - Elogios ao protótipo da cartilha sobre fissão nuclear.

Super didático e de fácil leitura e entendimento.
Muito bem elaborado, com uma linguagem e ilustrações que facilitam a compreensão dos estudantes.
Parabéns, professor. Material que irei utilizar como suporte nas minhas aulas... (apresentei para alguns alunos e estes gostaram bastante). Inclusive me encorajou a produzir o meu. Um forte abraço e que Deus dê força para que continue fazendo este tipo de trabalho!
Excelentes em didática.
Meus parabéns pela proposta. É relevante quando faz as devidas relações históricas e isso é importante para deixar claro aos estudantes o processo de construção do conhecimento científico.
Linguagem clara.
Ótima linguagem.
Excelente!
Gostei, pq está tudo muito explicativo e abordando contextualização.
Excelente trabalho! Material de primeira.

Ótima iniciativa.
Muito bom!
Material bem-organizado, fundamentado e com ilustrações adequadas que contam bem a história e desenvolvimento dos trabalhos, seguindo a ordem cronológica.
Material bem elaborado que aborda de forma clara e objetiva as principais vertentes correlatas a radioatividade.
A linguagem está bem simples e prática, facilitando para um aluno de educação básica ler e entender.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 3 apresenta as críticas ao protótipo tecidas pelos professores que participaram desta pesquisa:

Quadro 3 - Críticas ao protótipo da cartilha sobre fissão nuclear.

Não tenho.
O material não indica a faixa etária e em quais turmas pode ser utilizado.
Para o que se propõe: linguagem e visual atrativo e de leitura acessível, creio que ficou pertinente.
Sintonia nas cores.
1. Ter cuidado com a redundância no texto. 2. Apenas no final na Considerações é que você diz que o trabalho é referente a uma cartilha. Interessante explicar isso na introdução e sua utilização, sendo breve nas palavras; 3. O termo ' Fissão Nuclear' utilizado em referência as células, poderia ser substituído por ' Divisão Nuclear'? Só para diferenciar que um é relativo a Química e outro a Biologia, mas entendi sua referência!
Conteúdo resumido.
O amarelo está associado a radioatividade, mas acho que não fica agradável a leitura.
Não.
A princípio creio que a cartilha apenas para o conteúdo de fissão é pouco assunto, poderia ser de radioatividade como um todo. Também senti falta de alguns exercícios, mas não sei se no conceito de cartilha está incluso esse tipo de abordagem.
Nenhuma.
Linguagem menos científica, caso seja voltada a alunos do ensino médio.
Nenhuma.
A cor de fundo da cartilha é um pouco cansativa para a vista.
Alguns conceitos têm abordagem superficial, pouco aprofundados.
Algumas partes do texto estão sem justificar. Não tem tanta profundidade, porém dependendo do público, está legal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Algumas dessas críticas foram levadas em consideração durante a reformulação do protótipo. Dessa forma, a linguagem foi melhorada evitando a redundância e termos técnicos em excesso. As demais críticas foram desconsideradas por não se adequarem aos objetivos didáticos desse material didático. Nesse sentido, alguns conceitos foram tratados de forma superficial por

não serem importantes para o entendimento da fissão nuclear e suas aplicações. Ainda nessa perspectiva, foi mantido o termo fissão celular, pois foi a analogia com a divisão celular que gerou a expressão 'fissão nuclear'.

Após tecerem críticas, os professores forneceram sugestões para aperfeiçoamento do protótipo. Essas sugestões são apresentadas no Quadro 4:

Quadro 4 - Sugestões de aperfeiçoamento do protótipo de cartilha sobre fissão nuclear.

Não tenho.
Publica logo!
Fazer com outras temáticas também... rrsrs.
Explorar mais um pouco em atualidade.
1. Na Introdução, o início dos dois primeiros parágrafos estão com a mesma informação. Deixa o texto redundante; 2. O segundo parágrafo da Introdução, na segunda parte onde você destaca a utilização da 'energia nuclear', você poderia reescrever o texto utilizando também o termo 'radioisótopo'; 3. No capítulo 2, nos dois primeiros parágrafos contém informações repetidas e você utiliza a expressão 'muito grande'. O que é uma quantidade muito grande de energia? Se não possuir dados concretos, poderia utilizar comparações/analogias; 4. Rever o balanceamento das massas na equação química do capítulo 2.
Ampliar conteúdo.
Senti falta de informações sobre o pai da bomba atômica. E um layout branco, com detalhes amarelo nas bordas seria mais interessante do que o fundo amarelo.
Colocar animação durante o processo de fissão.
Como citei anteriormente, acho que ficaria melhor se fosse, pelo menos fissão e fusão. Poderia acrescentar filmes ou documentários como sugestão para os alunos.
Faça mais trabalhos como estes.
Linguagem mais simples e menos científica.
Nenhuma. Tudo ok!
Procura outra cor para esse plano de fundo da cartilha, ou diminui a intensidade da cor escolhida.
Poderia aprofundar mais os conceitos com alguns boxes do tipo: SAIBA UM POUCO MAIS. Seria uma forma de trazer mais informações para os leitores que queiram ir além. Outro ponto que senti falta foi a presença da temática: MEIA-VIDA, onde poderia fazer uma relação com a cinética química.
Faltou um pouco mais de ilustrações na cartilha. Aconselho a destinar um tópico a indicações para se aprofundar no assunto, como livros, documentários, filmes etc. Mas desde já parabéns pelo trabalho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

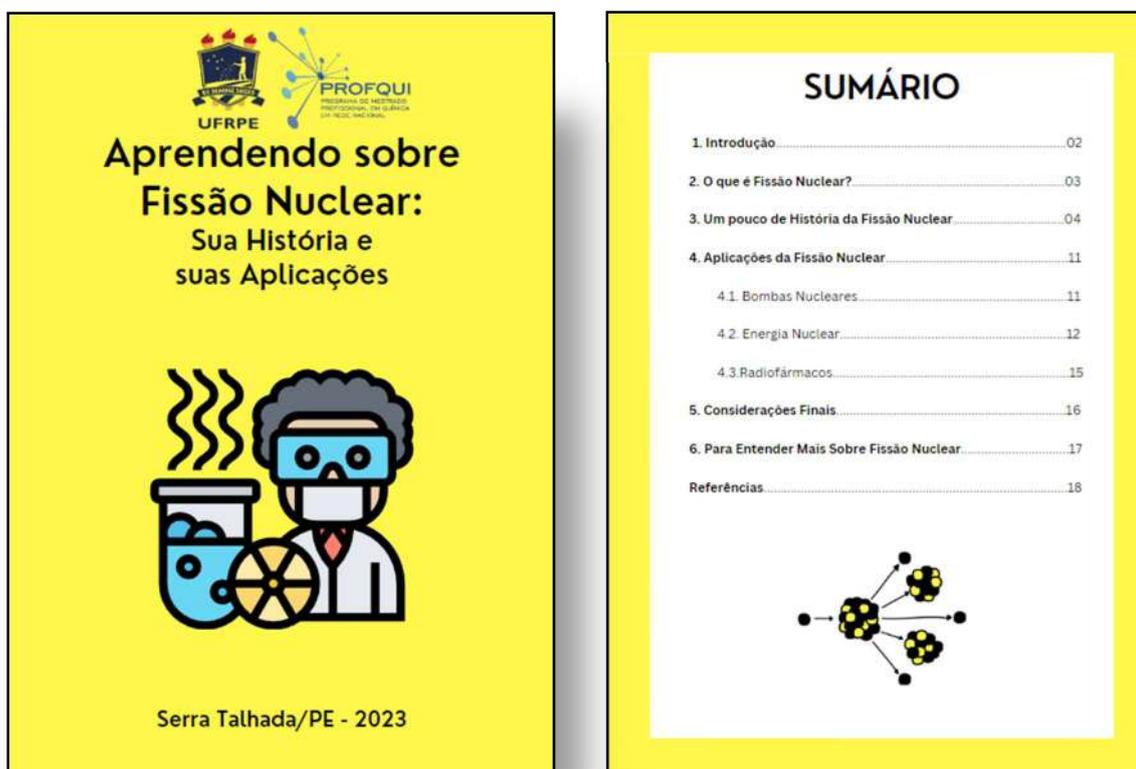
Algumas dessas sugestões guiaram o processo de revisão do protótipo de cartilha. Outras sugestões não foram implantadas por descaracterizarem a ideia da cartilha. A sugestão de inserção de conceitos básicos sobre radioatividade (meia-vida, fusão nuclear etc.) não foi atendida, pois a cartilha é indicada para estudantes que já tenham construído esses conhecimentos. Além

disso, outros *e-books* sobre radioatividade abordam esses conceitos básicos de forma didática (Aquino; Aquino, 2012; Cardoso, 2012; Carvalho; Oliveira, 2017).

Após a reformulação da cartilha considerando as críticas e sugestões, esse material será depositado no Repositório de Recursos Educacionais Abertos (EDUCAPES) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e poderá ser baixado por professores e estudantes interessados na fissão nuclear, sua história e suas aplicações (<https://educapes.capes.gov.br/>).

As Figuras 1 apresentam respectivamente a capa e o sumário da cartilha que apresenta 18 páginas. A cartilha também será utilizada durante a intervenção didática descrita no paper 3.

Figuras 1 e 2 – Capa e Sumário da cartilha sobre fissão nuclear elaborada.



Fonte: Própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração da cartilha sobre fissão nuclear representa um passo significativo na disponibilização de recursos educacionais para o ensino médio. Este material foi projetado, testado e aperfeiçoado com o intuito de preencher a lacuna existente na educação sobre fissão nuclear e radioatividade. A positiva recepção pelos professores confirma a eficácia e a importância deste recurso no contexto escolar.

A cartilha não apenas fornece uma base sobre os conceitos de fissão nuclear, mas também promove a integração desses conhecimentos ao cotidiano dos estudantes, aumentando sua compreensão. A sua disponibilização no Repositório de Recursos Educacionais Abertos (EDUCAPES) amplia o acesso e o uso por outros professores e alunos, potencializando seu impacto educacional. Espera-se que a cartilha elaborada possa ser utilizada por outros professores e que muitos estudantes se beneficiem deste produto educacional.

Por fim, é preciso destacar que ainda são necessários outros materiais para o ensino de fissão nuclear e radioatividade, tais como simulações computacionais, jogos didáticos, podcasts, entre outros. É essencial continuar a desenvolver e diversificar os materiais didáticos voltados para a radioatividade e outras áreas científicas, incorporando novas tecnologias e abordagens pedagógicas. Este trabalho reforça a necessidade contínua de inovação e adaptação no ensino de química, garantindo uma educação mais completa e atualizada para todos os estudantes.

REFERÊNCIAS

AQUINO, K. M. S.; AQUINO, F. S. **Radioatividade e Meio Ambiente**: os átomos instáveis da natureza. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2012.

CARDOSO, E. M. **Energia Nuclear e Suas Aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEM, 2012.

CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, S. M. V. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo: SBPC; Viena: IAEA, 2017.

DIAS, M. S.; FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F. Uma meta-análise qualitativa das pesquisas sobre ensino de radioatividade no Brasil. **Dynamis**, v. 29, n. 2, p. 192-909, 2023.

MCKENNEY, S. E. **Computer-based support for science education materials developers in Africa**: exploring potentials. Enschede: PrintPartners Ipskamp, 2001.

PASSOS, M. H. S.; SOUZA, A. A. **Química Nuclear e Radioatividade**. 2. ed. Campinas: Átomo, 2012.

PLOMP, T. Educational Design Research: an introduction. *In*: PLOMP, T.; NIEVEEN, N. (Orgs.). **An Introduction to Educational Design Research**. Enschede: SLO, 2007. p. 9-35.

6 PAPER 3 - Abordando a Fissão Nuclear, sua História e Aplicações: Relato de uma Pesquisa Interventiva no Ensino Médio.

INTRODUÇÃO

Além da radioatividade natural decorrente da presença de diversos radioisótopos na água, no solo e no ar (Aquino; Aquino 2012), a sociedade tem cada vez mais interagido com produtos irradiados ou que contêm isótopos radioativos, como por exemplo: radiofármacos à base de Tc-99m (Carvalho; Oliveira, 2017) e equipamentos de radioterapia (Silva; Campos; Almeida, 2017) etc. Tendo em vista essas aplicações, é mais necessário do que nunca compreender os fenômenos radioativos. A lembrança devido aos danos provocados por bombas nucleares (Hiroshima, Nagasaki), desastres radioativos (Chernobyl), problemas causados por contaminações com o lixo nuclear (Fukushima) e acidentes radiológicos (Goiânia) (Damasio; Tavares, 2017), faz com que a radioatividade seja vista com desconfiança e medo por uma parcela da sociedade que não compreende os procedimentos de segurança de radioproteção (Neumann, 2014).

Diante dessa realidade, é importante a construção de recursos didáticos e estratégias de ensino para abordar os fenômenos radioativos e suas aplicações em sala de aula, nos níveis de Ensino Médio e Superior. A elaboração de estratégias de ensino pautadas na História da Ciência e em evidências científicas poderá contribuir para a desconstrução da imagem negativa da radioatividade. Especificamente em relação ao conceito de fissão nuclear, estudos tem evidenciado diversos problemas de aprendizagem e concepções alternativas, tendo em vista que os estudantes não compreendem bem esse conceito e temem algumas de suas aplicações, como a geração de energia nuclear (Damasio; Tavares, 2017).

Este trabalho tem como objetivo geral: *Avaliar a utilização de uma sequência de ensino e aprendizagem baseada na história e nas aplicações da fissão nuclear para o processo de aprendizagem de estudantes do Ensino Médio.*

A seguir serão apresentados os procedimentos metodológicos que guiaram a construção, aplicação e análise dos dados de uma pesquisa

interventiva que abordou a fissão nuclear e suas aplicações por meio de uma sequência de ensino e aprendizagem com alunos do ensino médio.

METODOLOGIA

Esta pesquisa envolveu a aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre a fissão nuclear contextualizada à geração de energia nuclear. A seguir, serão apresentados os sujeitos de pesquisa, os instrumentos de coleta de dados e os procedimentos de análise. Antes dessa aplicação realizada entre abril e maio, foi realizado um estudo piloto visando testar os instrumentos de coleta de dados e aperfeiçoar a sequência de ensino e aprendizagem para sua aplicação definitiva. Os resultados do estudo piloto foi submetido e aprovado no ENEQ (Apêndice D).

Este estudo apresenta características do método qualitativo, pois os dados foram analisados de forma descritiva e interpretativa (Lüdke; André, 2014). Apresentamos os resultados de uma pesquisa interventiva de aplicação. Segundo Teixeira e Megid Neto (2017, p. 1068-1069), as pesquisas interventivas de aplicação são:

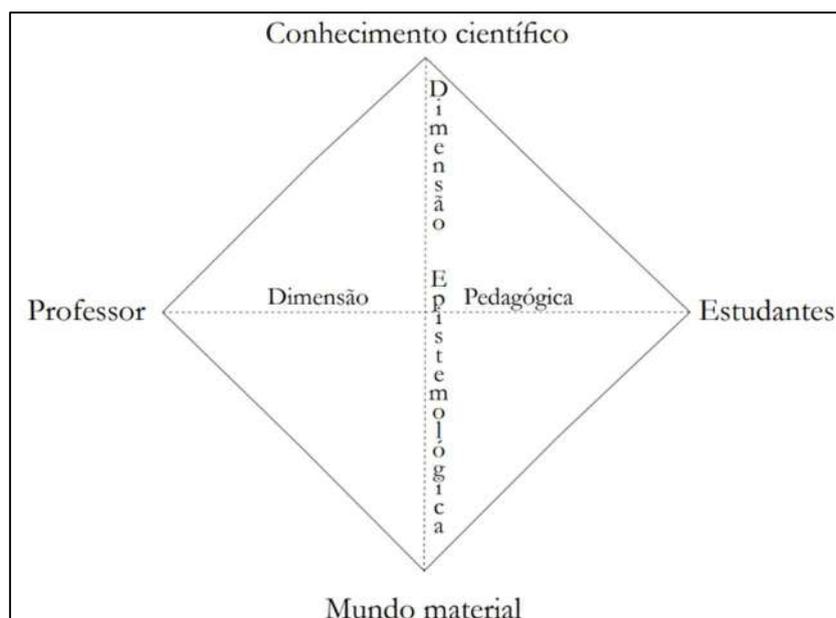
[...] “investigações baseadas em projetos nas quais as prioridades de investigação são definidas integralmente pelos pesquisadores. Envolvem o planejamento, a aplicação (execução) e a análise de dados sobre o processo desenvolvido, em geral, tentando delimitar limites e possibilidades daquilo que é testado ou desenvolvido na intervenção.

De acordo com Méheut e Psillos (2004, p. 516, tradução do autor):

Uma sequência de ensino e aprendizagem é tanto uma atividade de pesquisa intervencionista quanto um produto, como uma parte da unidade curricular tradicional, que inclui atividades de ensino e aprendizagem bem pesquisadas, empiricamente adaptadas ao raciocínio do aluno. Às vezes, diretrizes de ensino abrangendo reações esperadas do aluno também são incluídas.

A sequência de ensino e aprendizagem elaborada levou em consideração as dimensões epistêmicas e pedagógicas recomendadas por Méheut e Psillos (2004). Na dimensão epistêmica, que envolve a ligação entre o conhecimento científico e o mundo material, foi priorizada a contextualização entre a fissão nuclear, a geração de energia nuclear e a região onde uma usina nuclear pode ser construída, no sertão de Pernambuco próximo aos estudantes (aproximadamente 130 Km entre Itacuruba e Serra Talhada). Na dimensão pedagógica, foi levada em consideração a relação entre o professor e os estudantes, nesse sentido, foram propostas atividades potencialmente argumentativas visando discussões sob diferentes pontos de vista (Silva; Wartha, 2018). As dimensões formam um losango didático conforme a Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Losango didático.



Fonte: Silva; Wartha (2018).

Na sequência de ensino e aprendizagem elaborada neste estudo, buscou-se a intersecção entre as dimensões epistêmica e pedagógica, conforme recomendado por Silva e Wartha (2018), de forma a não priorizar nenhuma das dimensões ou situar a sequência de ensino e aprendizagem em um dos vértices do losango didático.

A definição de sequência de ensino e aprendizagem articula-se com a dinâmica dos três momentos pedagógicos, pois apresenta caráter dialógico, construtivista e investigativo. Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018), os três momentos pedagógicos são:

Problematização Inicial: Apresentação de um problema contextualizado que exige a mobilização de conhecimentos científicos visando a interpretação e a formulação de hipóteses pelos alunos. A partir do problema, os alunos expõem suas concepções prévias / alternativas. Durante a discussão é essencial que o professor questione, compare e problematize as respostas dos estudantes. Por fim, é fundamental que os estudantes terminem esse momento reconhecendo que apresentam conhecimentos científicos insuficientes para solucionar o problema apresentado.

Organização do Conhecimento: Apresentação sistemática dos conhecimentos científicos relacionados ao problema discutido no momento anterior. Nesse momento, o professor pode utilizar os mais variados recursos didáticos e estratégias de ensino visando a construção de conhecimentos pelos alunos.

Aplicação do Conhecimento: Momento em que os estudantes mobilizam os conhecimentos construídos anteriormente para responder a um problema real. Nesse momento, é necessário que os estudantes apliquem saberes conceituais, procedimentais e atitudinais para resolver um problema novo que se articula com o apresentado anteriormente e com os conhecimentos abordados no segundo momento pedagógico.

Antes da sequência de ensino e aprendizagem ter sido aplicada, o docente já tinha abordado os conceitos de radioatividade, radiação, partículas radioativas e período de meia-vida. Portanto, as aulas seguintes foram destinadas ao ensino da fissão nuclear e demais conceitos relacionados.

Considerando a dinâmica didático-pedagógica dos três momentos pedagógicos, foi elaborada a sequência de ensino e aprendizagem apresentada no Quadro 1:

Quadro 1 - Sequência de ensino e aprendizagem sobre fissão nuclear.

Momento Pedagógico (nº de aulas)	ATIVIDADES
Problematização Inicial (1)	<p>Foi apresentada aos estudantes a seguinte questão para iniciar a discussão:</p> <p>Vocês sabiam que aproximadamente 2% da energia gerada no Brasil é de origem nuclear? Como essa energia é gerada? Quais as teorias e conceitos científicos envolvidos?</p> <p>Discussão do problema. Questionamento e comparação entre as respostas dos estudantes. Diagnóstico de concepções prévias / alternativas.</p>
Organização do Conhecimento (2)	<p>Aula expositiva e dialogada sobre o conceito de fissão nuclear e sua história.</p> <p>Aula expositiva e dialogada sobre as aplicações da fissão nuclear.</p> <p>Nessas aulas foi utilizada a cartilha elaborada como material didático complementar.</p>
Aplicação do conhecimento (2)	<p>Foi apresentado aos estudantes a seguinte situação-problema:</p> <p>Existe o projeto de implantação de uma usina nuclear em Itacuruba, as margens do Rio São Francisco, no sertão de Pernambuco. Leia a notícia que saiu no portal de jornalismo ambiental 'O Eco'. (Anexo A). Após a leitura da notícia, explique como a energia nuclear é gerada e quais princípios científicos estão envolvidos. Você é contra ou a favor da instalação da usina nuclear em Itacuruba? Apresente argumentos.</p> <p>Após a primeira aula desse momento pedagógico, os estudantes foram convidados a solucionar individualmente por escrito a situação-problema e trazê-la na aula seguinte.</p> <p>Na segunda aula, os estudantes foram reunidos em grupos de cinco componentes para solucionar a situação-problema.</p> <p>Posteriormente, as soluções de todos os grupos foram apresentadas e foi realizado um debate com os argumentos produzidos a favor e contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba.</p>

Fonte: Própria.

Com a aplicação dessa sequência de ensino e aprendizagem, pretendeu-se atingir os seguintes objetivos de aprendizagem por parte dos alunos: 1 - compreender o conceito de fissão nuclear; 2 - Entender o processo básico

envolvido na geração de energia nuclear; 3 - Relacionar a fissão nuclear à produção de energia nuclear.

A intervenção foi realizada mediante a aplicação da sequência de ensino e aprendizagem sobre fissão nuclear, descrita no Quadro 1, em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio, selecionada de forma randômica, composta por mais de 30 alunos. Contudo, foram coletados, para fim de pesquisa, os dados de apenas cinco estudantes, que autorizaram a participação neste estudo.

Antes de iniciar a coleta de dados, este projeto foi submetido ao Comitê de Ética na Pesquisa com Seres Humanos e foi aplicado após a emissão de um parecer favorável [(CAAE: 78970823.6.0000.9547; Número do Parecer: 6.787.186)]. Após a aprovação pelo Comitê, cinco alunos (A1, A2, A3, A4 e A5) aceitaram participar da pesquisa. Os estudantes maiores de 18 anos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) (Apêndice E). Os estudantes menores de 18 anos assinaram termo de assentimento livre e esclarecido (TALE) (Apêndice F) e seus responsáveis assinaram o (TCLE) (Apêndice G) concordando com a participação voluntária dos alunos neste estudo. Os demais alunos da turma participaram da sequência de ensino e aprendizagem, mas não tiveram dados coletados.

A coleta de dados foi realizada no primeiro e no terceiro momento pedagógico. Durante a problematização inicial os dados foram coletados a partir de um gravador de áudio. Esse gravador captou as concepções prévias / alternativas dos estudantes, assim como suas dúvidas e questionamentos em relação à radioatividade, fissão nuclear e energia nuclear.

Durante o momento da aplicação do conhecimento, as soluções escritas pelos estudantes individualmente para o problema foram recolhidas para análise. Além disso, nesse momento os alunos se reuniram em grupos para debater as soluções para a situação-problema. O debate teve o áudio captado para a avaliação dos argumentos produzidos pelos alunos em relação à instalação ou não da usina nuclear em Itacuruba. As transcrições das gravações de áudio e das soluções escritas encontram-se nos Apêndices H, I e J.

A análise dos dados coletados durante o primeiro momento pedagógico foi realizada mediante a comparação entre as concepções prévias / alternativas apresentadas pelos estudantes sobre radioatividade, fissão nuclear e energia

nuclear e os conhecimentos científicos aceitos atualmente pela comunidade científica.

Por sua vez, as soluções dos estudantes ao problema apresentado no terceiro momento foram analisadas por meio de rubricas. Segundo Fernandes (2021, p. 4):

Para a grande maioria dos autores, as rubricas deverão incluir o conjunto de critérios que se considera traduzir bem o que é desejável que os alunos aprendam e, para cada critério, um número de descrições de níveis de desempenho. Ou seja, para um dado critério, poderemos ter, por exemplo, três, quatro ou mesmo cinco indicadores ou descritores de níveis de desempenho que deverão traduzir, se quisermos, orientações fundamentais, para que os alunos possam regular e autorregular os seus progressos nas aprendizagens que têm de desenvolver. Assim, numa rubrica, deveremos ter sempre dois elementos fundamentais: um conjunto coerente e consistente de critérios e um conjunto muito claro de descrições para cada um desses critérios.

Nesse sentido, as soluções para a situação-problema apresentada no terceiro momento pedagógico foram analisadas a partir da rubrica do Quadro 2:

Quadro 2 - Rubrica para análise das soluções ao problema do 3º momento pedagógico.

Critérios	DESCRITORES DE DESEMPENHO		
	Solução satisfatória	Solução parcialmente satisfatória	Solução insatisfatória
Compreensão do conceito de fissão nuclear	Expressou que a fissão nuclear é o processo de divisão do núcleo causado pelo impacto de um projétil, geralmente um nêutron.	Mencionou apenas a divisão ou a explosão do núcleo atômico.	Expressou de forma completamente incorreta o conceito de fissão nuclear.
Entendimento sobre a geração de energia nuclear	Expressou corretamente seu entendimento sobre a geração de energia nuclear.	Não se aplica.	Expressou de forma incorreta seu entendimento sobre a geração de energia nuclear.
Argumentos a favor ou contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba	Apresentou argumentos válidos a favor ou contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba.	Se posicionou a favor ou contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba, mas não forneceu argumentos.	Apresentou argumentos inválidos a favor ou contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba.

Fonte: Própria.

O terceiro momento pedagógico não consistiu em uma atividade argumentativa, no entanto, os posicionamentos dos alunos a favor ou contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba, foram considerados argumentos, seguindo a definição de Leitão (2011, p. 25), para ela, argumento “[...] define-se como um conjunto mínimo de ponto de vista e justificativa”.

A partir dessa rubrica foi avaliado o desempenho dos estudantes em relação à construção de conhecimentos sobre fissão nuclear e sua aplicação para a geração de energia nuclear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 3 apresenta as concepções dos discentes sobre o conceito de fissão nuclear. Essas concepções foram coletadas por meio de gravações de áudio durante o primeiro momento pedagógico.

Quadro 3 - Concepções prévias dos estudantes sobre fissão nuclear.

Compreensão do conceito de fissão nuclear.
A2: "É a bagaceira", "Explodindo, explodindo as coisas", "um impacto!"; "um bombardeamento dos núcleos", "vão ser bombardeados também, uma reação em cadeia";
A3: "Explosão do núcleo!", "Explosão dos átomos!";
A4: "uma explosão!", "emissões de partículas", "vão ser massas menores";
A5: "vai se dividir ao meio".

Fonte: Própria.

Os dados obtidos sobre as concepções prévias apontam que a maioria dos alunos expressou de forma parcialmente correta do conceito de fissão nuclear. Algumas dessas concepções assemelham-se com as apresentadas no estudo de Tsaparlis, Hartzavalos, Nakiboglu (2013), por exemplo, a concepção de que a fissão nuclear é a explosão do núcleo/átomo (A2, A3 e A4). Essa concepção é parcialmente equivocada, pois pode evocar a imagem de uma explosão de um dispositivo baseado na detonação de substâncias por meio de reações rápidas que liberam gases e energia térmica, como a explosão da dinamite.

O aluno A2 mencionou aspectos como "um bombardeamento dos núcleos" e "uma reação em cadeia", enquanto A4 falou sobre "emissões de partículas" e que os produtos da fissão teriam "massas menores". O aluno A5 também demonstrou entendimento ao dizer que o núcleo "vai se dividir ao meio". Esses estudantes demonstraram uma compreensão básica da fissão nuclear, identificando corretamente a ideia de que o processo envolve a divisão do núcleo atômico devido ao impacto de um projétil, geralmente um nêutron, o que desencadeia uma reação em cadeia. No entanto, essa compreensão ainda não é completa, pois carece de detalhes mais precisos e do uso de terminologia científica apropriada.

Em relação à radioatividade de maneira geral, três estudantes se posicionaram julgando-a como: Algo ruim e é dolorosa (A2); É ruim (A3); É bom (A4). Esse tipo de julgamento dicotômico é superficial, pois não incorporam argumentos que o embasem. A imagem ruim da radioatividade pode ser atribuída, em parte, aos meios de comunicação que por muito tempo trataram esse tema sob a perspectiva de acidentes, desastres e bombas atômicas (Prestes; Cappelletto, 2008).

Isso indica a necessidade de estratégias didáticas com o objetivo de aperfeiçoar as concepções prévias em direção ao conhecimento científico sobre os fenômenos radioativos. É essencial que os estudantes não apenas reconheçam os elementos básicos do processo de fissão nuclear, mas também compreendam a dinâmica e a terminologia científica associada. Para isso, abordagens didáticas inovadoras utilizando recursos diferenciados, tais como: simulações computacionais, cartilhas, jogos, sequências de ensino e aprendizagem, resolução de problemas, vídeos, debates etc (Silva; Campos; Almeida, 2017; Ribeiro; Fernandes, 2022; Sales et al., 2020).

As concepções prévias dos discentes sobre a geração de energia nuclear indicam que eles não apresentam familiaridade com essa aplicação da radioatividade. Tendo em vista essa lacuna de aprendizagem, a geração de energia nuclear foi abordada no segundo momento pedagógico e ganhou destaque no momento da aplicação do conhecimento.

O Quadro 4 reúne as soluções para a situação-problema proposta no terceiro momento pedagógico. Os dados do Quadro 4 referem-se as soluções apresentadas pelos discentes durante o debate a favor ou contra a instalação da

usina nuclear em Itacuruba. Essas soluções refletem a habilidade dos estudantes em aplicar os conhecimentos construídos durante as aulas anteriores a um contexto real e próximo a eles, pois Itacuruba - PE fica a aproximadamente 130 Km da cidade de Serra Talhada - PE, local de estudo.

Quadro 4 - Argumentos a favor ou contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba.

Critérios	Argumentos a favor da instalação da usina nuclear	Argumentos contra a instalação da usina nuclear
Solução satisfatória	A2: "Eu também" (a favor), "Aumento do PIB", "Geração de empregos"; A3: "Eu sou a favor", "Porque o Brasil tem que ir para frente"; A4: "um avanço tecnológico, científico",	A2: "todo mundo com câncer!"; A3: "todo mundo contaminado"; A4: "o risco, o medo de que pode acontecer alguma coisa!". A2: "é porque eles estão pensando nos índios!";
Solução parcialmente satisfatória	A1: "Eu" (a favor);	
Solução insatisfatória	A2: "não agride o meio ambiente, infinita, muito boa"; A3: "Uma energia renovável";	

Fonte: Própria.

Os argumentos dos alunos em relação à instalação da usina nuclear em Itacuruba variam entre favoráveis e contrários. Entre os argumentos satisfatórios a favor da instalação, destacam-se menções dos alunos A1, A2, A3 e A4 mencionando benefícios como "aumento do PIB", "geração de empregos", visão de que representa "um avanço tecnológico, científico" e a necessidade do Brasil "ir para frente". Esses argumentos indicam que alguns estudantes conseguem compreender e expressar de forma adequada os potenciais benefícios econômicos e tecnológicos da instalação de uma usina nuclear. Mas desconsideram outros fatores, inclusive os ambientais. Esses argumentos a favor são os mesmos defendidos pelo grupo político interessado na construção da usina nuclear, que faz promessas de empregos e desenvolvimento para a região semiárida entre Pernambuco e Bahia (Souza, 2019).

No entanto, soluções parcialmente satisfatórias, como "Eu" (a favor), indicam falta de argumentos. A cartilha recebida pelos estudantes no segundo momento pedagógico trazia as vantagens e desvantagens da energia nuclear, mesmo assim, nenhum dos itens apontados foi lembrado pelos alunos durante

o debate. Isso mostra que eles ainda não conseguiram produzir argumentos válidos a favor ou contra à instalação da usina nuclear em Itacuruba.

Os argumentos a favor, mas insatisfatórios, como de A2, A3 e A4, não são válidos, pois a implantação de uma usina nuclear gera impactos ambientais significativos na área construída. Além disso, não se trata de uma energia renovável ou infinita, visto que o combustível físsil não é recuperado após o processo de fissão nuclear, ele é substituído (Cardoso, 2012). Esses argumentos sugerem a necessidade de maior esclarecimento sobre a natureza da energia nuclear e seus impactos ambientais (Carajilescov; Moreira, 2008).

Por outro lado, os argumentos contra à instalação foram apresentados principalmente por A3 e A4, que destacaram o medo de contaminação e os riscos envolvidos. A2, no entanto, apresentou um argumento inválido, afirmando que "todo mundo vai ter câncer", e A3 "todo mundo contaminado", enquanto A4 "o risco, o medo de que pode acontecer alguma coisa!", refletem preocupações legítimas sobre os riscos à saúde e segurança, porém, muitas vezes de forma exagerada ou sem fundamentação científica robusta. Tais argumentos indicam que, embora os alunos estejam cientes dos potenciais perigos da energia nuclear, eles podem não ter uma compreensão completa ou precisa desses riscos.

O sujeito A2 citou em sua solução contra a instalação da usina nuclear que a região escolhida é próxima de aldeias de povos originários e que esse empreendimento poderia afetar o modo de vida dessa população. Essa solução pode ter sido embasada pela reportagem que acompanhava à situação-problema (Anexo A). De fato, os indígenas, ribeirinhos e quilombolas de Itacuruba seriam afetados, sobretudo os que dependem da pesca no Rio São Francisco, que teria seu fluxo e temperatura alterados após o funcionamento da usina nuclear.

A análise das soluções aponta para a necessidade de incluir no ensino de radioatividade discussões sobre os impactos sociais, ambientais e econômicos relacionados à produção de energia nuclear. Dessa forma, os alunos poderão formular argumentos válidos sobre a geração de energia nuclear.

Essa variedade de argumentos demonstra a necessidade de aprofundar o debate sobre os prós e contras da energia nuclear, garantindo que os alunos sejam capazes de avaliar criticamente as informações e formular argumentos

bem fundamentados. O ensino deve focar em esclarecer as concepções prévias / alternativas apresentadas pelos estudantes e proporcionar uma compreensão mais abrangente dos impactos positivos e negativos da energia nuclear.

Comparando as soluções relativas ao entendimento sobre a geração de energia nuclear com os argumentos a favor ou contra a instalação da usina nuclear em Itacuruba, pode-se observar que há uma lacuna significativa no entendimento dos alunos sobre o processo de geração de energia nuclear. Essa lacuna pode ter influenciado a qualidade dos argumentos apresentados. Em nenhum momento do debate foi feita qualquer menção à fissão nuclear, que é o princípio científico mais importante por trás da produção de energia nuclear. Essa ausência é significativa, pois não foi estabelecida a relação entre esse fenômeno radioativo e a sua aplicação para fornecer energia à população.

A comparação das soluções do terceiro momento pedagógico com as concepções prévias permitiu avaliar se houve avanço no conhecimento dos estudantes. No caso específico da geração de energia nuclear, a falta de soluções satisfatórias indica que a sequência de ensino e aprendizagem pode não ter atingido os objetivos de aprendizagem pré-definidos *a priori*: 1 - compreender o conceito de fissão nuclear; 2 - Entender o processo básico envolvido na geração de energia nuclear; 3 - Relacionar a fissão nuclear à produção de energia nuclear.

Um ponto positivo da intervenção didática foi o engajamento dos estudantes para solucionar a situação-problema e participar do debate. Os sujeitos de pesquisa A2, A3 e A4, participaram intensamente das atividades propostas na sequência de ensino e aprendizagem, suas soluções demonstram que leram o problema e a reportagem e tentaram produzir argumentos válidos durante a discussão sobre a implantação da usina nuclear na cidade de Itacuruba.

Durante a pesquisa, observou-se uma baixa participação dos alunos A1 e A5. A ausência de argumentos consistentes e frequentes desses estudantes pode indicar uma falta de engajamento ou dificuldades em compreender os conteúdos abordados. Essa baixa participação pode afetar a representatividade dos dados e sugere a necessidade de estratégias diferenciadas para aumentar a interação e o envolvimento desses alunos em atividades futuras. Além disso, a escassez de suas contribuições impede uma análise completa e detalhada de

suas percepções e conhecimentos, limitando a avaliação do impacto da intervenção didática sobre todos os participantes. O mesmo entendimento é válido para a baixa adesão a participação e assinaturas de autorização dos demais alunos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência de ensino e aprendizagem foi aplicada com sucesso, embora os objetivos de aprendizagem definidos *a priori* não tenham sido atingidos completamente. Durante as aulas houve a participação ativa dos alunos e criou-se um clima diferente em comparação com as aulas ministradas comumente.

Espera-se que a sequência de ensino e aprendizagem proposta neste estudo possa ser replicada, integralmente ou de forma adaptada, por outros professores em outros contextos e que atinja os objetivos de aprendizagem pré-definidos.

A utilização da cartilha foi bem-sucedida, tendo em vista que os estudantes demonstraram interesse em ler esse material e utilizaram algumas partes dele para solucionar a situação-problema.

Os dados levantados no presente estudo corroboraram com os da literatura sugerindo dificuldades na aprendizagem em conceitos relacionados aos fenômenos radioativos e à visão negativa da radioatividade e suas aplicações.

Verificou-se a necessidade de mais estudos sobre estratégias de ensino e recursos didáticos para abordar a radioatividade no Ensino Médio e Superior. A presente pesquisa mostrou-se mais uma alternativa para o ensino de fissão nuclear contextualizado com a geração de energia nuclear.

Por fim, agradecemos aos estudantes que participaram desse estudo e lamentamos pelos que não permitiram que seus dados fossem coletados. Esse foi um dos principais obstáculos na realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, K. M. S.; AQUINO, F. S. **Radioatividade e Meio Ambiente**: os átomos instáveis da natureza. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2012.
- CARAJILESCOV, P.; MOREIRA, J. M. L. Aspectos técnicos, econômicos e sociais do uso pacífico da energia nuclear. **Ciência e Cultura**, v. 60, n.3, p. 33-36, 2008.
- CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, S. M. V. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo: SBPC; Viena: IAEA, 2017.
- DAMASIO, F.; TAVARES, A. **Perdendo o Medo da Radioatividade**: pelo menos o medo de entendê-la. Campinas: Autores Associados, 2017.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2018.
- FERNANDES, D. **Rubricas de Avaliação**. Ministério da Educação: Lisboa, 2021.
- LEITÃO S. O lugar da argumentação na construção do conhecimento em sala de aula. *In*: LEITÃO, S.; DAMIANOVIC, M. C. **Argumentação na Escola**: o conhecimento em construção. Campinas: Pontes Editores, 2011.
- LÓPEZ, A. I. M.; MARCO, P. T. Misconceptions, knowledge, and attitudes towards the phenomenon of radioactivity. **Science & Education**, v. 32, n. 2, p. 405-426, 2022.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação**: abordagens qualitativas. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2014.
- MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.
- NEUMANN, S. Three misconceptions about radiation — and what we teachers can do to confront them. **The Physics Teacher**, v. 52, n. 6, p. 357-359, 2014.
- PRESTES, M. CAPPELLETTO, E. Aprendizagem significativa no ensino de Física das radiações: contribuições da Educação Ambiental. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 20, p. 180-194, 2008.
- RIBEIRO, M. J. S.; FERNANDES, L. S. Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear. **Educação Química em Ponto de Vista**, v. 6, p. 1-17, 2022.

SALES, M. F.; SILVA, J. S.; HARAGUCHI, S. K.; SOUZA, G. A. P. Jornada radioativa: um jogo de tabuleiro para o ensino de radioatividade. **Ludus Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 74-87, 2020.

SILVA, E. L.; WARTHA, E. J. Estabelecendo relações entre as dimensões pedagógica e epistemológica no Ensino de Ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 24, n. 2, p. 337-354, 2018

SILVA, F. C. V.; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. Situação-problema sobre radioterapia no ensino superior de química: contextos de uma investigação. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n.1, p. 14-25, 2017.

SOUZA, D. **Central nuclear do Nordeste trará benefícios sociais e econômicos para região, afirma especialista**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) Ciência e Tecnologia a serviço da vida. 2019. Disponível em: Central nuclear do nordeste trará benefícios sociais e econômicos para região, afirma especialista. (ipen.br). Acesso em: 03 ago. 2024.

TEIXEIRA, P. M. M.; MEGID NETO, J. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. **Ciência & Educação**, v. 23, n. 4, p. 1055-1076, 2017.

TSAPARLIS, G.; HARTZAVALOS, S.; NAKIBOGLU, C. Students' knowledge of nuclear science and its connection with civic scientific literacy in two european contexts: the case of newspaper articles. **Science & Education**, v. 22, n. 8, p. 1963-1991, 2013.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação teve como foco investigar e implementar estratégias didáticas para o ensino da fissão nuclear, abordando sua história e suas aplicações, com o objetivo de melhorar a aprendizagem dos estudantes do Ensino Médio. Ao final, destaca-se que os objetivos de pesquisa foram atingidos plenamente, pois: (i)- Foi realizada uma pesquisa bibliográfica que analisou a produção nacional da área de Ensino de Química sobre radioatividade; (ii)- Uma cartilha foi produzida e validada por meio de uma pesquisa de desenvolvimento; (iii)- Foi realizada uma pesquisa interventiva de aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre fissão nuclear junto a estudantes do Ensino Médio.

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, alguns resultados foram publicados na forma de artigo e apresentados em evento. Nesse sentido, a pesquisa bibliográfica foi publicada na forma de artigo intitulado: “Uma Meta-Análise Qualitativa das Pesquisas sobre Ensino de Radioatividade no Brasil”.

A pesquisa de desenvolvimento gerou a cartilha que se encontra no Apêndice C intitulada: “Aprendendo sobre Fissão Nuclear: Sua História e Aplicações”. Além disso, a cartilha foi apresentada na MOMADIQ do XXII ENEQ e gerou o trabalho com o seguinte título: “Aprendendo sobre Fissão Nuclear: Desenvolvimento de uma Cartilha para Estudantes do Ensino Médio”.

Por fim, os resultados do estudo piloto da sequência de ensino e aprendizagem foi apresentado na modalidade oral no XXII ENEQ com o título: “Abordando a Fissão Nuclear, sua História e Aplicações: Relato de uma Pesquisa Interventiva no Ensino Médio”.

Dessa forma, verifica-se a produção acadêmica em todos os objetivos de pesquisa em revistas e eventos da área de Ensino de Ciências/Química.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa verificou-se que os estudantes possuem concepções alternativas sobre a fissão nuclear, o que pode dificultar a compreensão de conceitos fundamentais sobre as aplicações da fissão nuclear. A presença de concepções alternativas sobre o tema e a influência de imagens midiáticas negativas sobre a radioatividade contribuíram para a construção de entendimentos equivocados, o que reforça a necessidade de intervenções didáticas mais eficazes.

A sequência de ensino e aprendizagem baseada nos três momentos pedagógicos revelou-se uma ferramenta eficaz para abordar o tema de forma contextualizada, promovendo a articulação entre o conhecimento científico e o cotidiano dos estudantes. A cartilha elaborada como parte deste trabalho também se mostrou relevante, recebendo avaliações positivas dos especialistas e sendo bem recebida pelos estudantes.

As implicações deste estudo são significativas para o ensino de Química uma vez que demonstram que a intervenção didática aplicada pode contribuir para superar barreiras no processo de ensino e aprendizagem. No entanto, a pesquisa também revelou que há uma necessidade contínua de melhorar as abordagens didáticas, especialmente em relação ao aprofundamento de conceitos complexos como a fissão nuclear, para que os alunos possam construir uma compreensão mais robusta e crítica.

Por fim, este trabalho reforça a importância de disponibilizar materiais didáticos contextualizados e inovadores para fomentar uma educação científica que prepare os estudantes para compreender de maneira mais ampla os desafios e oportunidades que os avanços científicos, como a fissão nuclear, trazem para a sociedade.

ANEXO A – Reportagem sobre a implantação de uma usina nuclear em Itacuruba-PE

Sociedade civil cobra que Marina Silva debata projeto de Usina Nuclear de Itacuruba, em Pernambuco

A usina afetará áreas protegidas no Nordeste e o rio São Francisco. Em 2021, o STF suspendeu lei estadual que proibia geração de energia nuclear

ADRIANA AMÂNCIO ·
2 de fevereiro de 2023



Projeto da Usina Nuclear de Itacuruba, em Pernambuco. Fonte: EPE/MME

Com o início do governo de Luiz Inácio Lula da Silva (PT), os olhos dos ativistas anti energia nuclear voltaram-se para Brasília, especialmente para os Ministérios de Minas e Energia, do Meio Ambiente e o próprio Palácio do Planalto. Caberá ao Poder Executivo a decisão sobre a implantação de uma usina nuclear em Itacuruba, no sertão pernambucano.

Especialistas em geração de energia e povos tradicionais que vivem na área prevista para a instalação da usina pedem que o debate sobre o empreendimento seja democratizado. O Senado Federal chegou a realizar uma audiência pública para tratar do projeto em 2021.

Há três semanas, um representante da Articulação Antinuclear Brasileira (AAB) publicou artigo direcionado à ministra do Meio Ambiente, Marina Silva. O texto cobrava uma postura de Marina sobre os projetos de novas usinas nucleares.

“O que se constata é a ignorância da maioria da população em relação ao tema energia nuclear. Além da escandalosa falta de transparência nas decisões governamentais. Informações falsas difundidas, análises equivocadas e tendenciosas sobre a geração

elétrica a partir da energia nuclear, acabam gerando “ruído”, incompreensões, dúvidas dos reais riscos de tornarmos uma nação nuclearizada, militarizada, colaborando com a proliferação nuclear.(...) Espero que a senhora, junto ao Presidente da República, e o ministro de Minas e Energia, promovam um amplo debate democrático, sincero, transparente, focado nos interesses do povo brasileiro sobre a continuidade do Programa Nuclear Brasileiro. Em seus discursos o presidente Lula tem afirmado, e repetido, que vai democratizar os processos decisórios, com maior participação popular. O tema energético e suas consequências socioambientais não devem ser excluídos do debate democrático.”, diz trecho do artigo, publicado pelo membro da ABB, e professor aposentado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Heitor Scalabrini.

O pesquisador foi uma das poucas vozes que tentou alertar sobre os caminhos que a gestão da energia nuclear tomou durante a gestão de Jair Bolsonaro (2019-2022), quando lobistas defensores da tecnologia nuclear promoveram campanhas pró usinas nucleares, se valendo da desinformação e falta de transparência.

Um dos resultados desse intenso lobby foi o avanço do projeto da Usina Nuclear de Itacuruba, em Pernambuco, esquecido desde 2011. Em 2021, o Procurador-Geral da República, Augusto Aras, a pedido de Bolsonaro, ajuizou no Supremo Tribunal Federal (STF) uma Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI 6897) contra um artigo da Constituição do Estado de Pernambuco que veda a instalação de usinas nucleares no território estadual antes que todas as opções de fontes renováveis sejam exploradas.

Apesar da mudança de governo, especialistas temem que a pressão pró nuclear persista. Segundo Heitor Scalabrini, há um temor de que o novo ministro da pasta, Alexandre da Silveira, já considerado pela imprensa como um “grande patrocinador da mineração”, seja favorável também ao projeto em Itacuruba.

“Agora, a gente quer pegar o Lula pela palavra. Ele tem dito repetidas vezes em seus pronunciamentos que haverá uma abertura para a participação popular nas decisões, como era antes. Então, o que estamos pleiteando imediatamente é que as decisões da política energética e a questão das usinas nucleares sejam amplamente discutidas na sociedade, de forma transparente”, afirma o pesquisador.

Um dos pontos mais tensos sobre o projeto nuclear no litoral do Nordeste foi a decisão do STF. No fim de 2021, Rosa Weber, vice-presidente da Corte, julgou procedente o pedido de Aras para se declarar a inconstitucionalidade do art. 216 da Constituição do Estado de Pernambuco. Desde então, tornou-se possível que a proposta avance.

Outro ponto de atenção é que os planos da Usina Nuclear de Itacuruba nasceram na gestão de petistas. Foi à época de Dilma Rousseff na presidência da República que foi publicada a escolha da localidade de Itacuruba pela equipe técnica e por integrantes da Eletronuclear, em 2013. Antes disso, o então presidente Luiz Inácio Lula da Silva já tinha determinado, em 2008, a preferência pelo Nordeste para os próximos empreendimentos nucleares.

Impactos no rio São Francisco

O projeto da Usina Nuclear de Itacuruba, em Pernambuco, prevê a instalação de seis reatores nucleares no leito do rio São Francisco, no Sítio Belém de São Francisco, área rural de Itacuruba, região do Semiárido. O custo total da construção é de R\$ 30 bilhões e a capacidade energética do empreendimento é de 6.600 megawatts, o triplo de Angra III.

APÊNDICE A



UMA META-ANÁLISE QUALITATIVA DAS PESQUISAS SOBRE ENSINO DE RADIOATIVIDADE NO BRASIL

*A QUALITATIVE META-ANALYSIS OF RESEARCH ON RADIOACTIVITY TEACHING
IN BRAZIL*

Maxwel da Silva Dias

Licenciado em Química e Especialista em Ensino de Química e Biologia
Discente do Mestrado em Química em Rede Nacional (PROFQUI) na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Secretaria de Educação de Pernambuco
max_wel_94@hotmail.com

Lucas dos Santos Fernandes

Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)
lucas.fernandes@univasf.edu.br

Angela Fernandes Campos

Doutora em Química Inorgânica
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
afernandescampos@gmail.com

Resumo

A radioatividade é um objeto de conhecimento presente na BNCC e refere-se a um fenômeno com aplicações importantes para a sociedade, tais como: energia nuclear, radiofármacos, radioterapia etc. Tendo em vista a relevância dessa temática, o presente estudo teve como objetivo avaliar, por meio de uma meta-análise qualitativa, as publicações nacionais sobre ensino de radioatividade. Foram selecionados para análise estudos sobre ensino de radioatividade publicados nos últimos cinco anos em periódicos da área de Ensino de Química e nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química. Foram analisados 23 estudos, entre artigos (4), resumos simples (5) e trabalhos completos (14). Os resultados apontam que, de uma forma geral, os estudos analisados: (i)- são pesquisas aplicadas; (ii)- pertencem a linha de pesquisa ‘Ensino e Aprendizagem’; (iii)- são estudos interventivos; (iv)- utilizam diversos recursos didáticos, principalmente discussões e vídeos; (v)- coletam dados a partir de questionários e respostas a exercícios; (vi)- são direcionados a estudantes do Ensino Médio. Espera-se que esta revisão sistemática da literatura oriente o desenvolvimento de novas pesquisas que complementem as que foram analisadas e contemplem outras linhas de pesquisa, níveis de ensino e objetos de conhecimento relacionados à radioatividade.

Palavras-chave: Ensino de Química. Estudos. Radioatividade.

Abstract

Radioactivity is an object of knowledge present at BNCC and refers to an interest with important applications for society, such as: nuclear energy, radiopharmaceuticals, radiotherapy, etc. Considering the relevance of this topic, the present study aimed to evaluate, through a qualitative meta-analysis, national publications on teaching radioactivity. Studies on radioactivity teaching published in the last five years in journals in the field of Chemistry Teaching and in the annals of the National Chemistry Teaching Meeting were selected for analysis. 23 studies were analyzed, including articles (4), simple summaries (5) and complete works (14). The results indicate that, in general, the studies developed: (i)- are applied research; (ii)- belong to the ‘Teaching and Learning’ line of research; (iii)- these are interventional studies; (iv)- use various teaching resources, mainly advertising and videos; (v)- collected data from questionnaires and responses to exercises; (vi)- are aimed at high school students. It is expected that this systematic literature review will guide the development of new research that complements that which has been proven and encompasses other lines of research, educational levels and objects of knowledge related to radioactivity.

Keywords: Teaching of Chemistry. Studies. Radioactivity.

1 INTRODUÇÃO

A radioatividade pode ser definida como “[...] o processo de decaimento espontâneo e transformação de núcleos atômicos instáveis acompanhado da emissão de partículas nucleares e/ou radiação eletromagnética” (L’ANNUNZIATA, 2007, p. 1, tradução nossa). Esse fenômeno apresenta diversas aplicações científicas e tecnológicas (geração de energia nuclear, síntese de radiofármacos, datação arqueológica, conservação de alimentos, radioterapia etc.) e a sua compressão faz parte dos objetos de conhecimento previstos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) na etapa do Ensino Médio na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. A BNCC estabelece que sejam abordadas no Ensino Médio “[...] as consequências de emissões radioativas no ambiente e na saúde” (BRASIL, 2018, p. 549).

Alguns estudos têm apontado dificuldades por parte dos estudantes em relação à aprendizagem de radioatividade e conceitos relacionados a esse fenômeno. López e Marco (2022) resumiram algumas concepções alternativas (ideias construídas após o ensino formal que estão em desacordo com o aceito atualmente pela comunidade científica) sobre radioatividade: (i)- radiação é acumulada pela matéria; (ii)- a radioatividade é prejudicial aos seres vivos; (iii)- radiação é altamente destrutiva e perigosa; (iv)- objetos e seres expostos à radiação tornam-se radioativos; (v)- radioatividade é um fenômeno artificial; (vi)- os átomos não podem alterar a sua natureza. Além dessas concepções alternativas, também foram identificados alguns equívocos conceituais: tais como: 1)- os termos irradiação e contaminação utilizados como sinônimos; 2)- confusão entre os conceitos de fissão nuclear e fusão nuclear; 3)- os termos átomo, isótopo, radioisótopo e elemento químico não são diferenciados.

Em um estudo realizado com futuros professores de Química foram identificadas as seguintes concepções alternativas; (i)- materiais radioativos e radiação não ocorrem naturalmente, são criados artificialmente pelos cientistas; (ii)- radiação ionizante não pode ser recomendada para a conservação de alimentos; (iii)- a radioatividade pode ser detectada pelo corpo humano; (iv)- elétrons da camada de valência afetam a estabilidade nuclear (SILVA; CAMPOS; ALMEIDA, 2013a). Esses dados são preocupantes, pois as concepções alternativas dos professores podem ser compartilhadas com os alunos durante o ensino.

Soma-se às dificuldades de aprendizagem, o medo das aplicações dos fenômenos radioativos frequentemente referidos na mídia de forma negativa: bombas atômicas, acidentes em usinas nucleares, lixo radioativo, contaminações com substâncias radioativas entre outros (DAMASIO; TAVARES, 2017). Porém, essa imagem negativa pode ser minimizada a partir da construção de conhecimentos científicos sobre radioatividade e dos procedimentos de segurança que envolvem as aplicações dos fenômenos nucleares.

Uma vez construídos, os conhecimentos científicos podem ser utilizados para que os cidadãos participem de tomada de decisão em relação às aplicações da Ciência e da Tecnologia (CACHAPUZ *et al.*, 2011). Nesse sentido, conhecimentos científicos sobre radioatividade poderão ser mobilizados pelos cidadãos para a participação na tomada de decisões individuais e coletivas acerca das aplicações dos fenômenos nucleares, tais como: construção de usinas nucleares, uso de radiofármacos, realização de sessões de radioterapia, consumo de alimentos conservados via radiação ionizante etc.

Diante da importância da construção de conhecimentos sobre radioatividade, o presente estudo tem como questão de pesquisa: *Quais as características das pesquisas sobre ensino de radioatividade no Brasil?* Acreditamos que este estudo de revisão da literatura revele, entre outros aspectos, como esse objeto de conhecimento tem sido abordado nas salas de aula e quais

estratégias e recursos didáticos têm sido utilizados para melhorar as aprendizagens dos estudantes. O objetivo deste estudo é avaliar por meio de uma meta-análise qualitativa as publicações nacionais sobre ensino de radioatividade.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma pesquisa de revisão sistemática da literatura, “[...] uma modalidade de pesquisa, que segue protocolos específicos e busca dar alguma logicidade a um grande *corpus* documental” (GALVÃO; RICARTE, 2020, p. 57). Especificamente, este estudo consiste numa revisão de literatura do tipo meta-análise-qualitativa. De acordo com Rodrigues (2002, p. 26):

“[...] uma meta-análise qualitativa procura identificar, através de determinadas categorias, semelhanças e controvérsias numa quantidade de estudos da mesma área de pesquisa. Trata-se, na verdade, de um processo de descrição interpretativa, orientado por determinadas categorias teóricas. O resultado final é uma visão mais acurada do desenvolvimento da área analisada”.

Em consonância com o tipo de pesquisa, os dados foram analisados seguindo princípios do método qualitativo, sobretudo a descrição e a interpretação dos resultados (LÜDKE; ANDRÉ, 2014).

O *corpus* de análise desta pesquisa foram estudos sobre o ensino de radioatividade publicados em periódicos nacionais da área de Ensino de Química e nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) nos últimos cinco anos (2017-2022). Esse recorte foi escolhido em função da existência de outros estudos de revisão realizados anteriormente (SILVA; CAMPOS; ALMEIDA, 2013b; RODRIGUES; TOLEDO, 2020). Foram consultados todos os periódicos da área de Ensino de Química incluídos na última avaliação da qualidade dos periódicos realizada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Nesse sentido, foram consultados os seguintes periódicos: *Educación Química* (A1), *Química Nova na Escola* (A2), *Educação Química em Punto de Vista* (A3), *Revista Debates em Ensino de Química* (A3), *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química* (B4) e *Tchê Química* (C).

A busca nos periódicos foi realizada em janeiro de 2023 diretamente no site das revistas e nos anais do ENEQ realizados em 2018 e 2020. Para identificar os estudos de interesse, foram utilizadas na pesquisa as seguintes palavras-chave: Marie Curie, Pierre Curie, Becquerel, Roentgen, radioatividade, radiofármacos, radiação, fissão e fusão, decaimento, meia-vida, emissões alfa, beta e gama, radioisótopos.

Seguindo os critérios estabelecidos anteriormente, foram selecionados para análise artigos (A1...A4), resumos simples (RS1...RS5) e trabalhos completos (TC1...TC14) que apresentavam no título pelo menos uma das palavras-chave. Uma lista com a codificação dos trabalhos selecionados para compor o *corpus* de análise encontra-se na sessão de resultados e discussão.

A análise de dados foi realizada considerando quatro aspectos gerais: bibliográficos, teóricos, metodológicos e didáticos (FERNANDES; CAMPOS, 2017). As categorias de análise dos dados estão no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Categorias de análise do *corpus*.

Aspectos Bibliográficos				
Tipo de Trabalho:	Artigo	Resumo Simples	Trabalho Completo	
Aspectos Teóricos				
Tipo de Pesquisa:	Teórica		Aplicada	
Linha de Pesquisa:	CTS; Currículo e Avaliação; Diversidade e Inclusão; Estudos de Gênero.	Educação em espaços não-formais e Divulgação Científica Ensino e Aprendizagem.	Experimentação no Ensino; Formação de Professores; História, Filosofia e Sociologia da Ciência.	Linguagem e Cognição; Materiais Didáticos; TIC. Educação Ambiental;
Aspectos Metodológicos				
Método de Pesquisa:	Qualitativo		Quantitativo	Misto
Modalidade de Pesquisa:	Bibliográfica; Documental; Experimental.	Etnográfica; Estudo de caso; Pesquisa-Ação.	Intervenção; Historiográfica; Desenvolvimento.	
Instrumentos de Coleta de Dados:	Produções escritas; Questionário; Entrevista.		Gravação de áudio; Gravação de vídeo; Fotografia.	
Sujeitos de Pesquisa:	Ensino Fundamental	Ensino Médio	Ensino Superior	Professores
Aspectos Didáticos				
Recursos Didáticos	Vídeos; Textos; Imagens; Palestras; Folders.		Jogos; Aplicativos; Experimentos; Visitas técnicas; Cartilhas.	
Objetos de Conhecimento:	Radioatividade; História da radioatividade; Raios x; Raios gama; Fissão e fusão.		Decaimento radioativo; Energia nuclear; Radiação; Partículas alfa e beta.	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Todos os trabalhos selecionados para análise foram lidos integralmente e posteriormente categorizados pelos autores deste estudo de forma independente. Em caso de discordância, os trabalhos foram lidos novamente e discutidos entre os pesquisadores até chegar a um consenso.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a busca nos periódicos e nos anais do ENEQ, foram selecionados 23 estudos distribuídos em três tipos: artigo (4), resumo simples (5) e trabalho completo (14). Esse resultado aponta para uma quantidade considerável de estudos publicados nos anais do ENEQ. Por outro lado, há uma escassez de estudos sobre radioatividade publicados nas revistas da área de Ensino de Química (apenas quatro nos últimos cinco anos). Todos os trabalhos selecionados no ENEQ correspondem aos anais do evento realizado em 2020. Nos anais do evento realizado em 2018 não foi identificado nenhum estudo sobre o ensino de radioatividade. Esse resultado corrobora com a revisão da literatura realizada por Rodrigues e Toledo (2020). Alguns dados básicos dos estudos analisados encontram-se no Quadro 2:

Quadro 2: Código, título e origem dos estudos analisados.

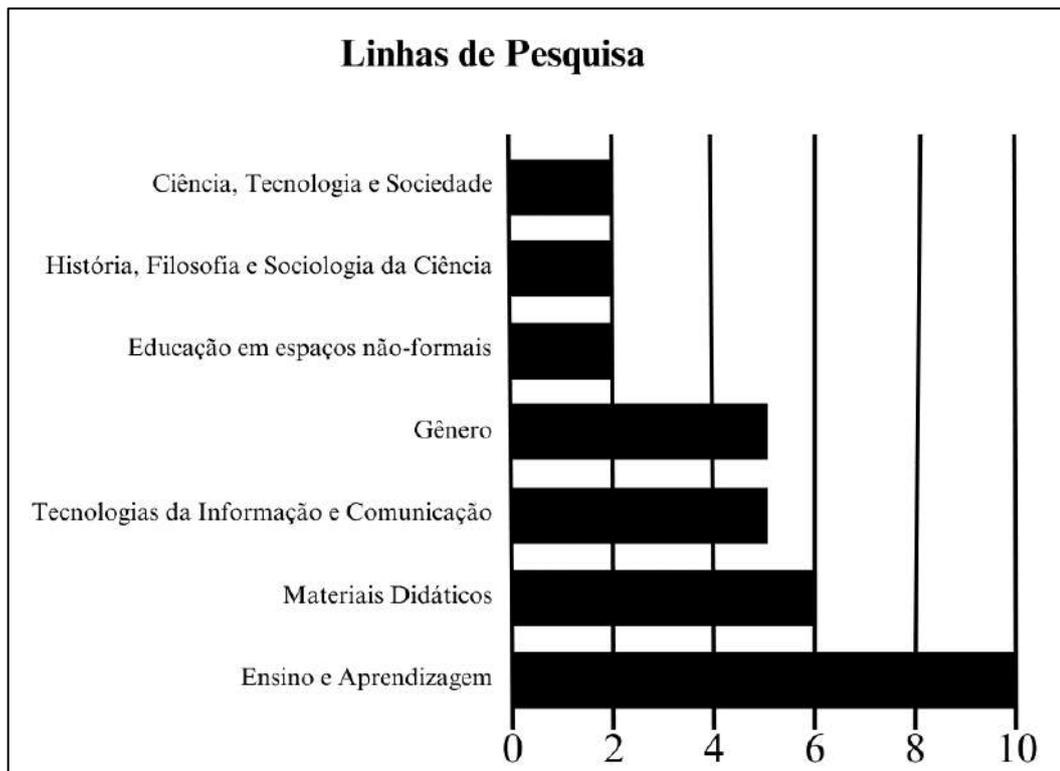
Código	Título	Origem
A1	Uma educadora científica do século XIX e algumas questões sexistas por ela enfrentadas: Marie Curie superando preconceitos de gênero	Educación Química
A2	O ensino de radioatividade em química e a educação ambiental no aspecto da racionalidade	Revista Debates em Ensino de Química
A3	TAPEQUIM: Uma tabela periódica que contribui para o ensino de radioisótopos naturais na perspectiva de uma aprendizagem significativa crítica	Revista Debates em Ensino de Química
A4	Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear	Educação Química em Punto de Vista
RS1	“Chernobyl Ataca” e “Nobel ou Nada”: utilizando jogos didáticos para o ensino de radioatividade e tabela periódica	Anais do XX ENEQ
RS2	Analisando elementos da transposição didática interna em vídeos-aula sobre radioatividade	Anais do XX ENEQ
RS3	Ciência, tecnologia e sociedade (CTS): abordagem crítica no ensino de radioatividade por meio das usinas nucleares	Anais do XX ENEQ
RS4	Utilização de desenhos da série Os Simpsons em debate sobre radioatividade para desenvolver a habilidade de argumentação em alunos do 2º ano EM	Anais do XX ENEQ
RS5	A vida de Marie Curie em um jogo didático: a história da ciência em foco	Anais do XX ENEQ
TC1	A abordagem histórica da radioatividade em livros didáticos de química e física do PNLD 2018	Anais do XX ENEQ
TC2	Análise da aplicação de um estudo de caso para o ensino de radioatividade no contexto da energia nuclear	Anais do XX ENEQ
TC3	Análise da significação do conhecimento científico por meio da construção e divulgação de curtas-metragens no ensino de radioatividade	Anais do XX ENEQ
TC4	Caracterizando contextos e visões de ciência sobre a temática radioatividade em vídeos disponíveis no youtube	Anais do XX ENEQ
TC5	Desativação de usinas nucleares: uma sequência didática para abordagem da radioatividade no ensino médio	Anais do XX ENEQ
TC6	Discutindo conteúdos de radioatividade à luz de Ausubel: utilização de um documentário como recurso didático	Anais do XX ENEQ
TC7	Encontro nacional de ensino de química e suas contribuições para o ensino de radioatividade	Anais do XX ENEQ

TC8	Mapeamento dos trabalhos do encontro nacional de pesquisa em educação em ciências – ENPEC (2011 a 2019) dos temas Marie Curie e radioatividade	Anais do XX ENEQ
TC9	O uso de role playing-game para ao ensino de química: radioatividade	Anais do XX ENEQ
TC10	Radiação: um recurso didático para o ensino da ciência nuclear e suas tecnologias no ensino básico	Anais do XX ENEQ
TC11	Análise dos conteúdos publicados em studygrams sobre fissão e fusão nuclear	Anais do XX ENEQ
TC12	O caso Pierre e Marie Curie: a opressão de gênero pautada no ideal de amor romântico	Anais do XX ENEQ
TC13	A ciência pelo cientista - Marie Sklodowska Curie: uma nova abordagem para o ensino de química	Anais do XX ENEQ
TC14	A imagem de Marie Curie e de seu fazer científico: relações de gênero em narrativas históricas	Anais do XX ENEQ

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação ao tipo de estudo, foi identificada a predominância de pesquisas aplicadas (16) em relação às teóricas ou básicas (07). Esse é um resultado positivo, pois indica que as pesquisas sobre o ensino de radioatividade realizadas nas universidades têm chegado às salas de aula, muito provavelmente, por meio de estagiários, licenciandos, PIBIDIANOS, residentes e professores de Química. A difícil transferência dos conhecimentos construídos nas pesquisas em ensino para a sala de aula é um problema das pesquisas educacionais (MASSONI; MOREIRA, 2017).

Quanto às linhas de pesquisa, observou-se que os trabalhos selecionados estão distribuídos em sete segmentos, conforme a Figura 1:

Figura 1: Linhas de Pesquisa.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com os dados da Figura 1, a linha de pesquisa ‘Ensino e Aprendizagem’ foi predominante com dez estudos (A2, A3, RS2, TC2, TC4, TC5, TC6, TC7, TC9 e TC13). Dessa forma, verifica-se a preocupação dos pesquisadores com as questões relacionadas ao ensino de radioatividade, tendo em vista que, os estudantes apresentam dificuldades de aprendizagem quanto a esse objeto de conhecimento (SIERSMA *et al.*, 2021; LÓPEZ; MARCO, 2022; TSAPARLIS; HARTZAVALOS; NAKIBOGLU, 2013; SILVA; CAMPOS; ALMEIDA, 2013).

A segunda linha de pesquisa mais frequente foi a de ‘Materiais Didáticos’ com quatro estudos. Dois estudos abordaram o tema radioatividade a partir de jogos didáticos (RS1 e RS5). Outro estudo analisou como a história da radioatividade é abordada em livros didáticos (TC1). Por fim, o último estudo classificado nesta linha (A4) elaborou uma sequência didática para o ensino do conceito de fissão nuclear.

Em seguida, duas linhas de pesquisa se destacaram com três estudos cada uma. Em relação à linha ‘Tecnologias da Informação e Comunicação’, os estudos se concentraram na utilização de desenhos televisivos (RS4) e de um aplicativo (TC10) para o ensino de temas relacionados à radioatividade. O outro estudo (TC11) fez um levantamento em postagens em redes sociais das concepções sobre radioatividade.

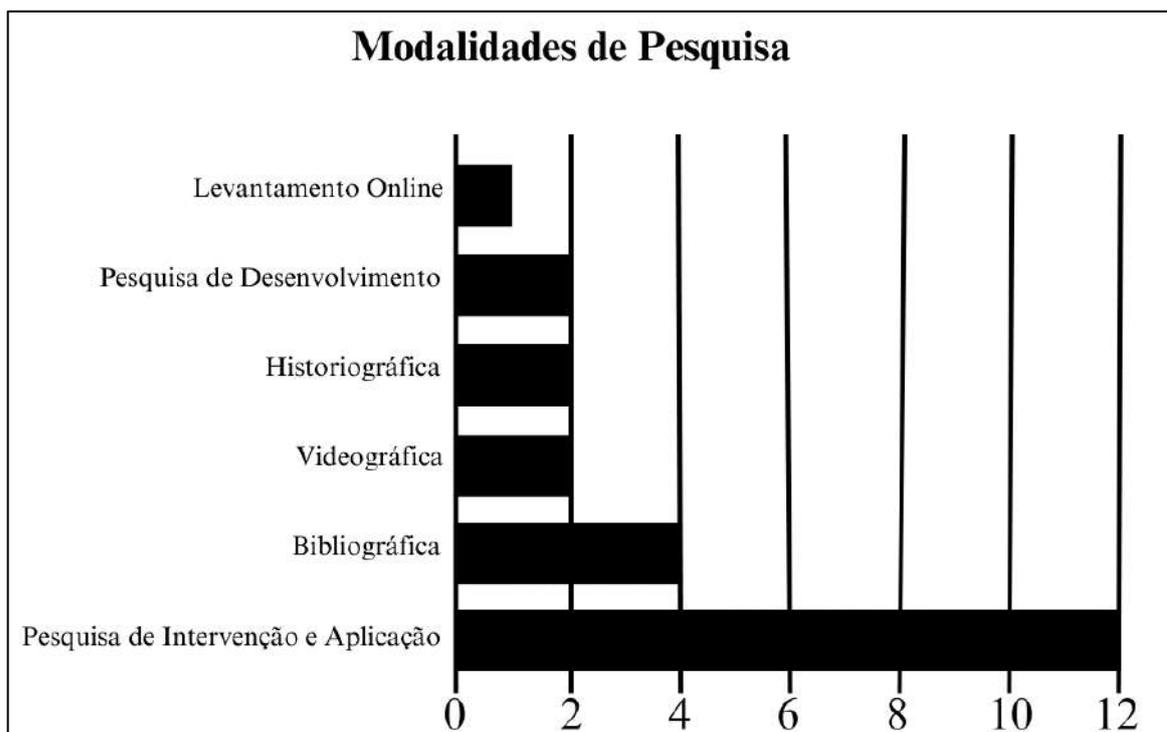
A linha de pesquisa ‘Estudos de Gênero’ contou com três estudos que analisaram o preconceito de gênero vivenciado por Marie Curie (A1, TC12 e TC14). Marie Curie deixou a Polônia para estudar, pois, em seu país natal, as mulheres não eram admitidas nas universidades (QUINN, 1997). Enquanto estudante estrangeira em Paris, Marie Curie teve que adotar uma série de comportamentos para a sua proteção e preservação da sua reputação de ‘estudante séria’

antes de se casar com Pierre Curie (PUGLIESE, 2012). Após o casamento, algumas portas se abriram por ser esposa de um cientista em ascensão, por outro lado, alguns passaram a atribuir o sucesso científico do casal apenas a Pierre Curie (PUGLIESE, 2012). Com a morte prematura do marido, Marie Curie continuou as pesquisas sobre radioatividade e por diversas vezes teve que fornecer mais evidências experimentais do que seus colegas de profissão para ter seus resultados reconhecidos por uma comunidade científica predominantemente masculina (QUINN, 1977). Estudos que mostram como as questões de gênero impactam a Ciência visibilizam as desigualdades e desfazem a visão romântica de que a Ciência tem gênero neutro (SCHIEBINGER, 2001). Pelo contrário, o gênero privilegiado pela Ciência sempre foi o masculino (KELLER, 1995).

Não foram identificadas pesquisas nas seguintes linhas: Currículo e Avaliação, Diversidade e Inclusão, Educação Ambiental, Experimentação no Ensino, Formação de Professores, Linguagem e Cognição. Esse resultado indica a necessidade de mais estudos que contemplem toda a diversidade das linhas de pesquisa em Ensino de Química. Nesse sentido, estudos relacionando radioatividade a impactos ambientais poderiam contribuir para o ensino de Química comprometido com o meio ambiente. Da mesma forma, estudos envolvendo propostas curriculares para o ensino de radioatividade são necessários, pois esse objeto de conhecimento está contemplado na BNCC (BRASIL, 2018). No que se refere à formação de professores, além da ausência de estudos na área de ensino, há uma lacuna no Brasil em relação ao ensino de radioatividade nos cursos de Licenciatura em Química (ZAPATEIRO; FIGUEIREDO, 2020; MORAIS; SILVA, 2020).

No que se refere à modalidade de pesquisa, predominaram estudos interventivos de aplicação (A2, A3, RS1, RS3, RS4, TC2, TC3, TC5, TC6, TC9, TC10 e TC13) e bibliográficos (TC1, TC7, TC8 e TC14). As modalidades de pesquisa identificadas nos estudos analisados são apresentadas na Figura 2:

Figura 2: Modalidades de Pesquisa.

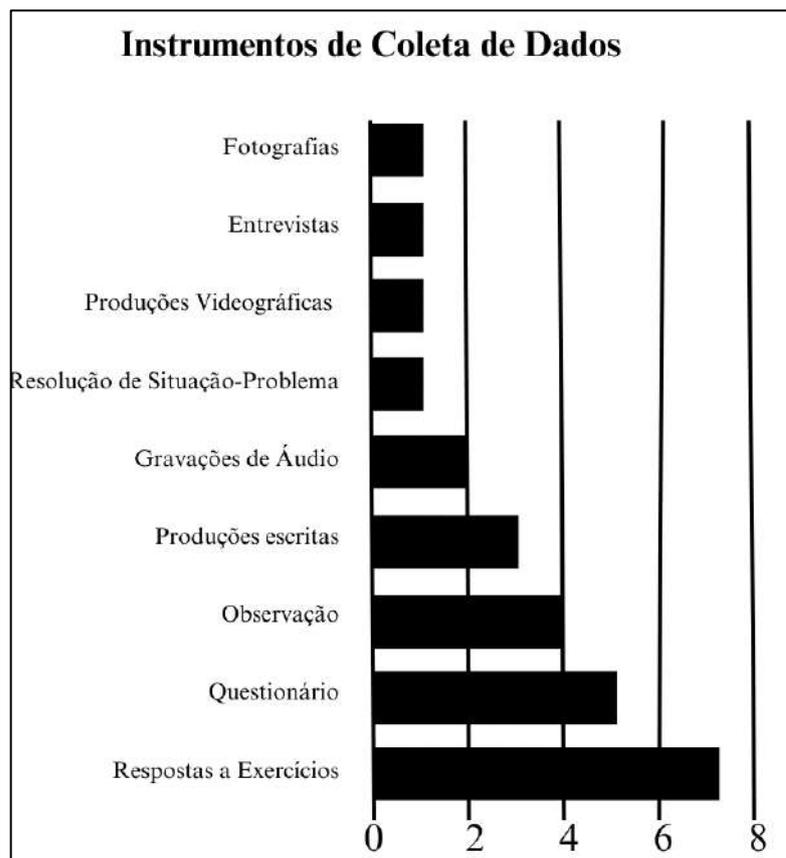


Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo Teixeira e Megid Neto (2017, p. 1068/1069), as pesquisas de aplicação “Envolvem o planejamento, a aplicação (execução) e a análise de dados sobre o processo desenvolvido, em geral, tentando delimitar limites e possibilidades daquilo que é testado ou desenvolvido na intervenção”. Essa modalidade de pesquisa analisa os dados de uma intervenção buscando avaliar se os objetivos didáticos em termos de aprendizagens, habilidades ou competências foram atingidos. Em resumo, o foco é avaliar o impacto didático da intervenção.

Os estudos bibliográficos também se destacaram, totalizando quatro pesquisas. Segundo Gil (2022, p. 44) “A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Pesquisas bibliográficas apresentam um panorama sobre as produções científicas em temas específicos. Dessa forma, essas pesquisas permitem mapear o que tem sido produzido e apontar as lacunas que podem ser preenchidas a partir da realização de novos estudos. Em relação aos estudos analisados, observou-se que nenhum deles investigou a produção científica internacional sobre o ensino de radioatividade, todos voltaram-se para anais do ENEQ (TC7 e TC14), ENPEC (TC8 e TC14) e livros didáticos (TC1). Também, verificou-se que essas pesquisas não analisaram a produção científica nacional ou internacional publicada em periódicos da área de Ensino de Ciências/Química.

No que se refere à coleta de dados das pesquisas analisadas, foi observado que alguns estudos utilizaram mais de um instrumento. Mais da metade dos trabalhos não foram contabilizados na Figura 3, pois considerou-se apenas os instrumentos para coleta de dados das pesquisas aplicadas com a participação de sujeitos. Nesse sentido, não foram contabilizados os estudos que analisaram vídeos (RS2 e TC4), postagens em redes sociais (TC11), pesquisas bibliográficas (TC1, TC7, TC8 e TC14), historiográficas (A1 e TC12), de produção de materiais didáticos (A4 e RS5) ou que não explicitaram quais instrumentos foram utilizados para coletar dados (RS4).

Figura 3: Instrumentos de Coleta de Dados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os principais instrumentos de coleta de dados usados nas pesquisas foram exercícios (A2, RS1, TC2, TC5, TC6, TC9 e TC10), questionários (RS1, TC2, TC3, TC10 e TC13) e observações (A2, TC2, TC6 e TC9). A coleta de dados a partir de exercícios é incompleta, pois nesse tipo de atividade didática são avaliadas habilidades instrumentais básicas, tais como: memorização de conceitos e cálculos (GONÇALVES *et al.*, 2007). Por outro lado, a coleta de dados a partir da resolução de problemas pode revelar como os conhecimentos prévios foram mobilizados para encontrar a solução para um enunciado complexo que exige a tomada de decisão e a relação entre vários objetos de conhecimento (GONÇALVES *et al.*, 2007). Apesar da completude da resolução, o uso de problemas como instrumento de coleta de dados ocorreu em apenas um estudo (TC5). A partir desses dados foi possível observar que a disparidade no uso de problemas e exercícios no ensino de Química se repete quando essas atividades didáticas são utilizadas como instrumentos de coleta de dados.

Todos os trabalhos que utilizaram a observação também usaram questionários para coletar dados. Nesse sentido, percebe-se que os autores apostaram na complementaridade entre esses instrumentos. Quando usada como principal instrumento ou associada a outros, como o questionário, a observação possibilita o contato direto do pesquisador com o fenômeno investigado (LÜDKE; ANDRÉ, 2014). Esse contato direto é a principal vantagem da observação sistemática enquanto instrumento de coleta de dados. Por sua vez, os questionários são os instrumentos de coleta de dados mais utilizados para a coleta de opiniões nas pesquisas (MASSONI; MOREIRA, 2017). Entre outros motivos, isso ocorre em função da facilidade de obter dados de um grande número de sujeitos. Além disso, pode ser enviado eletronicamente e

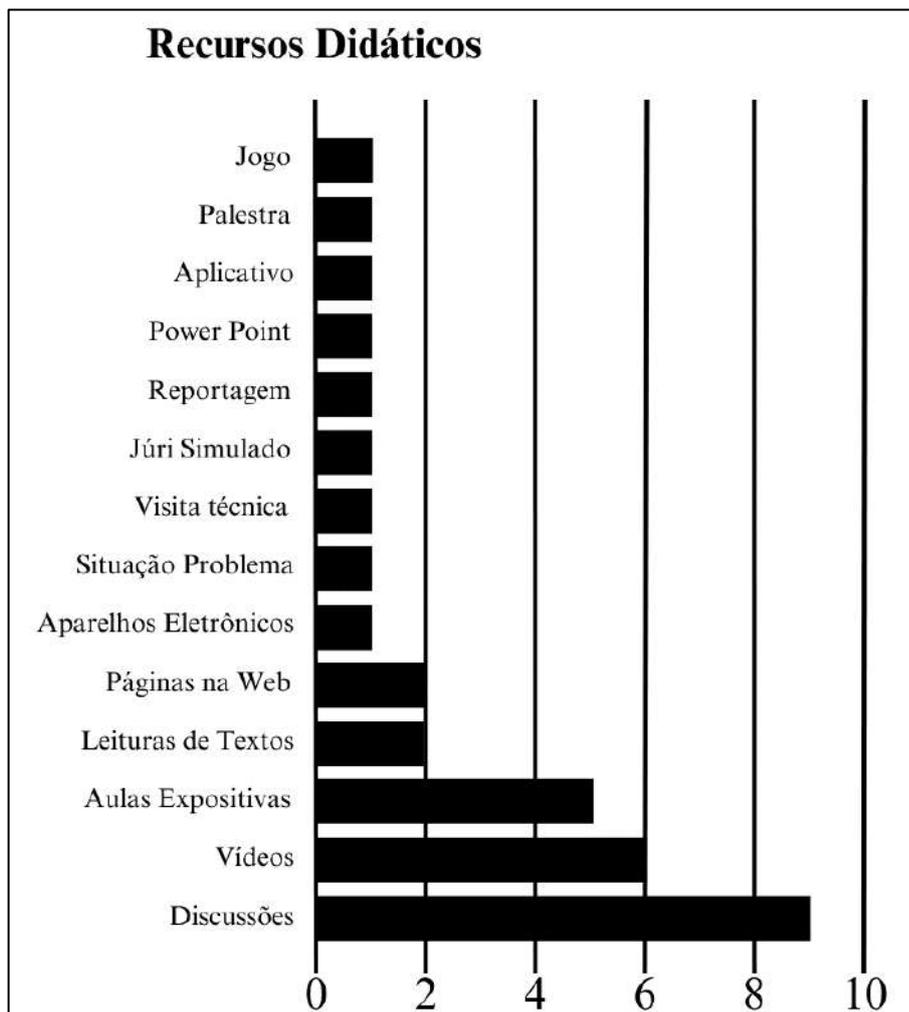
não prescinde da presença do pesquisador no momento das respostas. Nesse sentido, questionários bem elaborados podem trazer à luz dados significativos para as pesquisas educacionais.

As produções escritas foram utilizadas em três estudos. Foram categorizados como produções escritas, textos dissertativos e argumentativos elaborados pelos sujeitos de pesquisa (A3, RS3 e TC13). “A escrita ainda é pouco explorada nas aulas de Química, o que pode causar estranheza por parte dos alunos, quando lhes são propostas atividades desse tipo” (GATTI *et al.*, 2016, p. 140). No entanto, as produções escritas permitem avaliar as compreensões dos estudantes em relação aos objetos de conhecimento e ao desenvolvimento de habilidades e competências nos campos da comunicação e expressão.

Os demais instrumentos de coleta de dados foram menos utilizados. No entanto, a diversidade de instrumentos mostra que os pesquisadores dispõem de várias ferramentas para coletar dados audiovisuais e escritos.

Dos estudos analisados, doze tiveram a participação de sujeitos de pesquisa. Os demais trabalhos foram classificados como teóricos ou analisaram dados escritos ou audiovisuais. Apenas dois trabalhos envolveram mais de um grupo de sujeitos (TC10 e TC13). Predominaram pesquisas desenvolvidas com alunos do Ensino Médio (A2, RS1, RS3, RS4, TC2, TC3, TC5, TC6, TC9, TC10 e TC13), totalizando dez. Apenas um estudo teve como sujeitos alunos do Ensino Superior (TC10) e outro alunos dos Anos Finais do Ensino Fundamental (TC13). Esse dado pode ser explicado pela inclusão da radioatividade entre os objetos de conhecimento do Ensino Médio, inclusive antes da BNCC. Por outro lado, as pesquisas sobre o ensino de radioatividade no Ensino Superior são escassas, pois este é um tema pouco abordado na formação inicial de professores de Química (ZAPATEIRO; FIGUEIREDO, 2020; MORAIS; SILVA, 2020). Além disso, a ausência de estudos sobre o ensino de radioatividade no Ensino Superior “[...] é preocupante, na medida em que a falta de pesquisa em como ensinar esse conteúdo, envolvendo os futuros professores, aponta para a escassa reflexão sobre esta temática [...]” (SILVA; CAMPOS; ALMEIDA, 2013b, p. 55).

Observou-se que os estudos sobre o ensino de radioatividade utilizaram diversos recursos didáticos, conforme pode ser observado na Figura 4:

Figura 4: Recursos didáticos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pelo visto, predominaram discussões (A2, A3, RS3, RS4, TC2, TC5, TC6, TC10 e TC13) e vídeos didáticos (A2, A4, RS3, TC3, TC5, TC6 e TC9). As discussões enquanto recurso didático são ricas, pois permitem que os alunos mobilizem seus conhecimentos e os expressem na forma de um discurso argumentativo. Ao analisar os argumentos fornecidos pelos estudantes nas discussões, é possível identificar indícios de aprendizagens e do desenvolvimento de habilidades e competências (SOUZA; QUEIROZ, 2018).

Quanto aos vídeos didáticos, Morán afirma que:

O vídeo ajuda a um bom professor, atrai os alunos, mas não modifica substancialmente a relação pedagógica. Aproxima a sala de aula do cotidiano, das linguagens de aprendizagem e comunicação da sociedade urbana, mas também introduz novas questões no processo educacional (MORÁN, 1995, p. 27).

Os vídeos didáticos são recursos didáticos utilizados frequentemente no ensino de radioatividade, muito provavelmente, porque exploram elementos audiovisuais que proporcionam uma experiência completa em relação aos fenômenos radioativos. Tais experiências não seriam possíveis por meio da experimentação, tendo em vista que, a

manipulação de substâncias radioativa é perigosa. Nesse sentido, os vídeos didáticos permitem que os estudantes entrem em contato com a história da radioatividade por meio de filmes (*Oppenheimer*, *Radioactive*), séries (*Chernobyl*) e documentários (Césio-137, O Pesadelo de Goiânia). Adicionalmente, vídeos sobre radioatividade apresentam substâncias (rádio, césio, urânio etc.), equipamentos (reatores nucleares, bombas atômicas, contadores Geiger-Müller etc.) e procedimentos (geração de energia, radioterapia, produção de radioisótopos etc.) que jamais poderiam ser visualizados, manipulados ou realizados em laboratórios de ensino.

Os outros recursos didáticos mencionados na Figura 4 foram menos utilizados. Mas a diversidade aponta que os recursos foram planejados levando em consideração o contexto escolar. Os recursos didáticos não são universais, cabe ao professor utilizar os melhores recursos didáticos disponíveis e adequados à realidade das suas salas de aula.

Em relação aos objetos de conhecimento, foram identificadas três categorias nos estudos analisados: ensino de radioatividade e conceitos relacionados (08), aplicações dos fenômenos radioativos (08) e história da radioatividade (08). Três estudos não abordaram nenhum objeto de conhecimento, pois focaram apenas nas questões de ensino. Por outro lado, outros estudos abordaram mais de um objeto de conhecimento.

Em relação ao ensino de radioatividade, alguns estudos analisados abordaram o conceito de radioatividade de forma geral (A2, RS1, RS2, TC4 e TC6) enquanto outros se dedicaram a conceitos específicos: fusão e fissão nuclear (A4, TC6 e TC11), radiação (TC6) e radioisótopos (A3). Outros conceitos relacionados à radioatividade, tais como: decaimento, período de meia-vida, emissões alfa, beta e gama, não foram contemplados em estudos específicos.

Dos estudos analisados, oito estudos problematizaram as aplicações da radioatividade. A maioria optou pela energia nuclear (RS3, TC2, TC4, TC5 e TC9). Essas pesquisas abordaram como a energia nuclear é produzida, bem como os aspectos positivos e negativos relacionados à geração de energia pelas usinas nucleares. Os demais estudos abordaram as questões ambientais a partir da discussão do acidente radiológico que ocorreu em Goiânia (GO), em 1987, com o radioisótopo césio-137 (A2 e TC3). Outro estudo abordou os impactos à saúde humana causados pelo contato com resíduos radioativos (RS4). O descarte de resíduos radioativos é um problema global. As usinas nucleares utilizam pastilhas de combustível físsil (urânio-235 ou plutônio-239), que após o uso são armazenadas em depósitos temporários à espera de um destino final. Porém, os depósitos estão chegando ao limite de sua capacidade e não existem ainda alternativas viáveis para reciclar ou reutilizar esses resíduos (GOLDEMBERG; LUCON, 2018).

Os aspectos históricos relacionados à radioatividade foram abordados em oito estudos. A biografia e as contribuições científicas de Marie Curie foram discutidas em cinco pesquisas (A1, RS5, TC12, TC13 e TC14). A ênfase em Marie Curie é compreensível, pois é a cientista ocidental mais famosa. Pioneira nos estudos sobre radioatividade, ela foi laureada com dois prêmios Nobel (Física, 1903 e Química, 1911) e descobriu dois elementos químicos radioativos (polônio e rádio), entre outras contribuições científicas (QUINN, 1997). No entanto, o reconhecimento científico de Marie Curie acabou ofuscando as contribuições de outras mulheres na Ciência (EL JAMAL; GUERRA, 2022). Para alguns cientistas, o reconhecimento das contribuições científicas de Marie Curie é suficiente para declarar que as mulheres são valorizadas na Ciência, no entanto, a realidade é bem diferente. A própria Marie Curie foi vítima em diversos episódios de assédio, sexismo e misoginia ao longo de sua carreira científica (MCGRAYNE, 1994). Um dos episódios mais significativos do sexismo acadêmico, ocorreu quando ela não foi aceita como membro da Academia de Ciências da França, em 1911 (QUINN, 1997).

Dois outros estudos abordaram a história da radioatividade de forma geral, descrevendo as primeiras observações dos fenômenos radioativos por Roentgen, Becquerel e Marie e Pierre Curie no final do século XIX e no início do século XX (TC1 e TC4). Por fim, um trabalho descreveu a história da fissão nuclear (A4), cuja descoberta contou com a participação de vários cientistas, e destacou as contribuições de três mulheres: Ida Noddack (sugeriu a possibilidade da fissão em 1934), Irène Joliot-Curie (realizou experimentos de fissão, mas os interpretou de forma equivocada em 1938) e Lise Meitner (realizou experimentos de fissão, mas só os interpretou corretamente em 1938) (RIBEIRO; FERNANDES, 2022).

De uma forma geral, observou-se que os estudos analisados sobre ensino de radioatividade nos últimos cinco anos: (i)- são pesquisas aplicadas; (ii)- pertencem a linha de pesquisa ‘Ensino e Aprendizagem’; (iii)- são estudos interventivos; (iv)- utilizam diversos recursos didáticos, principalmente discussões e vídeos; (v)- coletam dados a partir de questionários e respostas a exercícios; (vi)- são direcionados a estudantes do Ensino Médio; (vii)- abordam objetos de conhecimentos relacionados à radioatividade forma geral, história da radioatividade e aplicações dos fenômenos radioativos.

Além dessas características gerais, observou-se as seguintes lacunas: (i)-ausência de estudos relacionando a radioatividade e a formação de professores de Química; (ii)- falta de recursos didáticos e sequências didáticas inclusivas; (iii)- poucos estudos publicados em periódicos nacionais nos últimos cinco anos; (iv)- carência de pesquisas sobre radioatividade nos currículos do Ensino Superior.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo traçou o perfil das publicações sobre o ensino de radioatividade em periódicos nacionais da área de Ensino de Química e nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química. Os estudos analisados apresentam diversas propostas para o ensino de radioatividade no ensino médio. No entanto, foram percebidas algumas lacunas nas publicações, como a ausência de estudos relacionando o ensino de radioatividade e a formação de professores de Química e o baixo número de artigos publicados em periódicos da área de Ensino de Química.

O número baixo de publicações nos últimos cinco anos pode ser reflexo da pandemia causada pelo vírus SARS-Cov-2 entre 2020 e 2023. Além disso, a produção científica brasileira encolheu em 2022. Afora a pandemia, a queda da produção científica pode ser o resultado da política de desinvestimento em Ciência e Tecnologia instaurada nos últimos anos.

Os aspectos bibliográficos, teóricos, metodológicos e didáticos das pesquisas nacionais em ensino de radioatividade analisados e discutidos neste estudo refletem o modo como os pesquisadores brasileiros têm abordado esse objeto de conhecimento nos últimos cinco anos.

A diversidade de pesquisas, propostas de ensino e recursos didáticos mostram a originalidade dos estudos nacionais sobre o ensino de radioatividade. Esses estudos podem ser adaptados e aplicados em outros contextos na Educação Básica e Superior. Dessa forma, essas pesquisas podem contribuir para a aprendizagem de mais estudantes.

Destaca-se que a meta-análise qualitativa realizada neste estudo não esgota as possibilidades de avaliar a produção científica sobre ensino de radioatividade em âmbito nacional. Contudo, os resultados obtidos apresentam as principais características dos estudos

publicados nos últimos cinco anos em periódicos e no principal evento brasileiro da área de Ensino de Química.

Por fim, espera-se que esta revisão sistemática da literatura oriente o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o ensino de radioatividade que complementem as que foram analisadas e contemplem outras linhas de pesquisa, níveis de ensino e objetos de conhecimento relacionados à radioatividade e suas aplicações científicas e tecnológicas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular** – Etapa do Ensino Médio. Brasília, 2018.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. A. **Necessária Renovação do Ensino das Ciências**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DAMASIO, F.; TAVARES, A. **Perdendo o Medo da Radioatividade**: pelo menos o medo de entendê-la. Campinas: Autores Associados, 2017.

EL JAMAL, N. O.; GUERRA, A. O caso Marie Curie pela lente da História Cultural da Ciência: discutindo relações entre mulheres, ciência e patriarcado na Educação em Ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 24, n. 1, p. 1-22, 2022.

FERNANDES, L. F.; CAMPOS, A. F. Tendências de pesquisa sobre a resolução de problemas em Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 16, n. 3, p. 458-482, 2017.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2020.

GATTI, I. M. C.; AFONSO, A. F.; CERQUEIRA, P. L.; COELHO, M. M. P. Escrita e criatividade na contextualização da Química. **Revista PerCursos**, v. 17, n. 35, p. 140-159, 2016.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. S. Energia nuclear no Brasil e no Mundo. *In*: VEIGA, J. E. (Org.). **Energia Nuclear**: do anátema ao diálogo. São Paulo: Editora SENAC, 2018.

GONÇALVES, S. M.; MOSQUERA, M. S.; SEGURA, A. F. **La Resolución de Problemas em Ciências Naturales**: un modelo de enseñanza alternativa y superador. Buenos Aires: Editorial SB, 2007.

KELLER, E. F. **Reflections on Gender and Science**. New Haven: Yale University Press, 1995.

L'ANNUNZIATA, M. F. **Radioactivity**: introduction and history. Netherlands: Elsevier, 2007.

LÓPEZ, A. I. M.; MARCO, P. T. Misconceptions, knowledge, and attitudes towards the phenomenon of radioactivity. **Science & Education**, v. 32, n. 2, p. 405-426, 2022.

- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2014.
- MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. **Pesquisa Qualitativa em Educação em Ciências: projetos, entrevistas, questionários, teoria fundamentada, redação científica**. São Paulo: Livraria da Física, 2017.
- MORAIS, M. B.; SILVA, F. C. V. Caracterizando contextos e visões de ciência sobre a temática radioatividade em vídeos disponíveis no Youtube. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 20., 2020, Recife. **Anais [...]** Recife: UFRPE/UFPE, 2020. p. 1-12.
- MORÁN, J. M. O vídeo na sala de aula. **Comunicação e Educação**, v. 2, p. 27-35, 1995.
- PUGLIESE, G. **Sobre o “Caso Marie Curie”**: a radioatividade e a subversão do gênero. São Paulo: Alameda, 2012.
- QUINN, S. **Marie Curie: uma vida**. São Paulo: Scipione Cultural, 1997.
- RIBEIRO, M. J. S.; FERNANDES, L. S. Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear. **Educação Química em Ponto de Vista**, v. 6, p. 1-17, 2022.
- RODRIGUES, C. A abordagem processual no estudo da tradução: uma meta-análise qualitativa. **Cadernos de Tradução**, v. 2, n. 10, p. 23-57, 2002.
- RODRIGUES, J. M.; TOLEDO, E. J. L. Encontro Nacional de Ensino de Química e suas Contribuições para o Ensino de Radioatividade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 20., 2020, Recife. **Anais [...]** Recife: UFRPE/UFPE, 2020. p. 1-9.
- SCHIEBINGER, L. **O Feminismo Mudou a Ciência?** Bauru: EDUSC, 2001.
- SIERSMA, P. T.; POL, H. J.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VISSCHER, A. J. Pre-university students' conceptions regarding radiation and radioactivity in a medical context. **International Journal of Science Education**, v. 43, n. 2, p. 179-196, 2021.
- SILVA, F. C. V.; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. Concepções alternativas de licenciandos em química sobre radioatividade. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 87-97, 2013a.
- SILVA, F. C. V.; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. Alguns aspectos do ensino e aprendizagem de radioatividade em periódicos nacionais e internacionais. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 10, n. 19, p. 46-61, 2013b.
- SOUZA, N. S.; QUEIROZ, S. L. Quadro analítico para discussões argumentativas em fóruns on-line: aplicação no ensino de Química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 145-170, 2018.
- TEIXEIRA, P. M. M.; MEGID NETO, J. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. **Ciência & Educação**, v. 23, n. 4, p. 1055-1076, 2017.

TSAPARLIS, G.; HARTZAVALOS, S.; NAKIBOGLU, C. Students' knowledge of nuclear science and its connection with civic scientific literacy in two european contexts: the case of newspaper articles. **Science & Education**, v. 22, n. 8, p. 1963-1991, 2013.

ZAPATEIRO, G. A.; FIGUEIREDO, M. C. Elaboração e aplicação de uma situação de estudo a partir do conteúdo radioatividade: em foco a formação inicial em químicas. **Revista Prática Docente**, v. 5, n. 3, p. 1747-1765, 2020.

Aprendendo sobre Fissão Nuclear: Desenvolvimento de uma Cartilha para Estudantes do Ensino Médio

Maxwel da Silva Dias¹(PG), Lucas dos Santos Fernandes²(PQ), Ângela Fernandes Campos³(PQ).
E-mail: max_wel_94@hotmail.com.

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Química, Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional. Secretaria de Educação do Estado de Pernambuco.

²Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Serra da Capivara, Colegiado de Ciências da Natureza.

³Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Química, Campus Recife.

Palavras-Chave: *Fissão nuclear, Cartilha, Material Educacional.*

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar e descrever os processos de elaboração e avaliação de uma cartilha sobre fissão nuclear. A cartilha foi elaborada por um mestrando em Química em Rede Nacional como produto educacional proveniente de sua dissertação. Além disso, o principal autor é professor da rede pública de ensino do estado de Pernambuco. A cartilha é destinada a estudantes do Ensino Médio e busca auxiliar a compreensão do fenômeno radioativo conhecido como fissão nuclear. A fissão nuclear é “Uma reação em cadeia em que núcleos grandes e instáveis são quebrados por projéteis – como o nêutron – produzindo núcleos menores e uma grande quantidade de energia” (Passos; Souza, 2012, p. 83). Esse fenômeno apresenta diversas aplicações, tais como: geração de energia nuclear, síntese de radiofármacos e a construção de bombas atômicas.

Em um estudo publicado recentemente, Dias, Fernandes e Campos (2023), relataram a ausência de materiais didáticos para o ensino de radioatividade. Buscando preencher essa lacuna, foi produzida uma cartilha intitulada “Aprendendo sobre Fissão Nuclear, sua História e suas Aplicações”.

METODOLOGIA

A produção desse material educacional apresenta elementos de uma pesquisa de desenvolvimento. As pesquisas de desenvolvimento de materiais educacionais geralmente são realizadas em três fases: 1 - análise das necessidades e do contexto; 2 - projeto, desenvolvimento e avaliação formativa; 3 - avaliação somativa (Mckenny, 2001). Na fase 1, verificou-se que existe uma lacuna de materiais didáticos para o ensino de radioatividade. Na fase 2, o protótipo da cartilha foi construído e avaliado por um grupo de professores de Química. Na terceira fase o protótipo foi aperfeiçoado em função da análise dos professores que o avaliaram.

Após a construção, o protótipo da cartilha foi enviado para um grupo de 15 professores de Química que analisaram os aspectos positivos, negativos e forneceram sugestões de aperfeiçoamento e críticas. Os avaliadores da cartilha eram professores da educação básica e discentes do Mestrado Profissional em Química em Rede nacional (PROFQUI) de uma universidade federal situada em Pernambuco. A análise do protótipo foi realizada por meio de um questionário eletrônico construído e enviado pela plataforma *Google Forms*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise do protótipo apontaram que 80% dos professores consideram ótimos ou bons os aspectos visuais (cores, imagens, organização etc.). A análise ainda revelou que 100% dos avaliadores consideram a linguagem da cartilha ótima ou boa. Em relação aos conceitos científicos, 100% dos professores consideraram que eles foram empregados de forma ótima ou boa ao longo do protótipo. Por fim, 100% dos avaliadores consideraram que a contextualização da fissão nuclear com o cotidiano foi realizada de forma ótima ou boa. Os avaliadores ainda tiveram oportunidade para elogiar, criticar e sugerir mudanças no protótipo.

Algumas críticas foram levadas em consideração durante a reformulação do protótipo. Dessa forma, a linguagem foi melhorada evitando a redundância e termos técnicos em excesso. Alguns conceitos foram tratados de forma superficial por não serem importantes para o entendimento da fissão nuclear e suas aplicações. Ainda nessa perspectiva, foi mantido o termo 'fissão celular', pois foi a analogia com a divisão celular que gerou a expressão 'fissão nuclear'.

Além das críticas, os professores forneceram sugestões para aperfeiçoamento do protótipo. A sugestão de inserção de conceitos básicos sobre radioatividade (meia-vida, fusão nuclear etc.) não foi atendida, pois a cartilha é indicada para estudantes que já tenham construído esses conhecimentos. Além disso, outros e-books sobre radioatividade abordam esses conceitos básicos de forma didática (Aquino; Aquino, 2012; Cardoso, 2012; Carvalho; Oliveira, 2017).

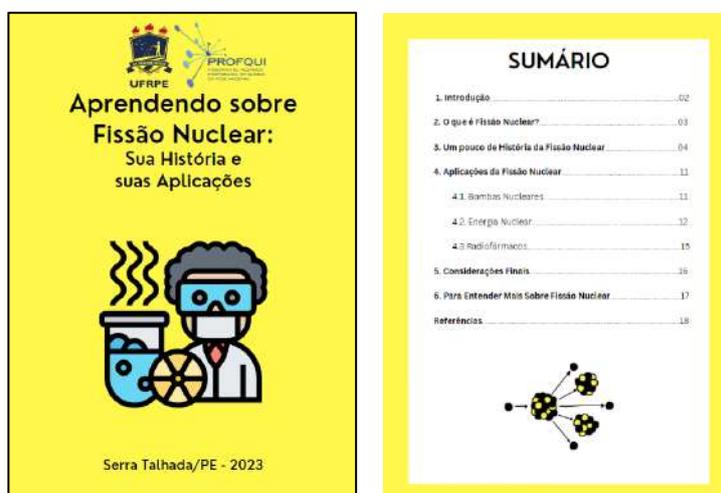
Após a reformulação da cartilha considerando as críticas e sugestões, esse material será depositado no Repositório de Recursos Educacionais Abertos (EDUCAPES) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e poderá ser baixado por professores e estudantes interessados na fissão nuclear, sua história e suas aplicações (<https://educapes.capes.gov.br/>).

A cartilha foi utilizada no contexto de uma sequência de ensino-aprendizagem junto a estudantes do Ensino Médio de uma escola pública localizada no sertão de Pernambuco. A sequência de ensino-aprendizagem foi estruturada segundo a estratégia didática conhecida como os três momentos pedagógicos (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018). Essa estratégia didática compreende os seguintes momentos pedagógicos: 1)- Problematização inicial; 2)- Organização do conhecimento; 3)- Aplicação do conhecimento. Nesse contexto, a cartilha foi apresentada aos estudantes no segundo momento pedagógico com o objetivo de auxiliar a compreensão dos discentes em relação à fissão nuclear e à energia de origem radioativa.

No segundo momento pedagógico, foi entregue aos estudantes uma versão impressa da cartilha. Os alunos folhearam o material e teceram alguns comentários elogiando os aspectos estéticos, perguntando a autoria e identificando a presença de mulheres cientistas que contribuíram para o entendimento da fissão nuclear, tais como: Ida Noddack, Irène Curie e Lise Meitner.

Durante o terceiro momento pedagógico, os estudantes deveriam mobilizar os conhecimentos construídos anteriormente para responder uma situação-problema sobre a implantação de uma usina nuclear às margens do Rio São Francisco. Nesse momento, eles tiveram que recorrer ao que foi discutido nas aulas e às informações da cartilha, sobre as vantagens e desvantagens da energia nuclear, para tentar solucionar o enunciado problemático.

As Figuras 1 e 2 apresentam respectivamente a capa e o sumário da cartilha que apresenta 18 páginas:



Figuras 1 e 2 - Capa e Sumário da cartilha sobre fissão nuclear elaborada.

Após o aperfeiçoamento, a cartilha foi utilizada como material didático de apoio no contexto da aplicação de uma sequência de ensino-aprendizagem de fissão nuclear da qual participaram oito estudantes do terceiro ano de uma escola pública de tempo integral do interior de Pernambuco. Os estudantes relataram que gostaram da cartilha e que esse material didático foi importante durante a vivência da sequência de ensino-aprendizagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que a cartilha elaborada possa ser utilizada por outros professores e que muitos estudantes se beneficiem deste produto educacional. Por fim, é preciso destacar que ainda são necessários outros materiais para o ensino de fissão nuclear e radioatividade, tais como: simulações computacionais, jogos didáticos, podcasts etc.

Referências

AQUINO, K. M. S.; AQUINO, F. S. **Radioatividade e Meio Ambiente**: os átomos instáveis da natureza. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2012.

CARDOSO, E. M. **Energia Nuclear e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: CNEM, 2012.

CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, S. M. V. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo: SBPC; Viena: IAEA, 2017.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo, Cortez, 5ª edição, 2018.

DIAS, M. S.; FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F. Uma meta-análise qualitativa das pesquisas sobre ensino de radioatividade no Brasil. **Dynamis**, v. 29, n. 2, p. 192-909, 2023.

MCKENNEY, S. E. **Computer-based support for science education materials developers in Africa**: exploring potentials. Enschede: PrintPartners Ipskamp, 2001.

PASSOS, M. H. S.; SOUZA, A. A. **Química Nuclear e Radioatividade**. Campinas: Átomo, 2012.



APÊNDICE C



Aprendendo sobre Fissão Nuclear: Sua História e suas Aplicações

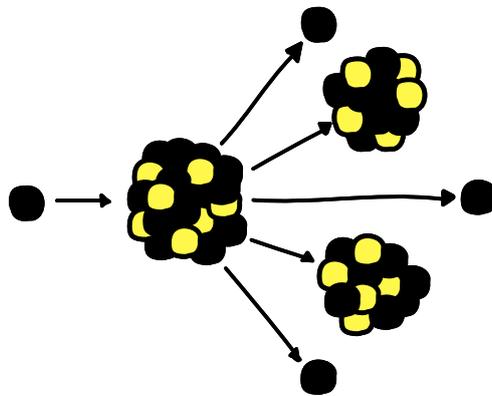


Maxwel da Silva Dias
Lucas dos Santos Fernandes
Angela Fernandes Campos

Serra Talhada/PE - 2023

SUMÁRIO

1. Introdução.....	02
2. O que é Fissão Nuclear?.....	03
3. Um pouco de História da Fissão Nuclear.....	04
4. Aplicações da Fissão Nuclear.....	11
4.1. Bombas Nucleares.....	11
4.2. Energia Nuclear.....	12
4.3. Radiofármacos.....	15
5. Considerações Finais.....	16
6. Para Entender Mais Sobre Fissão Nuclear.....	17
Referências.....	18

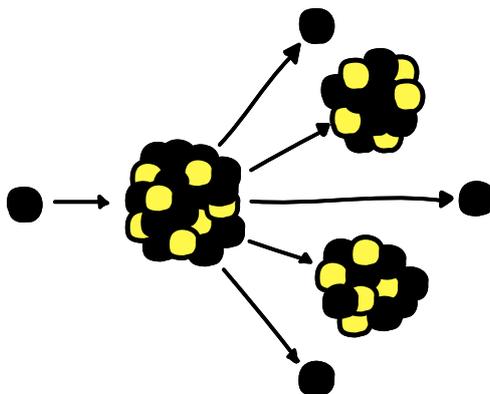


1. Introdução

A fissão nuclear pode ser definida como “Uma reação em cadeia em que núcleos grandes e instáveis são quebrados por projéteis - como o nêutron - produzindo núcleos menores e energia”. Em termos de comparação, 10g de urânio-235 liberam a mesma quantidade de energia que 25 toneladas de carvão mineral. Esse fenômeno pode ocorrer de forma espontânea ou induzida através do bombardeamento de núcleos atômicos.

Durante a fissão nuclear são liberados mais nêutrons, que por sua vez, atingem outros núcleos, provocando uma reação em cadeia. A energia da fissão nuclear pode ser utilizada, dentre outras finalidades, para a detonação de bombas atômicas, para a geração de energia elétrica e para a síntese de radiofármacos, medicamentos que contêm um isótopo de um elemento químico radioativo.

As pessoas geralmente têm medo da radioatividade por associá-la apenas a acidentes, tais como: Chernobyl - 1986, Goiânia - 1987, Fukushima - 2011. No entanto, a fissão nuclear é um fenômeno radioativo que apresenta diversas aplicações que contribuem para a qualidade de vida da sociedade.



2. O que é Fissão Nuclear?

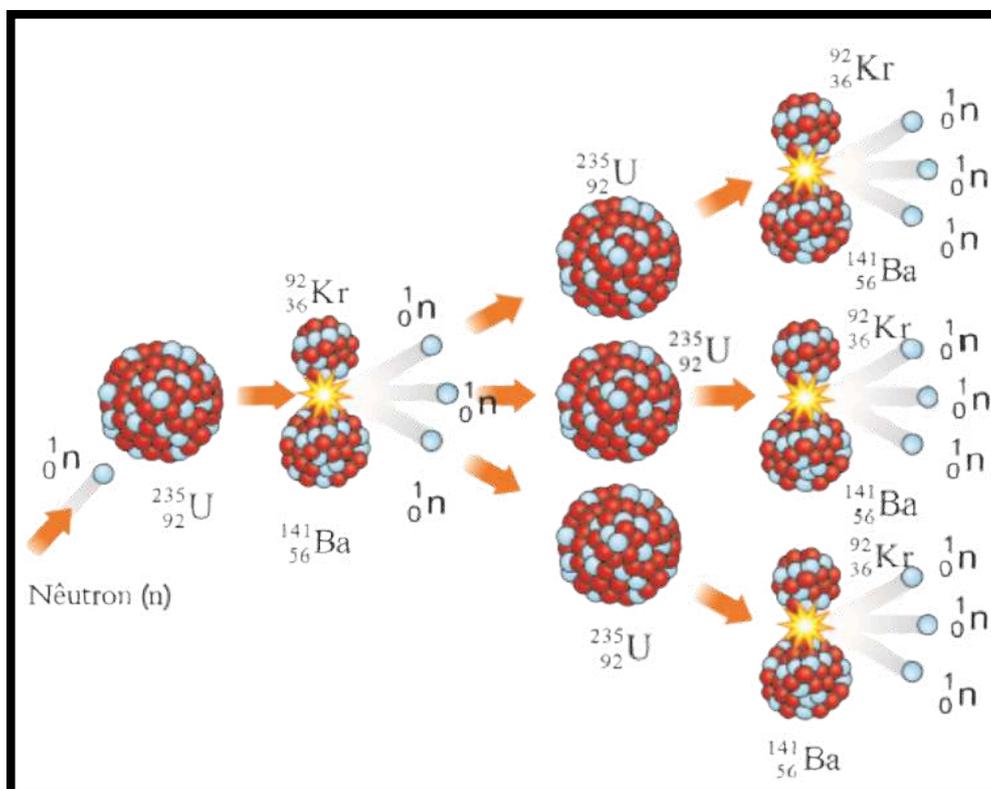
É o processo, espontâneo ou artificial, no qual ocorre a divisão de um núcleo atômico. A fissão nuclear ocorre geralmente quando um projétil (nêutron) atinge o núcleo atômico, que por sua vez se divide em fragmentos mais leves e libera energia. Enquanto que a energia liberada na fissão nuclear pode ser transformada em energia elétrica, os núcleos atômicos mais leves podem ser utilizados na síntese de radiofármacos.

O urânio-235 ($Z = 92$), usado como combustível nuclear, quando atingido por um nêutron divide-se em núcleos atômicos mais leves, tais como criptônio-92 ($Z = 36$) e bário-141 ($Z = 56$) liberando 3 nêutrons e energia, conforme a equação:



Após iniciado, esse processo libera mais nêutrons que atingem outros núcleos gerando uma reação em cadeia que libera uma grande quantidade de energia.

Figura 1: Fissão nuclear, uma reação em cadeia.



3. Um pouco de História da Fissão Nuclear

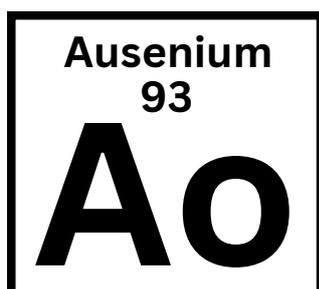
Em 1932, o físico britânico James Chadwick descobriu o nêutron, uma partícula atômica que não possui carga elétrica e apresenta massa semelhante ao próton. A partir de então, os grupos de pesquisa em radioatividade que utilizavam partículas alfa para bombardear núcleos atômicos passaram a utilizar nêutrons como projéteis. Essa ideia foi concebida pelo físico italiano Emilio Segrè (1905-1989), que fazia parte de um grupo de pesquisa em radioatividade liderado por Enrico Fermi na Universidade de Roma.

A partir de 1934, Fermi publicou diversos estudos envolvendo o bombardeamento de urânio ($Z = 92$) com nêutrons desacelerados. Nesses experimentos, ele concluiu que o núcleo de urânio absorveu nêutrons e se transmutou em elementos mais pesados, que ele chamou de ausônio ($Z = 93$) e hespério ($Z = 94$).

Figura 2: James Chadwick (1891-1974).



Figura 3: Enrico Fermi (1901-1954).



Após as publicações de Fermi, a geoquímica alemã Ida Noddack, contestou a descoberta dos transurânicos e sugeriu que os italianos poderiam ter sintetizado elementos mais leves por meio da quebra do núcleo do urânio. Contudo, sua sugestão recebeu pouca importância.

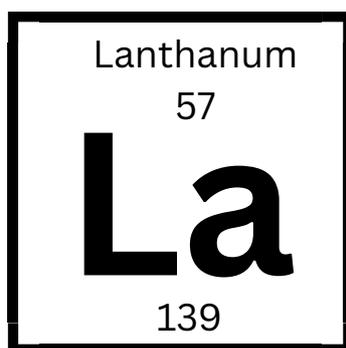
Na Alemanha, o grupo de pesquisa sobre radioatividade liderado pela física Lise Meitner e pelo químico Otto Hahn se propôs a investigar os transurânicos anunciados por Fermi. Empregando os mesmos métodos dos italianos Meitner e Hahn, não só confirmaram a descoberta dos transurânicos 93 e 94, como também anunciaram a descoberta dos elementos químicos de número atômico 95, 96 e 97.

Por sua vez, na França, Irène Joliot-Curie e Paul Savitch relataram a presença de um elemento químico semelhante ao lantânio entre os produtos da irradiação de núcleos de urânio com nêutrons. Eles acreditavam que se tratava de algum tipo de contaminação, pois não havia explicação para a síntese de um elemento de número atômico tão baixo ($Z = 57$).

Figura 4: Ida Noddack (1896-1978).



Figura 5: Irène Joliot-Curie (1897-1956).



Ao analisarem todos os produtos do bombardeamento de urânio com nêutrons, como os franceses haviam feito, Hahn e Strassmann encontraram um elemento químico que eles acreditaram ser rádio ($Z = 88$).

Nesse momento, Lise Meitner, de origem judia, já havia deixado a Alemanha e se refugiado na Suécia, fugindo da perseguição aos judeus promovida pelo governo nazista alemão. Após estabelecer-se em Estocolmo, Meitner e Hahn continuaram a colaboração científica por meio de cartas.

Em novembro de 1938, Hahn e Meitner realizaram um encontro secreto em Copenhague, onde discutiram a possível formação de rádio a partir do bombardeamento de urânio com nêutrons.

Figura 6: Otto Hahn (1879-1968).



Figura 7: Lise Meitner (1878-1968).



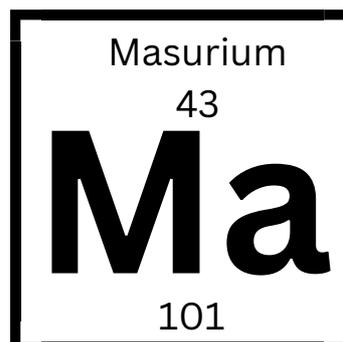
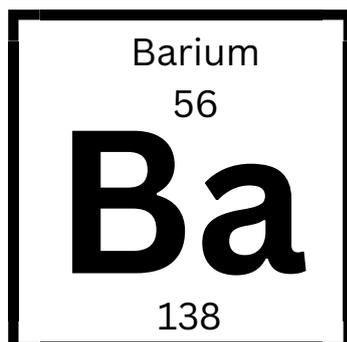
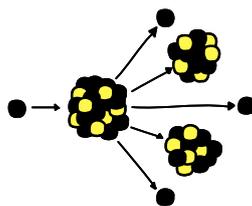
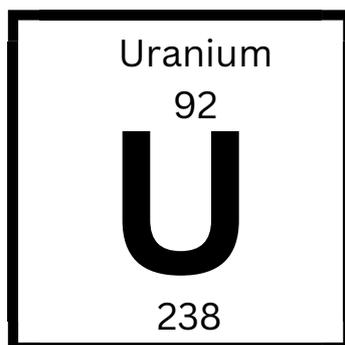
Figura 8: Fritz Strassmann (1902-1980).



Ao retornar à Alemanha, Hahn e Strassmann refizeram os experimentos e identificaram a presença de bário ($Z = 56$) entre os produtos do bombardeamento de urânio com nêutrons.

Em dezembro, pouco antes do Natal, Hahn submeteu um artigo no qual relatou que o bombardeamento de urânio com nêutrons havia produzido bário. Em seguida, por meio de uma carta, Hahn solicitou a Meitner uma explicação para a formação de bário. Meitner respondeu que, embora o resultado não fosse impossível, até aquele momento, permanecia inexplicado.

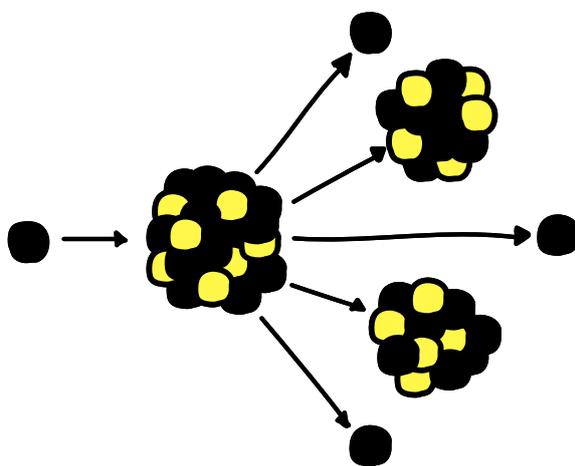
Após a resposta de Meitner, Hahn pediu ao editor da revista a inclusão de mais um parágrafo ao artigo: “A soma dos números de massa $Ba + Ma$, por exemplo, $138 + 101$ dá 239!”. Nesse trecho, Hahn estabelece que a soma entre as massas do bário e do masúrio (atualmente chamado tecnécio) seria igual à massa do urânio mais um nêutron ($238 + 1$). Dessa forma, pode-se interpretar que a divisão do núcleo de urânio em função da colisão com um nêutron poderia gerar bário e masúrio.



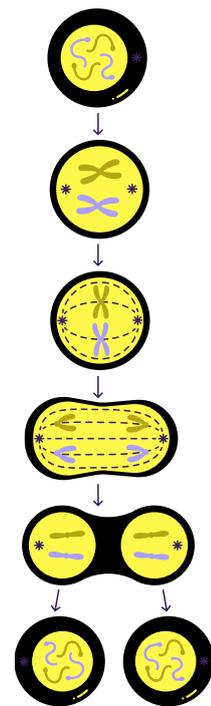
Algumas semanas após a publicação de Hahn e Strassmann, Meitner e o físico Otto Frisch, que era seu sobrinho, apresentaram uma explicação para a divisão do núcleo de urânio, comparando-o a uma gota de água que pode se fracionar através da quebra da tensão superficial. Posteriormente, Frisch nomeou esse fenômeno de fissão nuclear, em analogia à fissão celular.

Apesar das contribuições de Meitner, Strassmann e Frisch, o reconhecimento pela descoberta da fissão nuclear, pelo menos inicialmente, foi atribuído apenas a Hahn, que foi laureado individualmente com o Prêmio Nobel de Química em 1944.

Figura 9: Otto Frisch (1904-1979).



Fissão nuclear



Fissão celular

Com o reconhecimento da fissão nuclear, surgiram questionamentos em relação à existência dos transurânicos anunciados por Fermi e por Meitner e Hahn. Após explicarem a fissão, Meitner e Frisch anunciaram que a fissão nuclear do urânio produz elementos mais leves e, portanto, conhecidos.

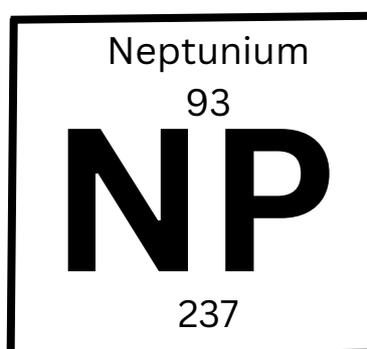
De fato, a primeira síntese bem-sucedida de um elemento transurânico ocorreu somente em 1940, quando os físicos americanos Edwin McMillan e Philip Abelson descobriram o neptúnio ($Z = 93$) entre os produtos resultantes do bombardeamento de núcleos de urânio com nêutrons.

Enquanto desenvolvia as bases teóricas da fissão nuclear, Meitner estabeleceu uma relação entre a energia liberada e a equação de Einstein: $E=mc^2$. Foi nesse contexto que a relação entre energia e massa emergiu 34 anos após a sua concepção em 1905.

Figura 10: Edwin McMillan (1907-1991).



Figura 11: Philip Abelson (1913-2004).



4. Aplicações da Fissão Nuclear

4. 1. Bombas Nucleares

Os primeiros dispositivos desenvolvidos utilizando o princípio da fissão nuclear, infelizmente, foram as bombas atômicas. Uma bomba atômica é um dispositivo programado para explodir e liberar energia, principalmente na forma de calor. Dessa forma, a reação de fissão nuclear em cadeia deve ocorrer de forma rápida. Para isso, é necessário obter a massa crítica concentrada de um radioisótopo físsil, como o urânio-235. Durante a segunda guerra mundial (1939-1945), o governo dos Estados Unidos criou o projeto Manhattan para o desenvolvimento de bombas atômicas de fissão nuclear. O físico americano Robert Oppenheimer foi creditado como pai da bomba atômica por ter liderado o Laboratório Nacional de Los Alamos, onde o projeto foi desenvolvido. Nesse contexto, duas bombas nucleares foram lançadas sobre o Japão em 1945 e marcaram o fim do conflito mundial. A primeira, denominada little boy (garotinho), foi lançada na cidade de Hiroshima em 6 de agosto e teve como elemento físsil o urânio-235. A segunda, chamada de fat man (homem gordo), foi detonada no dia 9 do mesmo mês em Nagasaki e teve como elemento físsil o plutônio-239.

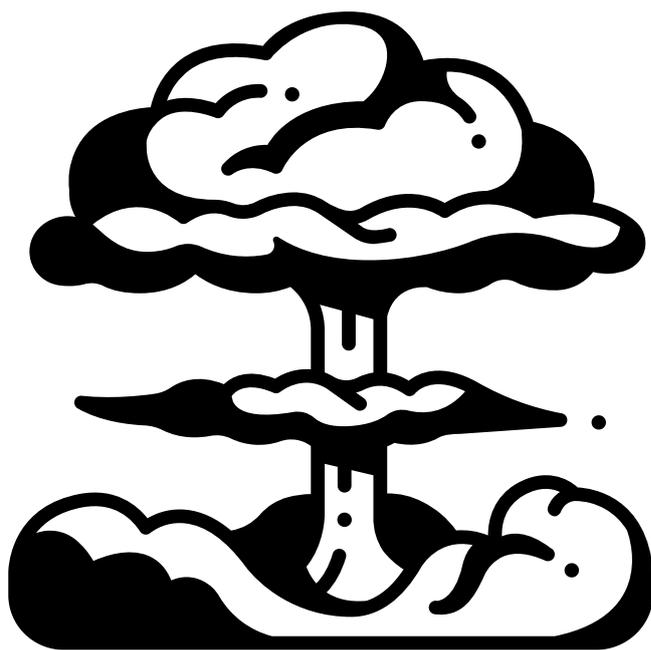
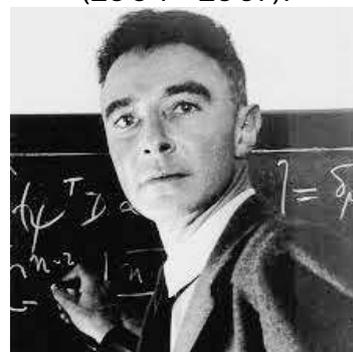


Figura 12: Robert Oppenheimer (1904 - 1967).



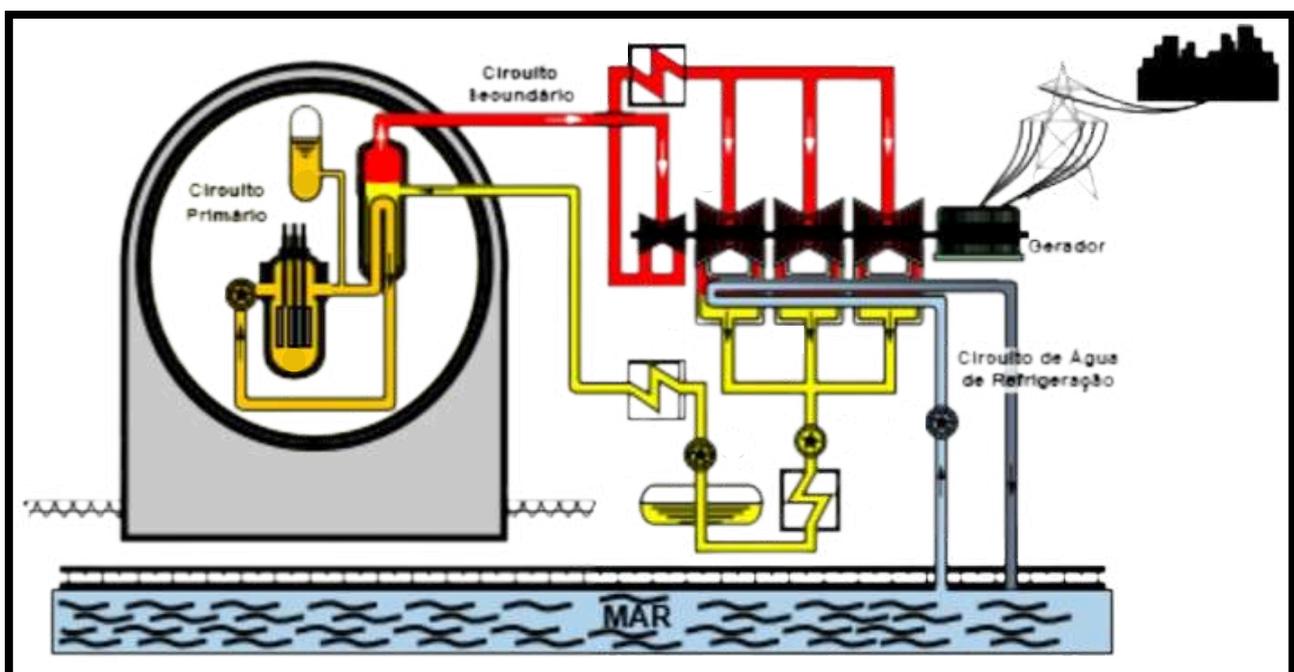
4.2. Energia Nuclear

A construção de uma usina nuclear envolve vários aspectos relativos à segurança que envolvem planejamento, construção civil, montagem dos equipamentos, operação e, por fim, o descarte dos rejeitos radioativos. O Brasil, atualmente, tem em operação duas usinas nucleares chamadas de Angra 1 e Angra 2, uma terceira (Angra 3) está em construção.

Uma usina nuclear é movida à combustível físsil, geralmente urânio-235 ou plutônio-239. Inicialmente o combustível físsil é comprimido em pastilhas e inserido em varetas que serão posicionadas dentro do reator nuclear. Quando um nêutron é disparado começa a fissão nuclear do combustível físsil que libera energia, principalmente na forma de calor.

O calor aquece uma porção de água que circula dentro do reator, mas não entra em contato com o combustível físsil. Essa água superaquecida circula por um sistema fechado e troca calor com outra porção de água que está fora do reator e a aquece até transformá-la em vapor. Esse vapor movimenta grandes turbinas que geram energia elétrica que é distribuída para as residências. Posteriormente, o vapor é condensado por outra porção de água externa, geralmente, oriunda de rios, lagos, oceanos etc.

Figura 13: Esquema do funcionamento de um reator nuclear.

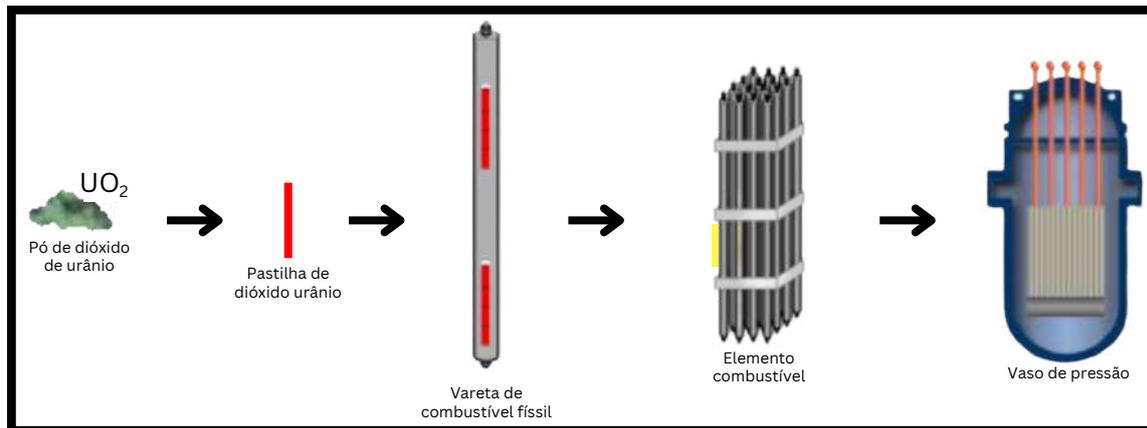


Fonte: Adaptado de Cardoso (2012).

Alguns componentes do reator nuclear:

A vareta de combustível é a primeira barreira que impede a saída de material radioativo para o meio ambiente. As varetas, contendo o urânio, conhecidas como varetas de combustível, são montadas em feixes, numa estrutura denominada elemento combustível.

Figura 14: Componentes de um reator nuclear.

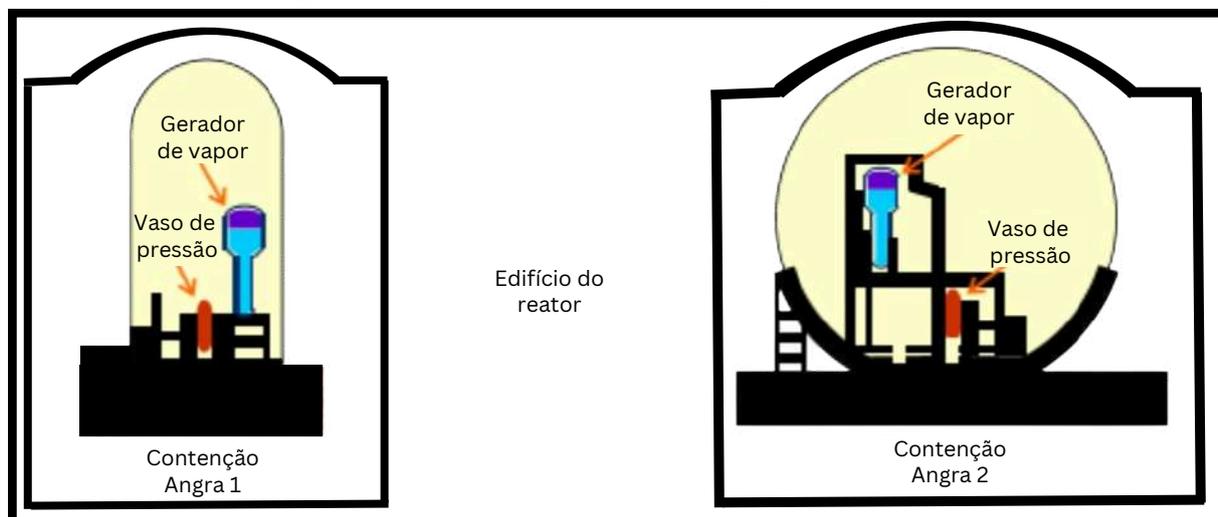


Fonte: Adaptado de Cardoso (2012).

O vaso de pressão do reator é a segunda barreira física que impede a saída de material radioativo para o meio ambiente. O elemento combustível é posicionado dentro de um grande vaso de aço, com “paredes”, no caso de Angra 1, de cerca de 20 cm e, no caso de Angra 2, de 25 cm.

A contenção é a terceira barreira que impede a saída de material radioativo para o meio ambiente. O vaso de pressão do reator e o gerador de vapor são instalados em uma grande “carcaça” de aço, com 3,8 cm de espessura. No caso de Angra 1, a contenção tem a forma de um tubo cilíndrico. Em Angra 2, a contenção é esférica.

Figura 15: Edifício do reator em Angra 1 e 2.



Fonte: Adaptado de Cardoso (2012).

O edifício do reator, construído em concreto e envolvendo a contenção de aço, é a quarta barreira física que impede a saída de material radioativo para o meio ambiente. Além disso, protege o reator de impactos externos.

Um dos maiores problemas associados a geração de energia nuclear é o destino dos resíduos radioativos. Após a vida útil, as varetas de combustível físsil são substituídas por novas. As varetas usadas contêm radioisótopos e por esse motivo não podem ser descartadas em aterros sanitários. Além das varetas de combustível nuclear, todos os objetos (roupas, calçados, luvas etc.) usados pelos operadores que aproximaram-se do reator nuclear podem estar contaminados, por isso, também não podem ser descartados no lixo "comum". As varetas usadas são armazenadas no fundo de um reservatório de água para evitar a saída de radioisótopos para o meio ambiente. Os demais resíduos radioativos são armazenados em toneis e caixas lacradas em depósitos. Todos os resíduos radioativos produzidos durante a geração de energia são armazenados dentro da usina nuclear.

Vantagens:

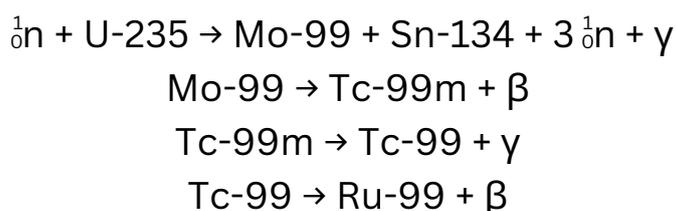
- ✓ Produção de baixo custo;
- ✓ Não consome combustível fóssil;
- ✓ Não produz gases do efeito estufa;
- ✓ Baixo consumo de combustível físsil;
- ✓ Alta eficiência na produção de energia;
- ✓ Independente de condições climáticas;
- ✓ Demanda pouco espaço geográfico para sua instalação;
- ✓ O Brasil é um país rico em urânio, que pode ser beneficiado para produzir combustível físsil.

Desvantagens:

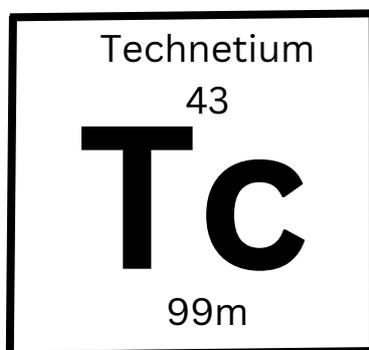
- ✓ Energia de fonte não renovável;
- ✓ Elevado custo do megawatt-hora;
- ✓ Produção de resíduos radioativos;
- ✓ Perigo de acidentes envolvendo a radiação nuclear;
- ✓ Elevado custo de instalação e manutenção;
- ✓ Aquecimento do ecossistema aquático causado pela água utilizada no sistema de resfriamento, que retorna ao rio, lago, oceano etc.

4.3. Radiofármacos

No campo da Medicina, a principal aplicação da fissão nuclear consiste na síntese de tecnécio-99m, um radiofármaco utilizado na medicina diagnóstica de imagem por ser um emissor de radiação gama pura de baixa energia (140keV). A fissão nuclear do urânio-235 produz molibdênio-99, que por sua vez, produz tecnécio-99m ao emitir uma partícula beta (${}_{-1}^0\beta$). O tecnécio-99m é metaestável e emite radiação gama (γ) formando assim tecnécio-99. Por fim, o tecnécio-99 sofre decaimento e gera o núcleo estável de rutênio por meio da emissão de mais uma partícula beta. Essa sequência de reações nucleares pode ser representada, de forma simplificada, por meio das seguintes equações:



O tecnécio-99m compõe a fórmula de mais de 30 radiofármacos. O pertecnetato de sódio (NaTcO_4) é o principal radiofármaco obtido a partir do tecnécio-99m. A radiação gama emitida durante a transição entre o Tc-99m e o Tc-99 é ideal para o diagnóstico por imagem, pois permite captar imagens de excelente resolução. Além disso, o período de decaimento do Tc-99m é de apenas 6h, o que minimiza o tempo de exposição a radiação gama pelo paciente.



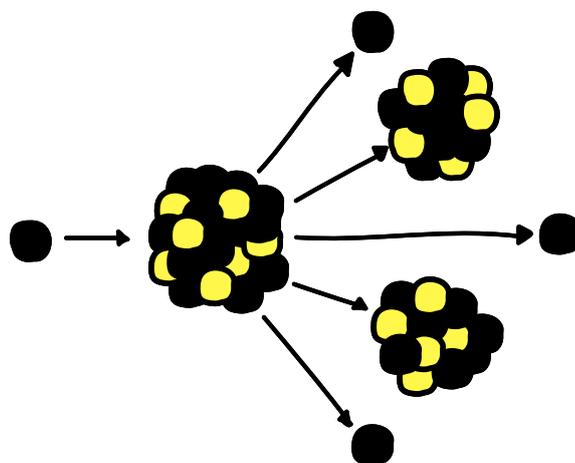
5. Considerações Finais

Conhecendo um pouco da história da fissão nuclear e suas aplicações, é possível beneficiar-se da radioatividade sem temê-la. A descoberta da fissão nuclear envolveu homens e mulheres, que de forma coletiva, estabeleceram as bases teóricas e experimentais desse fenômeno radioativo.

No Brasil, em 2021, as usinas nucleares Angra 1 e 2, foram responsáveis por 2,2% da produção energética do país, isso equivale a 14,4 TWh (terawatt-hora). Quando Angra 3 for concluída, esse número irá aumentar. Existem estudos para a implantação de outras usinas nucleares no Brasil, um exemplo disso é discussão sobre a construção de uma usina nuclear às margens do Rio São Francisco, na cidade de Itacuruba, no interior de Pernambuco.

O tecnécio-99m é um radioisótopo, proveniente da fissão nuclear do Urânio-235, utilizado em cerca de 80% dos procedimentos adotados na medicina nuclear. O pertecnetato de sódio, radiofármaco à base de tecnécio-99m, é empregado em exames de imagem da tireoide, das glândulas salivares e do coração.

Por fim, espera-se que esta cartilha possa contribuir para ressignificar o papel da fissão nuclear no desenvolvimento da Ciência e de Tecnologias que beneficiam a sociedade.



6. Para Entender Mais Sobre Fissão Nuclear

Livros

A Energia Nuclear – Eliezer de Moura Cardoso https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/apostila_educativa_aplicacoes_energia-nuclear-e-suas-aplicacoes.pdf

Aplicações da Energia Nuclear na Saúde – Regina Pinto de Carvalho e Silvia Maria Velasques de Oliveira <https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesenergianuclearnaude.pdf>

História da Energia Nuclear – Jader Benuzzi Martins <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/historia-da-energia-nuclear.pdf>

Radioatividade e Meio Ambiente: os Átomos Instáveis da Natureza – Kátia Aparecida da Silva Aquino e Fabiana da Silva Aquino <https://edit.sbg.org.br/anexos/radioatividade-meio-ambiente.pdf>

Filmes e Séries

Oppenheimer (2023) – Christopher Nolan -

Chernobyl (2019) – Johan Renck - HBO

Youtube

Entramos na USINA NUCLEAR de ANGRA!!! – Manual do Mundo <https://www.youtube.com/watch?v=ZsR-2zkEwCM>

Energia Nuclear em 2 minutos – Eletronuclear TV <https://www.youtube.com/watch?v=OzxiQdmTD58>

REAÇÃO em CADEIA: a HISTÓRIA da BOMBA ATÔMICA – Ciência Todo Dia <https://www.youtube.com/watch?v=6fsuiVHtEfc>

Referências

CARDOSO, E. M. **Energia Nuclear e Suas Aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012.

CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, S. M. V. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo: SBPC; Viena, IAEA, 2017.

HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. In: HOOK, E. B. (Org.). **Prematuridade na Descoberta Científica**. São Paulo: Perspectiva, 2007. p. 201-237.

OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

PASSOS, M. H. S.; SOUZA, A. A. **Química Nuclear e Radioatividade**. Campinas: Átomo, 2 ed, 2012.

RIBEIRO, M. J. S.; FERNANDES, L. S. Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear. **Educação Química em Ponto de Vista**. v. 6. p. 1-17. 2022.



Abordando a Fissão Nuclear, sua História e Aplicações: Relato de uma Pesquisa Interventiva no Ensino Médio.

Maxwel da Silva Dias^{1*}(PG), Lucas dos Santos Fernandes²(PQ), Ângela Fernandes Campos³(PQ). E-mail: max_wel_94@hotmail.com.

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Química, Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional. Secretaria de Educação do Estado de Pernambuco.

²Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Serra da Capivara, Colegiado de Ciências da Natureza.

³Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Química, Campus Recife.

Palavras-Chave: Fissão nuclear, Radioatividade, Ensino de Química.

Resumo: A fissão nuclear apresenta diversas aplicações, como a geração de energia nuclear. Os objetivos deste relato são descrever e analisar os resultados da aplicação de uma sequência de ensino-aprendizagem para o desenvolvimento de aprendizagens sobre fissão nuclear. Participaram deste estudo oito discentes do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de tempo integral do sertão de Pernambuco. Após a aplicação de uma sequência de ensino-aprendizagem, os estudantes elaboraram propostas de resolução para um problema real: a possível construção de uma usina nuclear às margens do Rio São Francisco na cidade de Itacuruba, sertão pernambucano. Para solucionar o problema, os estudantes deveriam apresentar argumentos científicos contra e/ou a favor da instalação da usina nuclear. As propostas de solução envolveram predominantemente as questões ambientais, econômicas e sociais. Por fim, pode-se afirmar que os estudantes obtiveram bom desempenho quanto aos argumentos a favor e contra a instalação da usina nuclear.

INTRODUÇÃO

Geração de energia nuclear, produção de radiofármacos, construção de bombas nucleares. Essas são apenas algumas aplicações da fissão nuclear. A fissão nuclear é “Uma reação em cadeia em que núcleos grandes e instáveis são quebrados por projéteis – como o nêutron – produzindo núcleos menores e uma grande quantidade de energia” (Passos; Souza, 2012, p. 83). Esse fenômeno radioativo pode ocorrer espontaneamente ou artificialmente por meio do bombardeamento de núcleos atômicos com projéteis. Após iniciado, esse processo libera mais nêutrons que atingem outros núcleos gerando uma reação em cadeia que libera uma grande quantidade de energia.

A fissão nuclear produz energia, nêutrons e núcleos atômicos que podem ser aproveitados em benefício da sociedade. Enquanto que a energia liberada na fissão nuclear pode ser transformada em energia elétrica, os núcleos atômicos mais leves podem ser utilizados na síntese de radiofármacos. Sob esta perspectiva e considerando o contexto atual de discussão sobre alternativas de produção de energia no mundo inteiro, espera-se que esse conteúdo faça parte do discurso curricular oficial atual, ou seja, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), como orientação para abordagem em sala de aula. Assim, a fissão nuclear se insere na etapa do Ensino Médio na Competência Específica 1 da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:

Dessa maneira, podem-se estimular estudos referentes a: estrutura da matéria; transformações químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia e da quantidade de movimento; ciclo da água; leis da termodinâmica; cinética e equilíbrio químicos; fusão e **fissão nucleares**; [...] (Brasil, 2017, p. 554, grifo dos autores).

Portanto, trata-se de um objeto de conhecimento que faz parte do ensino obrigatório para todos os estudantes brasileiros da educação básica. Dessa forma, é fundamental que os professores conheçam a fissão nuclear e desenvolvam estratégias didáticas para ensiná-la no Ensino Médio.

As aplicações da fissão nuclear podem interessar os estudantes e abrir caminho para o estudo desse fenômeno radioativo numa perspectiva envolvendo as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Nesse sentido, a história da fissão nuclear exemplifica de maneira excepcional como cientistas elaboraram as teorias (teoria da transmutação radioativa, teoria da estabilidade nuclear etc.) que culminaram com a construção de dispositivos tecnológicos (radiofármacos, reatores e bombas nucleares) que impactaram a sociedade.

Alguns estudos têm relatado que os estudantes apresentam diversas concepções alternativas sobre fissão nuclear: (i)- a fissão nuclear serve para obter energia quebrando o elétron do urânio; (ii)- fissão nuclear é a reação na qual um elemento se divide em isótopos e radiação é emitida simultaneamente; (iii)- fissão nuclear é uma reação em que moléculas maiores são quebradas em moléculas menores; (iv)- fissão nuclear é a explosão de núcleo/átomo; (v)- confusão entre fusão e fissão nuclear; (vi)- a fissão nuclear ocorre quando o material radioativo é dividido em seus dois isótopos (Tsaparlis; Hartzavalos; Nakiboglu, 2013). Essas concepções são um entrave importante na aprendizagem de conceitos científicos relevantes, como é o de fissão nuclear. Para evoluir conceitualmente são necessárias estratégias de ensino inovadoras que coloquem os estudantes como protagonistas em relação à construção de conhecimentos sob a mediação do professor.

Considerando a importância da construção de conhecimentos sobre fissão nuclear, os objetivos deste relato são descrever e analisar os resultados da aplicação de uma sequência de ensino-aprendizagem para o desenvolvimento de aprendizagens sobre esse objeto de conhecimento previsto na BNCC.

A DESCOBERTA DA FISSÃO NUCLEAR E SEU USO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A fissão nuclear foi descoberta entre 1934 e 1940. Nesse período, diversos cientistas na Itália, França e Alemanha pesquisavam a síntese de elementos transurânicos ($Z > 92$) por meio da irradiação de núcleos de urânio ($Z = 92$) com nêutrons desacelerados (Ribeiro; Fernandes, 2022). Inicialmente, o grupo italiano anunciou a descoberta dos transurânicos 93 e 94 (Fermi, 1934). Após esse anúncio, a química alemã Ida Noddack (1896-1978), publicou uma nota sugerindo que os italianos deveriam avaliar melhor seus resultados e verificar se ao invés dos transurânicos, não haviam sido formados elementos químicos mais leves por meio da divisão do núcleo atômico (Noddack, 1934). Sem prestar muita atenção na nota de Noddack, os alemães divulgaram a síntese dos transurânicos 95, 96 e 97 (Meitner; Hahn; Strassmann, 1937).

No entanto, começaram a surgir evidências experimentais de que o bombardeamento de urânio com nêutrons produzia elementos mais leves como bário e lantânio. Essas evidências eram incompatíveis com a teoria nuclear da época que defendia a inviolabilidade do núcleo atômico por forças externas (Hook, 2007).

Tudo mudou quando Otto Hahn e Fritz Strassmann identificaram bário em seus produtos de irradiação do urânio. Hahn cogitou a possibilidade de o núcleo de urânio ter se dividido e formado bário (Hahn; Strassmann, 1939). Contudo, coube a Lise Meitner e Otto Frisch explicarem esse fenômeno considerando o núcleo atômico uma gota de água

que se divide após ter a tensão superficial quebrada pelo impacto de um projétil (Meitner; Frisch, 1939). Frisch deu o nome de fissão nuclear a esse fenômeno e Meitner relacionou a energia liberada à equação de Einstein: $E=mc^2$ (Frisch, 1979).

Quando a fissão nuclear foi finalmente compreendida, entre o final de 1939 e início de 1940, o mundo vivenciava o início da Segunda Guerra Mundial. Nesse contexto, percebeu-se que a grande quantidade de energia liberada pela fissão nuclear poderia ser utilizada na produção de artefatos bélicos nunca vistos: as bombas nucleares. Nos Estados Unidos, o Projeto Manhattan, produziu as primeiras bombas nucleares. Após milhões de dólares, anos de trabalho intenso e testes bem sucedidos, duas bombas atômicas foram lançadas sobre o Japão, em agosto de 1945, nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, marcando o fim do conflito mundial.

Após a Segunda Guerra Mundial, os usos pacíficos da energia liberada pela fissão nuclear começaram a ser finalmente investigados. Em 20 de dezembro de 1951, um reator nuclear experimental construído em Arco, Idaho, produziu energia elétrica suficiente acender quatro lâmpadas (Mahaffey, 2011). O sucesso desse experimento deu fôlego a novas pesquisas com a finalidade de transformar a energia liberada na fissão nuclear em energia elétrica. Nesse sentido, foi construído o primeiro submarino movido à energia nuclear, que foi inaugurado no ano seguinte.

Nos anos posteriores foram construídos alguns protótipos de reatores nucleares capazes de transformar a energia liberada pela fissão em energia elétrica em larga escala. O sucesso desses protótipos levou a construção das primeiras plantas industriais para a instalação das usinas nucleares.

No Brasil, estão em funcionamento as usinas nucleares de Angra I e Angra II. A usina Angra III está em construção. Outros projetos para instalação de usinas nucleares pelo país estão sendo discutidos. Segundo dados de 2022, a energia nuclear contribui com 2,1% da oferta interna para a geração de energia elétrica (Brasil, 2023).

METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa interventiva de aplicação. Segundo Teixeira e Megid Neto (2017, p. 1068-1069), as pesquisas interventivas de aplicação são:

[...] “investigações baseadas em projetos nas quais as prioridades de investigação são definidas integralmente pelos pesquisadores. Envolvem o planejamento, a aplicação (execução) e a análise de dados sobre o processo desenvolvido, em geral, tentando delimitar limites e possibilidades daquilo que é testado ou desenvolvido na intervenção.

Nesta pesquisa, a intervenção será realizada mediante a aplicação de uma sequência de ensino-aprendizagem (SEA). Segundo Méheut e Psillos (2004, p. 516):

Uma sequência de ensino-aprendizagem é tanto uma atividade de pesquisa interventiva quanto um produto, como uma parte da unidade curricular tradicional, que inclui atividades de ensino-aprendizagem bem pesquisadas e empiricamente adaptadas ao raciocínio do aluno.

A sequência de ensino-aprendizagem foi estruturada nos moldes dos três momentos pedagógicos (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018).

Problematização Inicial: Apresentação de um problema contextualizado que exige a mobilização de conhecimentos científicos visando a interpretação e a formulação

de hipóteses pelos alunos. A partir do problema, os alunos expõem suas concepções prévias / alternativas. Durante a discussão é essencial que o professor questione, compare e problematize as respostas dos estudantes. Por fim, é fundamental que os estudantes terminem esse momento reconhecendo que apresentam conhecimentos científicos insuficientes para solucionar o problema apresentado.

Organização do Conhecimento: Apresentação sistemática dos conhecimentos científicos relacionados ao problema discutido no momento anterior. Nesse momento, o professor pode utilizar os mais variados recursos didáticos e estratégias de ensino visando a construção de conhecimentos pelos alunos.

Aplicação do Conhecimento: Momento em que os estudantes mobilizam os conhecimentos construídos anteriormente para responder a um problema real. Nesse momento, é necessário que os estudantes apliquem saberes conceituais, procedimentais e atitudinais para resolver um problema novo que se articula com o apresentado anteriormente e com os conhecimentos abordados no segundo momento pedagógico.

Antes da sequência didática ser aplicada, o docente havia abordado os conceitos de radioatividade, radiação, partículas radioativas e período de meia-vida. Portanto, as aulas seguintes foram destinadas ao ensino da fissão nuclear e demais conceitos relacionados. Participaram deste estudo oito estudantes do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de tempo integral do sertão pernambucano.

Antes da coleta de dados, o projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa com seres Humanos de uma universidade federal do estado de Pernambuco. Além disso, pais, estudantes e direção da escola assinaram termos de consentimento livre e esclarecido autorizando a realização da pesquisa.

O Quadro 1 apresenta a sequência de ensino-aprendizagem aplicada:

Quadro 1: Sequência de ensino-aprendizagem aplicada.

Momento Pedagógico (número de aulas)	Ações
Problematização Inicial (1)	Apresentação do seguinte problema: Vocês sabiam que aproximadamente 2% da energia gerada no Brasil é de origem nuclear? Como essa energia é gerada? Quais as teorias e conceitos científicos envolvidos? Discussão do problema. Diagnóstico de concepções prévias.
Organização do Conhecimento (2)	Aula expositiva e dialogada sobre o conceito de fissão nuclear e sua história. Aula expositiva e dialogada sobre as aplicações da fissão nuclear.
Aplicação do conhecimento (2)	Os estudantes elaboraram propostas para solucionar o problema individualmente. Posteriormente, as soluções foram apresentadas foram discutidas.

O problema que os estudantes foram convidados a solucionar derivou de uma notícia real divulgada em um blog sobre as questões ambientais nacionais. O enunciado do problema encontra-se a seguir:

“Existe o projeto de implantação de uma usina nuclear em Itacuruba, as margens do Rio São Francisco, no sertão de Pernambuco. Leia a notícia que saiu no portal de jornalismo ambiental ‘O Eco’. (<https://oeco.org.br/>). Após a leitura da notícia, explique

como a energia nuclear é gerada e quais princípios científicos estão envolvidos. Você é contra ou a favor da instalação da usina nuclear em Itacuruba? Apresente seus argumentos.”

As soluções escritas para o problema foram recolhidas para análise, que foi realizada por meio de uma rubrica. Segundo Fernandes (2021, p. 4):

Para a grande maioria dos autores, as rubricas deverão incluir o conjunto de critérios que se considera traduzir bem o que é desejável que os alunos aprendam e, para cada critério, um número de descrições de níveis de desempenho. Ou seja, para um dado critério, poderemos ter, por exemplo, três, quatro ou mesmo cinco indicadores ou descritores de níveis de desempenho que deverão traduzir, se quisermos, orientações fundamentais, para que os alunos possam regular e autorregular os seus progressos nas aprendizagens que têm de desenvolver. Assim, numa rubrica, deveremos ter sempre dois elementos fundamentais: um conjunto coerente e consistente de critérios e um conjunto muito claro de descrições para cada um desses critérios.

Nesse sentido, as soluções para o problema foram analisadas a partir da rubrica definida no Quadro 2:

Quadro 2: Rubrica de avaliação de desempenho dos estudantes.

Critérios	Descritores de Desempenho		
	Solução Satisfatória	Solução Parcialmente Satisfatória	Solução Insatisfatória
Compreensão do conceito de fissão nuclear	Expressou corretamente o conceito de fissão nuclear.	Não se aplica.	Expressou de forma incorreta o conceito de fissão nuclear.
Entendimento sobre a geração de energia nuclear	Expressou corretamente seu entendimento sobre a geração de energia nuclear.	Não se aplica.	Expressou incorretamente seu entendimento sobre a geração de energia nuclear.
Argumentos a favor ou contra a instalação da usina nuclear	Apresentou argumentos pertinentes sobre a instalação da usina nuclear.	Apresentou argumentos pertinentes e improcedentes sobre a instalação da usina nuclear.	Apresentou argumentos improcedentes sobre a instalação da usina nuclear.

A partir dessa rubrica pretende-se avaliar o desempenho dos estudantes em relação aos critérios estabelecidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas soluções ao problema proposto pode-se perceber a ausência do conceito de fissão nuclear. Essa lacuna pode indicar que esse conceito não foi suficientemente assimilado pelos estudantes. Por outro lado, pode ser que os estudantes não utilizaram esse conceito por não acharem necessário emprega-lo em seus argumentos.

Quanto ao entendimento do processo de geração de energia nuclear, alguns estudantes destacaram corretamente os benefícios econômicos, ambientais e tecnológicos associados à energia nuclear. Por outro lado, alguns discentes expressaram preocupações válidas, tais como: riscos ambientais, impactos na saúde e geração de resíduos radioativos. Essa diversidade de argumentos sugere uma compreensão heterogênea do papel da energia nuclear na geração de eletricidade.

Entre os argumentos a favor da instalação da usina nuclear estão: investimento na região, geração de empregos, desenvolvimento da economia local, energia limpa que não depende de combustíveis fósseis, independência energética.

É polêmico afirmar que se trata de uma energia limpa, considerando apenas a não emissão de gases do efeito estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis. Isso ocorre porque o lixo radioativo produzido pelas usinas nucleares acumula-se pelo planeta e ainda é um problema sem solução a curto prazo (Goldemberg; Lucon, 2018). Os resíduos radioativos apresentam radioisótopos com períodos de meia-vida longos e ainda não existem alternativas para reciclagem desses materiais.

Os argumentos a favor da instalação da usina baseiam-se em questões econômicas e ambientais. Debates sobre tais questões são interessantes, pois é necessário avaliar se o custo ambiental pode ser superado pelo desenvolvimento econômico. Nessa mesma linha, pode-se ainda tecer discussões sobre desenvolvimento sustentável.

Os argumentos contra a instalação da usina nuclear baseiam-se nas questões ambientais, sociais e econômicas relacionadas ao local de sua instalação: às margens do Rio São Francisco entre Pernambuco e Bahia, perto de hidrelétricas, projetos irrigação e aldeias indígenas.

Entre os argumentos contra a instalação da usina estão: produção de resíduos radioativos, elevado custo de construção, ameaças à cultura dos povos originários que vivem ao longo do curso do Rio São Francisco.

De uma forma geral, os estudantes ficaram divididos quanto a uma decisão definitiva sobre a construção ou não da usina nuclear em Itacuruba. O mais importante dessa divisão é que o debate não ficou polarizado e que os discentes forneceram argumentos fortes a favor e contra a construção da usina nuclear.

A diversidade de argumentos reflete a complexidade do debate em torno da energia nuclear, que envolve considerações socioeconômicas, ambientais, tecnológicas e de saúde. As diferentes perspectivas apresentadas indicam a necessidade de um debate amplo e informado, levando em conta os diversos aspectos envolvidos na decisão sobre a construção de usinas nucleares.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intervenção didática realizada cumpriu seu objetivo que era avaliar o desempenho dos estudantes que vivenciaram uma sequência de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, a partir da solução ao problema proposto, pode-se afirmar que os estudantes obtiveram bom desempenho quanto aos argumentos a favor e contra a instalação da usina nuclear às margens do rio São Francisco, em Itacuruba, sertão de Pernambuco.

A sequência de ensino-aprendizagem mostrou-se satisfatória ainda por outro motivo: apesar de viverem na área de influência do rio São Francisco, os estudantes nunca ouviram falar sobre o projeto de construção de uma usina nuclear na região. É importante salientar que a população da região poderá ser consultada caso esse projeto volte a ser discutido.

Um dos objetivos do ensino de Ciências para todos consiste em construir conhecimentos científicos que possam ser mobilizados em processos que demandem a participação dos cidadãos na tomada de decisões que irão impactar o meio ambiente e a sociedade. Dessa forma, a sequência de ensino-aprendizagem aplicada simulou uma situação que poderá ocorrer no futuro.

Por fim, espera-se que as questões relacionadas às aplicações da fissão nuclear sejam mais debatidas e esclarecidas para todos os estudantes, visando a alfabetização científica e a compreensão dos fenômenos radioativos.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular** – Etapa do Ensino Médio. Brasília, 2018.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2023**: Ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2018.
- FERMI, E. Possible production of elements of atomic number higher than 92. **Nature**, v. 133, p. 898-899, 1934.
- FERNANDES, D. **Rubricas de Avaliação**. Ministério da Educação: Lisboa, 2021.
- FRISCH, O. **What little I remember**. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. S. Energia nuclear no Brasil e no Mundo. *In*: VEIGA, J. E. (Org.). **Energia Nuclear**: do anátema ao diálogo. São Paulo: Editora SENAC, 2018.
- HAHN, O.; STRASSMANN, F. Uber den nachweis und das verhalten der bei der bestrahlung des urans mittels neutronen entstehenden erdalkalimetalle. **Naturwissenschaften**, v. 27, p. 11-15, 1939.
- HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. *In*: HOOK, E. B. (Org.). **Prematuridade na Descoberta Científica**. São Paulo: Perspectiva, 2007. p. 201-237.
- MAHAFFEY, J. A. **The History of Nuclear Power**. New York: Facts On File, 2011.



MEITNER, L.; FRISCH, O. Desintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction. **Nature**, v. 143, p. 239-240, 1939.

MEITNER, L.; HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über die umwandlungsreihen des urans, die durch neutronenbestrahlung erzeugt werden. **Zeitschrift für Physik**, v. 106, p. 249-270, 1937.

NODDACK, I. Über das element 93. **Angewandte Chemie**, v. 47, p. 653-655, 1934.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-135, 2004.

PASSOS, M. H. S.; SOUZA, A. A. **Química Nuclear e Radioatividade**. Campinas: Átomo, 2012.

RIBEIRO, M. J. S.; FERNANDES, L. S. Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear. **Educação Química em Ponto de Vista**, v. 6, p. 1-17, 2022.

TEIXEIRA, P. M. M.; MEGID NETO, J. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. **Ciência & Educação**, v. 23, n. 4, p. 1055-1076, 2017.

TSAPARLIS, G.; HARTZAVALOS, S.; NAKIBOGLU, C. Students' knowledge of nuclear science and its connection with civic scientific literacy in two european contexts: the case of newspaper articles. **Science & Education**, v. 22, n. 8, p. 1963-1991, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) _____, para participar como voluntário (a) da pesquisa: **SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM ESTRUTURADA A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS PARA O ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR**. Esta pesquisa é da responsabilidade do pesquisador Maxwel da Silva Dias, Av. Quatorze de Julho - Serra Talhada - PE, 56909-680, tel: (87) 99670-6426 e e-mail: químico.maxwel@gmail.com. Também participam desta pesquisa os pesquisadores: Prof. Dr. Lucas dos Santos Fernandes (81 988673009) e a Prof^a. Dr^a. Ângela Fernandes Campos (81 987190812) e está sob a orientação do Prof. Prof^o. Dr. Lucas dos Santos Fernandes Telefone: (81) 98867-3009 e e-mail luckfernandez@hotmail.com e Coorientação da Prof^a. Dr^a. Ângela Fernandes Campos Telefone: (81) 98719-0812 e e-mail: afernandescampos@gmail.com.

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

➤ **Descrição da pesquisa:** O objetivo desta pesquisa é avaliar uma sequência de ensino e aprendizagem centrada na história e nas aplicações da fissão nuclear para o ensino médio. A coleta de dados será realizada através da gravação de áudio e da produção de textos escritos pelos estudantes. Serão coletados dados de áudio na primeira e nas duas últimas

aulas da sequência de ensino e aprendizagem. Esses dados serão transcritos e analisados com o objetivo de identificar concepções prévias e o desenvolvimento conceitual dos estudantes em relação ao tema radioatividade e suas aplicações. Além disso, as respostas dadas pelos estudantes ao problema apresentado nas últimas aulas da sequência de ensino e aprendizagem serão avaliadas utilizando rubricas (categorias) predefinidas.

A intervenção didática será realizada por meio da aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem estruturada em três momentos pedagógicos: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. Esta sequência de ensino e aprendizagem é projetada com base em princípios dialógicos, construtivistas e investigativos.

➤ **Esclarecimento do período de participação da criança/adolescente na pesquisa, local, início, término e número de visitas para a pesquisa:** A pesquisa será realizada no primeiro semestre de 2024 entre os meses de março e abril, com um total de 5 encontros de 50 min.

➤ **RISCOS diretos para o responsável e para os voluntários:** A pesquisa envolve o uso de materiais que não representam riscos à saúde e à integridade dos participantes, uma vez que são de uso cotidiano: como papel, caneta e gravador de áudio. No entanto, reconhecemos que a coleta de dados, que inclui registros de áudio e produções escritas, pode suscitar preocupações em relação à privacidade e ao potencial constrangimento ao responder às questões apresentadas. Portanto, adotaremos medidas rigorosas para garantir a privacidade e a confidencialidade dos participantes. Todas as informações coletadas nesta pesquisa serão tratadas com estrita confidencialidade, e a identidade dos voluntários será protegida de forma rigorosa. Não haverá divulgação da identidade dos participantes, a menos que seja estritamente necessário para os propósitos da pesquisa, e somente entre os responsáveis pela condução do estudo.

Ressaltamos que, desde o primeiro momento até o término da intervenção, os participantes terão total liberdade para decidir se desejam ou não participar de qualquer etapa do processo. Se, a qualquer momento, um participante optar por não participar ou sentir desconforto, sua decisão será respeitada integralmente. No que diz respeito ao armazenamento dos dados em um computador pessoal, compreendemos a preocupação com a segurança dessas informações. Como medida de segurança, os dados serão tratados de forma confidencial e sigilosa e serão armazenados em um disco rígido externo exclusivo do pesquisador, sem conexão com a internet, minimizando assim o risco de acesso não autorizado.

Em resumo, todos os aspectos relacionados à privacidade, confidencialidade e segurança dos participantes serão estritamente preservados e respeitados ao longo da pesquisa. Nossas medidas visam

garantir o bem-estar dos participantes, abrangendo suas dimensões psíquicas, morais, intelectuais, sociais, culturais e físicas.

➤ **BENEFÍCIOS diretos e indiretos para os voluntários:** Os participantes desta pesquisa experimentarão benefícios significativos no desenvolvimento de habilidades cognitivas, como a capacidade crítica e a autonomia, por meio da exploração investigativa. Além disso, eles terão a oportunidade de compreender que os conceitos estudados não são meros conteúdos teóricos, mas sim elementos integrantes do seu dia a dia, que podem ser aplicados em situações cotidianas. É assegurado aos participantes o acesso aos resultados deste estudo, bem como a oportunidade de participar das discussões e avaliações da metodologia utilizada. Desta forma, os participantes terão uma visão abrangente do processo de pesquisa e de seus resultados, promovendo um entendimento mais profundo e envolvente dos conceitos abordados.

Essa pesquisa terá uma contribuição valiosa para o ensino de Química, uma vez que não apenas fortalecerá a compreensão dos estudantes sobre os temas abordados, mas também demonstrará a relevância desses conceitos em suas vidas cotidianas. O estudo proporcionará uma abordagem prática e contextualizada que ampliará o envolvimento dos estudantes com a disciplina, tornando o aprendizado mais eficaz e significativo. Além disso, os resultados da pesquisa podem informar futuras abordagens de ensino e aprendizagem em Química, beneficiando a educação como um todo.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (gravações de áudio e produções escritas), ficarão armazenados em (pastas de arquivo, computador pessoal), sob a responsabilidade do pesquisador, no endereço acima mencionado, pelo período mínimo de 05 anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação), assim como será oferecida assistência integral, imediata e gratuita, pelo tempo que for necessário em caso de danos decorrentes desta pesquisa.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFRPE no endereço: Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois

Irmãos – CEP: 52171-900 Telefone: (81) 3320.6638 / e-mail: cep@ufrpe.br (1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE, ao lado da Secretaria Geral dos Conselhos Superiores). Site: www.cep.ufrpe.br .

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado pela pessoa por mim designada, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo: **SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM ESTRUTURADA A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS PARA O ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR**, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Serra Talhada - PE, em ____/____/_____.

Assinatura do participante

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

**TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(PARA MENORES DE 7 a 18 ANOS)**

Convidamos você _____, após autorização dos seus pais [ou dos responsáveis legais] para participar como voluntário (a) da pesquisa: **SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM ESTRUTURADA A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS PARA O ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR**. Esta pesquisa é da responsabilidade do pesquisador Maxwel da Silva Dias, Av. Quatorze de Julho - Serra Talhada - PE, 56909-680, tel: (87) 99670-6426 e e-mail: químico.maxwel@gmail.com. Também participam desta pesquisa os pesquisadores: Prof. Dr. Lucas dos Santos Fernandes (81 988673009) e a Prof^a. Dr^a. Ângela Fernandes Campos (81 987190812) e está sob a orientação do Prof. Prof^o. Dr. Lucas dos Santos Fernandes Telefone: (81) 98867-3009 e e-mail luckfernandez@hotmail.com e Coorientação da Prof^a. Dr^a. Ângela Fernandes Campos Telefone: (81) 98719-0812 e e-mail: afernandescampos@gmail.com.

Você será esclarecido (a) sobre qualquer dúvida com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via deste termo lhe será entregue para que seus pais ou responsável possam guardá-la e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu. Para participar deste estudo, um responsável por você deverá autorizar e assinar um Termo de Consentimento, podendo retirar esse consentimento ou interromper a sua participação em qualquer fase da pesquisa, sem nenhum prejuízo.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

➤ **Descrição da pesquisa:** O objetivo desta pesquisa é avaliar uma sequência de ensino e aprendizagem centrada na história e nas aplicações da fissão nuclear para o ensino médio. A coleta de dados será realizada através da gravação de áudio e da produção de textos escritos pelos estudantes. Serão coletados dados de áudio na primeira e nas duas últimas

aulas da sequência de ensino e aprendizagem. Esses dados serão transcritos e analisados com o objetivo de identificar concepções prévias e o desenvolvimento conceitual dos estudantes em relação ao tema radioatividade e suas aplicações. Além disso, as respostas dadas pelos estudantes ao problema apresentado nas últimas aulas da sequência de ensino e aprendizagem serão avaliadas utilizando rubricas (categorias) predefinidas.

A intervenção didática será realizada por meio da aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem estruturada em três momentos pedagógicos: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. Esta sequência de ensino e aprendizagem é projetada com base em princípios dialógicos, construtivistas e investigativos.

Esclarecimento do período de participação da criança/adolescente na pesquisa, local, início, término e número de visitas para a pesquisa: A pesquisa será realizada no primeiro semestre de 2024 entre os meses de março e abril, com um total de 5 encontros de 50 min.

➤ **RISCOS diretos para o responsável e para os voluntários:** A pesquisa envolve o uso de materiais que não representam riscos à saúde e à integridade dos participantes, uma vez que são de uso cotidiano: como papel, caneta e gravador de áudio. No entanto, reconhecemos que a coleta de dados, que inclui registros de áudio e produções escritas, pode suscitar preocupações em relação à privacidade e ao potencial constrangimento ao responder às questões apresentadas. Portanto, adotaremos medidas rigorosas para garantir a privacidade e a confidencialidade dos participantes. Todas as informações coletadas nesta pesquisa serão tratadas com estrita confidencialidade, e a identidade dos voluntários será protegida de forma rigorosa. Não haverá divulgação da identidade dos participantes, a menos que seja estritamente necessário para os propósitos da pesquisa, e somente entre os responsáveis pela condução do estudo.

Ressaltamos que, desde o primeiro momento até o término da intervenção, os participantes terão total liberdade para decidir se desejam ou não participar de qualquer etapa do processo. Se, a qualquer momento, um participante optar por não participar ou sentir desconforto, sua decisão será respeitada integralmente. No que diz respeito ao armazenamento dos dados em um computador pessoal, compreendemos a preocupação com a segurança dessas informações. Como medida de segurança, os dados serão tratados de forma confidencial e sigilosa e serão armazenados em um disco rígido externo exclusivo do pesquisador, sem conexão com a internet, minimizando assim o risco de acesso não autorizado.

Em resumo, todos os aspectos relacionados à privacidade, confidencialidade e segurança dos participantes serão estritamente preservados e respeitados ao longo da pesquisa. Nossas medidas visam garantir o bem-estar dos participantes, abrangendo suas dimensões psíquicas, morais, intelectuais, sociais, culturais e físicas.

➤ **BENEFÍCIOS diretos e indiretos para os voluntários:** Os participantes desta pesquisa experimentarão benefícios significativos no desenvolvimento de habilidades cognitivas, como a capacidade crítica e a autonomia, por meio da exploração investigativa. Além disso, eles terão a

oportunidade de compreender que os conceitos estudados não são meros conteúdos teóricos, mas sim elementos integrantes do seu dia a dia, que podem ser aplicados em situações cotidianas. É assegurado aos participantes o acesso aos resultados deste estudo, bem como a oportunidade de participar das discussões e avaliações da metodologia utilizada. Desta forma, os participantes terão uma visão abrangente do processo de pesquisa e de seus resultados, promovendo um entendimento mais profundo e envolvente dos conceitos abordados.

Essa pesquisa terá uma contribuição valiosa para o ensino de Química, uma vez que não apenas fortalecerá a compreensão dos estudantes sobre os temas abordados, mas também demonstrará a relevância desses conceitos em suas vidas cotidianas. O estudo proporcionará uma abordagem prática e contextualizada que ampliará o envolvimento dos estudantes com a disciplina, tornando o aprendizado mais eficaz e significativo. Além disso, os resultados da pesquisa podem informar futuras abordagens de ensino e aprendizagem em Química, beneficiando a educação como um todo.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (gravações de áudio e produções escritas), ficarão armazenados em (pastas de arquivo, computador pessoal), sob a responsabilidade do pesquisador, no endereço acima mencionado, pelo período mínimo de 05 anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação), assim como será oferecida assistência integral, imediata e gratuita, pelo tempo que for necessário em caso de danos decorrentes desta pesquisa.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFRPE no endereço: Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois Irmãos – CEP: 52171-900 Telefone: (81) 3320.6638 / e-mail: cep@ufrpe.br (1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE, ao lado da Secretaria Geral dos Conselhos Superiores). Site: www.cep.ufrpe.br .

Assinatura do pesquisador (a)

ASSENTIMENTO DO(DA) MENOR DE IDADE EM PARTICIPAR COMO VOLUNTÁRIO(A)

Eu, _____, portador (a) do documento de Identidade _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo: **SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM ESTRUTURADA A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS PARA O ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR**, como voluntário (a). Fui informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, o que vai ser feito, assim como os possíveis riscos e benefícios que podem acontecer com a minha participação. Foi-me garantido que posso desistir de participar a qualquer momento, sem que eu ou meus pais precise pagar nada.

Serra Talhada - PE, em ____/____/_____.

Assinatura do(a) menor

Presenciamos a solicitação de assentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e aceite do/a voluntário/a em participar. 02 testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PARA RESPONSÁVEL LEGAL PELO MENOR DE 18 ANOS)

Solicitamos a sua autorização para convidar o (a) seu/sua filho (a) _____ para participar, como voluntário (a), da pesquisa: **SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM ESTRUTURADA A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS PARA O ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR**. Esta pesquisa é da responsabilidade do pesquisador Maxwell da Silva Dias, Av. Quatorze de Julho - Serra Talhada - PE, 56909-680, tel: (87) 99670-6426 e e-mail: químico.maxwel@gmail.com. Também participam desta pesquisa os pesquisadores: Prof. Dr. Lucas dos Santos Fernandes (81 988673009) e a Prof^a. Dr^a. Ângela Fernandes Campos (81 987190812) e está sob a orientação do Prof. Prof^o. Dr. Lucas dos Santos Fernandes Telefone: (81) 98867-3009 e e-mail luckfernandez@hotmail.com e Coorientação da Prof^a. Dr^a. Ângela Fernandes Campos Telefone: (81) 98719-0812 e e-mail: afernandescampos@gmail.com.

O/a Senhor/a será esclarecido (a) sobre qualquer dúvida a respeito da participação dele/a na pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e o/a Senhor/a concordar que o (a) menor faça parte do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via deste termo de consentimento lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O/a Senhor/a estará livre para decidir que ele/a participe ou não desta pesquisa. Caso não aceite que ele/a participe, não haverá nenhum problema, pois desistir que seu filho/a participe é um direito seu. Caso não concorde, não haverá penalização para ele/a, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

➤ **Descrição da pesquisa:** O objetivo desta pesquisa é avaliar uma sequência de ensino e aprendizagem centrada na história e nas aplicações da fissão nuclear para o ensino médio. A coleta de dados será realizada através da gravação de áudio e da produção de textos escritos pelos estudantes. Serão coletados dados de áudio na primeira e nas duas últimas aulas da sequência de ensino e aprendizagem. Esses dados serão transcritos e analisados com o objetivo de identificar concepções prévias e o desenvolvimento conceitual dos estudantes em relação ao tema radioatividade e suas aplicações. Além disso, as respostas dadas pelos estudantes ao problema apresentado nas últimas aulas da sequência de ensino e aprendizagem serão avaliadas utilizando rubricas (categorias) predefinidas.

A intervenção didática será realizada por meio da aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem estruturada em três momentos pedagógicos: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. Esta sequência de ensino e aprendizagem é projetada com base em princípios dialógicos, construtivistas e investigativos.

➤ **Esclarecimento do período de participação da criança/adolescente na pesquisa, local, início, término e número de visitas para a pesquisa:** A pesquisa será realizada no primeiro semestre de 2024 entre os meses de março e abril, com um total de 5 encontros de 50 min.

➤ **RISCOS diretos para o responsável e para os voluntários:** A pesquisa envolve o uso de materiais que não representam riscos à saúde e à integridade dos participantes, uma vez que são de uso cotidiano: como papel, caneta e gravador de áudio. No entanto, reconhecemos que a coleta de dados, que inclui registros de áudio e produções escritas, pode suscitar preocupações em relação à privacidade e ao potencial constrangimento ao responder às questões apresentadas. Portanto, adotaremos medidas rigorosas para garantir a privacidade e a confidencialidade dos participantes. Todas as informações coletadas nesta pesquisa serão tratadas com estrita confidencialidade, e a identidade dos voluntários será protegida de forma rigorosa. Não haverá divulgação da identidade dos participantes, a menos que seja estritamente necessário para os propósitos da pesquisa, e somente entre os responsáveis pela condução do estudo.

Ressaltamos que, desde o primeiro momento até o término da intervenção, os participantes terão total liberdade para decidir se desejam ou não participar de qualquer etapa do processo. Se, a qualquer momento, um participante optar por não participar ou sentir desconforto, sua decisão será respeitada integralmente. No que diz respeito ao armazenamento dos dados em um computador pessoal, compreendemos a preocupação com a segurança dessas informações. Como medida de segurança, os dados serão tratados de forma confidencial e sigilosa e serão armazenados em um disco rígido externo exclusivo do pesquisador, sem conexão com a internet, minimizando assim o risco de acesso não autorizado.

Em resumo, todos os aspectos relacionados à privacidade, confidencialidade e segurança dos participantes serão estritamente preservados e respeitados ao longo da pesquisa. Nossas medidas visam garantir o bem-estar dos participantes, abrangendo suas dimensões psíquicas, morais, intelectuais, sociais, culturais e físicas.

➤ **BENEFÍCIOS diretos e indiretos para os voluntários:** Os participantes desta pesquisa experimentarão benefícios significativos no desenvolvimento de habilidades cognitivas, como a capacidade crítica e a autonomia, por meio da exploração investigativa. Além disso, eles terão a oportunidade de compreender que os conceitos estudados não são meros conteúdos teóricos, mas sim elementos integrantes do seu dia a dia, que podem ser aplicados em situações cotidianas. É assegurado aos participantes o acesso aos resultados deste estudo, bem como a oportunidade de participar das discussões e avaliações da metodologia utilizada. Desta forma, os participantes terão uma visão abrangente do processo de pesquisa e de seus resultados, promovendo um entendimento mais profundo e envolvente dos conceitos abordados.

Essa pesquisa terá uma contribuição valiosa para o ensino de Química, uma vez que não apenas fortalecerá a compreensão dos estudantes sobre os temas abordados, mas também demonstrará a relevância desses conceitos em suas vidas cotidianas. O estudo proporcionará uma abordagem prática e contextualizada que ampliará o envolvimento dos estudantes com a disciplina, tornando o aprendizado mais eficaz e significativo. Além disso, os resultados da pesquisa podem informar futuras abordagens de ensino e aprendizagem em Química, beneficiando a educação como um todo.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a participação do/a voluntário (a). Os dados coletados nesta pesquisa (gravações de áudio e produções escritas), ficarão armazenados em (pastas de arquivo, computador pessoal), sob a responsabilidade do pesquisador, no endereço acima mencionado, pelo período mínimo de 05 anos.

O (a) senhor (a) não pagará nada e nem receberá nenhum pagamento para ele/ela participar desta pesquisa, pois deve ser de forma voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação dele/a na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas para a participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento com transporte e alimentação), assim como será oferecida assistência integral, imediata e gratuita, pelo tempo que for necessário em caso de danos decorrentes desta pesquisa.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa CEP/UFRPE no endereço: Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois

Irmãos – CEP: 52171-900 Telefone: (81) 3320.6638 / e-mail: cep@ufrpe.br (1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE, (ao lado da Secretaria Geral dos Conselhos Superiores). Site: www.cep.ufrpe.br .

Assinatura do pesquisador (a)

CONSENTIMENTO DO RESPONSÁVEL PARA A PARTICIPAÇÃO DO/A VOLUNTÁRIO

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, responsável por _____, autorizo a sua participação no estudo: **SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM ESTRUTURADA A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS PARA O ENSINO DE FISSÃO NUCLEAR**, como voluntário(a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes da participação dele (a). Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade para mim ou para o (a) menor em questão.

Serra Talhada - PE, em ____/____/_____.

Assinatura do (da) responsável

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e aceite do voluntário em participar. 02 testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

APÊNDICE H

Transcrições de áudio do primeiro momento pedagógico

P = Professor

Alunos que autorizaram: A1, A2, A3, A4 e A5

*****: ocultação dos nomes de alunos citados

P: Já trabalhou aqui, certo? Perguntar para vocês, o que é que a gente já viu tanto aqui no nosso Curto Bimestre?

A1: Modelos atômicos.

P: Esqueceu o resto, foi?

A2: Um pouco sobre fissão nuclear.

P: O que seria a fissão nuclear, então?

A2: É a bagaceira.

P: Como é que você explicaria essa bagaceira?

A2: Explodindo, explodindo as coisas.

P: É uma explosão. A aula de hoje.

A1: Radioatividade.

P: Radioatividade. Na aula de hoje a gente vai começar com essa bagaceira que os colegas falaram ali, que é uma a explosão?

P: O que é uma explosão? Certo. O que seria essa explosão? Quem consegue definir explosão? Explosão

A2: um impacto!

P: tem um impacto. Beleza, vamos lá, vamos tentar desenhar.

A2: um bombardeamento dos núcleos

A3: Explosão do núcleo!

P: Uma pressão.

A3: Explosão dos átomos!

P: Dos átomos, vamos lá, certo. Então, a gente tem o átomo aqui, certo? Esse átomo, ele vai sofrer, como estão falando ali, uma pressão. Quem que vai atingir o átomo?

A2: Um bombardeamento, vai bombardear ele!

P: Vamos bombardear, esse átomo com o que? O que que tá sendo utilizado pra bombardear?

P: Bola de fogo pra bombardear?

A2: A pressão.

A3: A radioatividade.

P: A pressão. A radioatividade é o que tá atingindo ele, né?

A2: É.

A3: Isso

P: A pressão ali, pronto, pressão radioativa. A radioatividade a gente pode definir como o quê? O que que pode ser a radioatividade, então?

A2: Algo ruim

P: Algo ruim, a atividade é ruim.

A4: É bom

P: É bom. Que mais?

A3: é ruim.

A2: É dolorosa.

P: É dolorosa.

A4: Sofredora.

P: Sofredora.

P: Vamos fingir que eu tô escrevendo, beleza? Mas é sofredora, tem que queimadura, tem doenças, tem que, tem quem mais?

A3: Deformações.

P: Tem o quê? Desculpa, *****

A3: Deformações.

P: Deformações, certo, certo. E tu, *****?

A4: emissões de partículas.

P: As emissões de partículas. Quando a gente atinge esse núcleo, ele vai emitir, então, partículas. Quais são as partículas? Quais são as partículas que são emitidas no processo de radioatividade?

A4: Alfa,

A1: Beta e gama,

A2: e gama

P: Alfa, beta, gama é uma partícula?

A2: são raios

A3: É o Raio, raios gama

P: são raios, são ondas eletromagnéticas. Certo? São ondas eletromagnéticas. Não possuem massas, né? Por ser utilizadas, elas não podem ser consideradas partículas. Ok. Então, vamos lá. O que que era utilizado, então, para bombardear um átomo, um núcleo? Eu vou usar radioatividade para bombardear o núcleo aonde? Eu, ao bombardear esse núcleo, eu libero radioatividade. Faz sentido isso? Sim ou não? Presta atenção. Vamos lá, eu tenho um átomo esse átomo, ao ser atingido, ele pode liberar o que nós chamamos de radioatividade. Certo? Então eu vou usar a radioatividade para atingir o núcleo e liberar a radioatividade. Sim ou não?

A3: Sim.

P: Sim. posso atingir esse núcleo de que forma? Qual radioatividade que eu vou usar para atingir as partículas quais, principalmente?

A4: Alfa, gama e beta

P: Posso utilizar as partículas alfa, que possuem uma massa, então ele pode atingir esse núcleo atômico e depois ser liberado. Ok, só que... Se a gente prestar atenção, tanto partículas alfas quanto partículas betas, eles apresentam características eletromagnéticas, né? Possuindo cargas, no caso da beta aqui, negativas, como se comportando como se fosse um elétron, e a alfa possuindo cargas positivas, no caso, parecendo com os prótons, né? E o nosso ato, ele possui prótons e elétrons em torno dele, certo? Além de que? Qual é a terceira subpartícula que nós encontramos aqui no átomo?

A1: nêutrons

P: Os nêutrons, né?

P: O que seriam os nêutrons?

A1: Cargas nulas

P: Cargas nulas, né? Nem positivo e nem negativo. Então, o que seria mais inteligente? O atingir o núcleo atômico. Núcleo atômico nós temos cargas negativas, positivas e cargas nuas. Se eu tiver que bombardear esse núcleo, é mais fácil utilizar o que? O que tem a carga positiva, negativa ou nula? Seria mais eficiente?

A4: Cargas nulas

P: As cargas nulas, concordam? Sim, porque se eu tenho um positivo Chegando perto do positivo, vai acontecer o que? Uma repulsão, né? Eles desviam. Se eu

usar o negativo para se aproximar do negativo? Acontece a mesma coisa. Agora, se eu usar uma carga núcleo para chegar perto do positivo, ele não sofre deferência e ele também não sofre deferência de forma negativa. Certo? Obrigado. Então, a forma mais eficiente de se atingir um núcleo atômico, então seria utilizando cargas nulas, neutras. Então, esse núcleo, esse átomo, ele está sendo atingido, então, não por radioatividade. Antes era por radioatividade, partículas altas sendo bombardeadas. Só que não gerava uma eficiência tão boa. Foi substituído, então, por nêutrons atingindo esse núcleo atômico. Certo? A eficiência aumenta. O que vocês imaginam quando você tem aqui o núcleo e em direção dele está vindo o nêutron? Vai acontecer o que com esse núcleo?

A4: vão se colidir

P Vão se colidir e vai acontecer com isso?

A4: uma explosão!

A5: vai se dividir ao meio

P: Vamos pensar essa explosão, ela pode se dividir ao meio como se fosse uma casca de ovo se jogou alguma coisa na casca de ovo pode se dividir ao meio isso gera o quê? Se dividir ao meio?

A5: elétrons

P: Elétrons?

A5: iguais, para cada um

P: Seriam elétricos que estão sendo formados ou outra coisa? Seriam dois núcleos novos? Vocês estão vendo que eu estou escrevendo aqui, né? São dois núcleos novos sendo formados aqui. Ok. Esses dois núcleos novos sendo formados, eles são de massas iguais ao anterior ou elas têm massas diferentes? Por exemplo, massas maiores ou massas menores?

A4: vão ser massas menores.

P: Se aqui, por exemplo, fosse 100, esses outros dois

A4: 50, 50

P: poderiam ser 50, 50, ou não necessariamente 50, 50, porque aí teria que ser muito bonitinho para você dividir certinho no meio. Mas o importante é que a soma dos dois tinha que ser, então, 100. A soma dos dois, no caso, tem que ser igual a 100. Aí a proporção pode ser a que for, pode ser 70, 30, pode ser 60, 40. O importante é que na hora de somar o que foi dividido seja igual o que tinha antes. Beleza.

A1: Professor, isso se chama fissão, não é?

P: isso se chama fissão. A palavra fissão é quebra, né? Então isso se chama o processo de fissão. Eu estou quebrando o núcleo. Ao quebrar o núcleo, isso gera o quê? Dois novos núcleos, dois novos átomos, só que de proporções menores. Eles, ao somar os dois, dá igual ao anterior. Não é isso? Isso é o processo de fissão, ok?

A4: E se outro neutro bate nesse outro núcleo pequeno?

P: Aí vai acontecer o quê? Imagina aqui. O que vai acontecer? Além de eu quebrar aqui, lembra que no núcleo nós temos o quê? Prótons e nêutrons. Além dessas quebras, eu libero mais nêutrons, ok? Então imagina que você está aqui numa sala. Certo? Está aqui numa sala. Aí, por exemplo, eu estou na frente, vem aqui um nêutron, tipo uma bala, me atinge, aí eu me divido em dois! Certo? Não é isso que acontece? Está aqui o corpo, vem um projétil, acerta ele, ele se divide em dois.

A5: Aí vira dois núcleos?

P: Aí viraria dois Maxwell!

A2: viraria dois Maxwell

A5: Ah?

P: Não é não? Se eu estou aqui, vem um projétil, me acerta,

A2: Ele se divide em dois, vira dois Maxwell

P: aí eu me dividi em dois. Isso é, né?

A5: Aí viram dois núcleos?

A2: vira dois Maxwell

P: Viram dois núcleos divididos, isso mesmo. No caso, viram esses dois núcleos divididos. Agora imagina o seguinte, vamos lá, eu me dividi e três ossos meus saíram. Qual que é a probabilidade de acontecer outro bombardeio desse?

A4: o dobro!

P: Aumenta três vezes, né? Por exemplo. Olha só, meu corpo se dividiu em dois e...

A4: é para aumentar ou vezes?

P: Não, calma, presta atenção. Eu me dividi em dois. Vamos lá, eu estou aqui bonitinho, certo? Fui atingido aqui. Aí eu me dividi em dois. Só que aqui minhas costelas também precisavam. Sair em três ossos. Eu me dividi em dois e saíram. Três outros projéteis que podem atingir mais três pessoas, tem três alunos aqui

na minha frente. O que pode acontecer com esses outros três aqui que estão na minha frente?

A2: vão ser bombardeados também, uma reação em cadeia

P: Vão ser bombardeados também. E a chance de o que vai acontecer? Eles divididos ao meio e liberarem mais ossos que podem atingir outras pessoas, que o colega falou ali. Isso nós vamos chamar de reação.

A2: reação em cadeia!

P: Certo? Reação em cadeia. É quando uma reação começa e, por consequência dela, outras vão acontecendo, se multiplicando. Certo? Olha só, presta atenção. Então, vamos lá. Então, ao atingir o primeiro núcleo, ele se dividiu em dois núcleos menores. Ok. Liberou mais três nêutrons que podem suceder essas outras reações. Além disso, eu tenho então a liberação de energia. Aí vem lá a pergunta que eu fiz lá no começo. O que seria uma explosão? A explosão vai ser quando eu tiver um impacto, né? Que a gente falou. Tem um impacto. Desse impacto resulta, então, em uma grande liberação de energia.

Ô, pessoal, o negócio lá daqui pra cá tá complicando.

P: Por que tá complicando? É a mesma coisa, vamos lá

Já tá virando os ossos pra abrir. E abrir outros ossos

P: Não, aqui só foi o exemplo. Aqui só foi o exemplozinho. Olha só, então do esparto aqui gera a explosão, que a explosão na verdade é uma liberação de energia. Beleza? Tranquilo até aí? Pronto, agora imagina que toda essa descoberta. Foi acontecendo logo, logo, no início de uma segunda guerra mundial. E aí, imagina que vocês começam uma guerrinha lá do nada, e se descobrem que você pode quebrar o núcleo de um elemento, e a partir dessa quebra de núcleo, eu libero muita energia. Vocês, pessoas de bem, com essa informação. No meio de uma guerra, qual a primeira coisa que vocês gostariam de fazer?

A4: fazer uma bomba atômica

A2: Pipoca Hitler

P: Fazer uma bomba, né? Tá tendo guerra, tá tendo tiro de tudo que é canto. Então, vamos jogar algo que possa liberar muita energia.

A2: mas quem primeiro descobriu foi outro lado, né?

P: Não, na verdade... foi os italianos, né?

A2: Ah é primeiro os italianos

P: Foi neutro, assim, foi um grupinho, assim, que não tav.... Não tava em... conflito!

A2: mas Itália não estava na guerra do lado de Hitler?

P: Não, mas assim... É, mas assim, eles descobriram ali um grupo. Eles não estavam pensando nisso, né? Eles estavam fazendo os estudos dele lá. A guerra rolando, tah tah tah. Aí descobriram e publicaram. Aí a partir do que eles publicaram. Que aí todo mundo virou os olhos praquilo. Ao virar os olhos para essa informação. Todos os cientistas da época deduziram. Bora correr, vamos ter que fazer nossas bombas. Aí se formam dois grupos. O grupo da Alemanha, com os nazistas. Lá, e o grupo ocidental, com vários. Grupos lá nos Estados Unidos também, fazendo. A sua corrida armamentista, para ver quem produzia primeiro a bomba nuclear. Aí esses dois grupos são liderados por quem? Na Alemanha é liderado por Heisenberg e nos Estados Unidos foi liderado por Oppenheim, certo? Aonde, novamente, uma dica para quem quiser, filme muito bom, só são três horinhas de filme.

A4: só?

P: Só, filme Oppenheim, certo? Ele inicia a partir dessa descoberta no início da Segunda Guerra Mundial. Então, vai contando lá, bem direitinho, como foi a construção da bomba, os estudos que eles foram fazendo. Então, começa a corrida, vamos lá. Três anos, quatro anos, corrida, tentando descobrir. As bombas atômicas, beleza? Aí, imagina que você se afastou da sua família de três anos tentando construir uma bomba, ok? Você ficou três anos sem contar com sua família para construir uma bomba. Quando você consegue produzir essa bomba, faz um teste, foi sucesso, se descobre que Hitler morreu. Beleza?

A4: joga lá de novo.

P: Olha só, vamos lá. O Alvo Máximo morreu. Qual o motivo agora? É a guerra. Todo mundo sabe que a guerra vai acabar. Se o cara que estava liderando morreu, então seria só questão de dias até a Alemanha fazer o cessar-fogo se declara que perdeu a guerra.

A2: mas o Japão continuou lutando.

P: Mas o Japão continuou lutando. O Japão ia perder. Todo mundo sabe que o Japão ia perder. O que se pensou então? Não vamos perder nosso trabalho. Qual é a ideia? Então a gente vamos lançar as bombas. Que nós produzimos

como sinal de não comecem outra guerra, porque nós temos tal arma. Beleza? Então, as duas bombas que foram lançadas no Japão, tanto Nagasaki como Hiroshima, foram somente nesse sentido. Não comecem outra guerra.

A4: um aviso

P: porque a gente. Tem essas armas aqui, BOOM. Beleza? Aí foram lá, tanto Nagasaki quanto Hiroshima e soltaram a...

A2: foi uma demonstração de poder de fogo

P: foi, as duas bombinhas lá bonitinhas.

A2: Não meçam com EUAs

P: Duas bombinhas lá, certo? São bombinhas, foram fraquinhas mesmo. Para o que a gente já desenvolveu depois, elas são bem fraquinhas mesma.

A4: Tem mais forte ainda?

P: Tem muito mais forte, beleza?

A2: oxe e a bomba da Rússia que pode estourar um continente todinho

P: foram lançadas duas bombas como fonte de aviso. Beleza. Aí acabou a guerra, todo mundo feliz. E agora? A gente tem conhecimento de algo que pode liberar muita energia. Será que tem como a gente utilizar isso num outro sentido, só que agora em benefício da sociedade? Será que teria onde... ter essa aplicação de forma segura. O que vocês acham? Acabou a guerra, não vamos precisar mais de bombas, mas a gente ainda precisa desse conhecimento de energia nuclear. De energia nuclear. O que a gente pode fazer com essa energia al que a gente já aprendeu a controlar? De certa forma, aprendemos a controlar com as bombas. Onde a gente pode fazer essa aplicação dessa tecnologia? Será que a humanidade precisa disso?

A2: sim

P: sim

A2: Energia Nuclear.

P: A gente precisa, olha só, imagina que a população do planeta cresce cada dia mais, ok? Os recursos naturais são finitos, ok? Aí no caso, aqui no Brasil é muito bom porque a gente tem uma grande quantidade de água, grande quantidade de água, seja ele mar, rios, A gente é rico nisso. Só que quando a gente vai para outros locais, Europa, África, não tem essa abundância tão grande quanto a gente. Então, na nossa matriz energética, nós temos uma grande quantidade de energia produzida a partir de água, que são as usinas hidrelétricas. No Brasil, a

gente tem uma grande quantidade. Só que em outros países não tem isso. Então, um lado das alternativas foi a energia nuclear, principalmente lá na Europa mesma. Lá na Europa também tem muitas dessas usinas. No Brasil a gente tem poucas, mas a gente tem, certo? No Brasil nós temos duas usinas em atividade e uma terceira em uma eterna construção, beleza? A obra do governo normal, acontece. Então, nós temos duas usinas nucleares em funcionamento. Vocês sabem como é que funciona uma usina nuclear?

A4: sei a hidrelétrica

P: Sabem a hidrelétrica. Vamos fingir que isso aqui é uma hidrelétrica. Como é que é produzida a energia da hidrelétrica?

A2: Tem um cano muito alto e uma queda de água

P: Vamos lá, nós temos lá uma grande represa. Certo?

A5: tem que ter água

P: Tudo isso aqui é água. Tem água daqui para lá. É água, água muita, beleza? A aqui tem a represa. Aí daqui tem um ducão aqui ó de água. O canão de água, certo? Essa água que tá aqui em repouso, né? Tá paradinha. Ela vem e desce na gravidade. Ne? Daqui ó, imagina você de tobogã, certo? Quem já brincou nos escorrega, tobogã da vida. Você tá lá em cima de boa e do nada, você desce. Então, você vem com uma pressão muito grande. Aí aqui dentro desse tuboão grandão que a água está passando, tem umas hélices imensas aqui. Igual o ventilador al de vocês, certo? Só que al ele vai fazer o processo inverso. Uma vez que eu usar a energia elétrica para ele funcionar, a água vai passar por ele, fazendo com que essas hélices girem e eles... Então, produzem a eletricidade, fazendo o processo inverso, utilizando essa energia mecânica para depois ser transformada em energia elétrica. Temos como fazer isso? De outra forma, que é o que nós vamos chamar, então, das usinas termoelétricas. Como é que funciona uma usina termoelétrica? As turbinas ficam em cima, aqui o, bonitinho, que é uma turbina, certo? E aqui embaixo fica, normalmente, uma caldeira. Essa caldeira pode ser alimentada por material orgânico, como é carvão, petróleo, queima, aqui vai ser queimado, certo? Qualquer coisa que possa ser queimada, beleza, vai lá. Aí essa queima vai liberar gases que vão subir. Eles querem ganhar, toda a atmosfera, eles querem subir, al ao subir, esse vapor faz com que essas turbinas tirem, beleza? a caldeira, não, na caldeira beleza, tem água, aí

aqui é vapor de água, quanto você perde de água nessa casa? não sai um vapor?

A5: Aí essa água passa pela hélice

P: Girando a hélice, só que aqui na forma de vapor agora, ela faz com que a hélice fique girando. Aí ao girar, faz o mesmo processo daqui. Esse movimento mecânico vai gerar a energia elétrica que vai ser distribuída. Certo? Qual é o problema? É porque além do vapor aqui, se eu usar carvão ou petróleo, eu vou estar liberando dióxido de carbono ou monóxido de carbono que polui e afeta toda a nossa camada de ozônio e vai fazer aqueles buraquinhos que todo mundo já escutou, certo? Então, não é uma ideia tão boa. Só que quando a gente trabalha com a energia nuclear, é esse mesmo processo, só que aí nós temos que... O que vai esquentar a água para ele fazer com que as turbinas girem? Nós vamos ter três sistemas de água, presta atenção. Tem um sistema de água onde nós vamos ter o combustível físsil, urânio, nesse caso, que vai estar aqui na água. Então, ele vai estar esquentando essa água, então, essa água vai estar muito quente. Imagina essa água muito quente e tem uma outra água passando por aqui, essa água vai ser esquentada por essa. Beleza? É uma água que esquentada a outra. Tipo um banho-maria. Quem já fez um pudim, né? Tipo um banho maria. Então a água, ela tá esquentando a outra. Essa água aqui vai ser esquentada. Essa água aqui, ela não tem zero contato com o urânio, que é radioativo. Só uma água que tem contato com ela essa outra água não tem contato. Então ela vem, ela quente, vai esquentar, né? Vai ficar quente. E essa água, na forma de vapor, é o que vai fazer com que as turbinas tirem. Certo! Essa água, toda quente aqui, ela precisa ser resfriada. Como é que a gente vai fazer isso agora? Para a gente fazer isso, a gente utiliza uma terceira água, que é a água do mar ou a água dos rios. Certo? O que você acha que vai acontecer? Essa água está toda quente, entra em contato com uma água fria.

A4: Choque térmico!

P: Vai ter uma troca de calor, né? A água que estava fria começa a esquentar e a que está quente começa a... Esfriar. Beleza? Então a gente tem uma troca de calores aí. Aí qual é o problema das usinas nucleares? O problema é que a água que volta para o leito do rio, imagina que o rio tá aqui, ou o mar. A água aqui tá friazinha, bonitinho, os peixinhos tão andando de boa. Eita, que água fria, boazinha. Só que quando chega aqui. entre a água quente, entendeu? Tem essa

troca de calor mesmo. A água vem a friazinha, chega aqui, esquenta, volta pro rio. Os peixes sentem esse... Opa! Aconteceu alguma coisa aqui, né? Ele tava tranquilo, já teve alteração. Não só os peixes, como também as algas que tem no local, certo? Seja isso rios, ou lago, ou mares. Vai acontecer esse sistema, beleza? Porém, não vai acontecer. do combustível radioativo entrar em contato com o rio. Quando que esse combustível pode entrar em contato com essa água ou com o sistema que está em volta? Só quando acontecer alguma catástrofe, que seja uma explosão. Estamos sujeitos a isso? Estamos, certo? Já aconteceu alguns casos, por exemplo, Chernobyl, Fukushima, certo? Em Fukushima, o que aconteceu? Do nada, estava lá o país de boa, que é o Japão, né? Fukushima ficou um Japão, coitado do Japãozinho. O Japão estava lá de boa, aí. Aí veio um monte de tsunami, imagina aí, certo? Vocês estão aqui em Serra, estudando de boa, acontece um monte de tsunami lá em Recife, a onda vem andando, vem andando e atinge vocês aqui.

A4: arre peste!

A3: O mar seca antes de chegar aqui!

P: Não, imagina, imagina assim, né? Tinha o que fazer? Não tem o que fazer. Vocês estavam aqui, vocês não têm mar, só que veio uma onda lá de Recife e atingiu vocês aqui. Então é uma catástrofe. Concordam comigo? Beleza! Então vai lá. O que aconteceu com Fukushima? Fukushima fica meio longe da costa, só que veio uma onda tão grande que chegou e atingiu toda à cidade. Em consequência, uma onda veio e bateu, quebrou toda a estrutura. Então teve a catástrofe em Fukushima. Então o reator deles sofreu com isso e liberou radioatividade. Certo? Catástrofe acontece. Só que quem foi em Chernobyl? Chernobyl já foi burrice. Beleza? Tinha lá os operadores. Os operadores simplesmente falaram assim. Vamos fazer uns testezinhos aqui? Beleza? Os caras foram, gente, vamos fazer uns testes. Por quê? Essa tecnologia, 1986, ainda era recentemente nova. Não sabiam ainda quais procedimentos de segurança estariam usando tanto. Então, eles falaram assim, será que se a gente alterar um pouco os parâmetros, vai acontecer alguma coisa? Então, eles foram fazendo os testes. Não foi só em um dia. Eles fizeram um teste no dia, um mês depois foram e fizeram outro. Nada estava acontecendo. Eles falaram, vamos baixar ainda mais. Acontecendo, eles falaram, vamos baixar ainda mais

esses parâmetros para ver até quanto esse reator consegue segurar. Beleza? Foram lá, fizeram o teste.

A4: E como eles descobriram sobre isso?

P: Entendeu? Aí foram lá, foram fazer os testes, até quanto aguenta, né? Foram fazendo, chegou o momento que o reator não aguentou e explodiu. Ah, agora já sabemos que não podemos chegar mais abaixo do que isso, entendeu? Então, querendo ou não, serviu para a humanidade. A humanidade já sabe até onde pode ir agora, certo? Então, no caso. Então, aí foi burrice humana mesmo teve que fazer. Então, são dois casos totalmente diferentes um, erro humano, e o outro, uma catástrofe, veio uma onda aí, destruiu.

A4: Mas aqui no Brasil catástrofes naturais é mais difícil, né? Nós não temos.

P: Olha, no Brasil nós temos duas usinas em funcionamento.

A4: Mas nós não temos catástrofes.

P: Não Brasil não teve explosão de reator nuclear. Nós tivemos um acidente de um elemento químico que ele é um elemento utilizado no equipamento de ressonância. Então, imagina assim, o hospital, tipo assim, qualquer hospital, o HOSPAM, certo? Ele tem um maquinário lá bonitinho, só que aí acabam as verbas ou o hospital vai mudar de local. Aí ao levarem, o prédio ficou abandonado. Alguns catadores chegaram lá e viram uma estrutura de ferro. Top, vamos levar para o Ferro Velho e ganhar dinheiro. Os catadores levaram para lá, o cara do Ferro Velho comprou, mandou seus funcionários abrirem. Ao abrirem, eles observaram que tinha um pózinho lá que brilhava, bonitinho. Então, aí aquele cézio.

A4: o Césio emite radiações alfas, né?

P: Não, cézio elemento radiações betas!, certo? Aí no caso, o Césio lá, bonitinho, eles pegavam e... Bonito, aí levou pra casa, mostrou pra mulher, mostrou pro irmão, o irmão levou o mostrou pra filha e foi passando de... gente para gente. Aí depois a família dele começou a ficar muito doente, al a mulher dele se ligou que foi depois que ele trouxe aquele pozinho, ela pegou o pozinho e levou para vigilância sanitária. Só que ela não tinha carro, então ela foi de ônibus. Aí foi passando com o pessoal que tava todo mundo no ônibus. Chegou na vigilância sanitária, ninguém sabia o que era aquele pó. O que é que eles fizeram? Deixaram em cima da bancada, na recepção. Passou-se semanas lá, até chegar um físico para analisar o que seria aquilo.

A1: e esse pó veio de onde?

P: Esse pó veio de uma máquina de ressonância. Certo? É outra aplicação que nós temos com a radioatividade, certo? Lembra que a radiação gama e beta, eles têm os poderes de penetração, dependendo do grau, eles chegam a um determinado espaço no nosso organismo. Então, a gente pode utilizar isso para fazer mapeamento e descobrir doenças. Então, muitos maquinários utilizam disso. Alguns medicamentos vocês tomam pra que eles emitam radiação e a gente consiga fazer um desenho dele, 3D, bonitinho, no computador. Então, os hospitais utilizam muito dessas emissões radioativas. Aí no caso. Vamos lá.

A4: A professor, qual o final?

P: Dá história, né? Pronto. Beleza. Então, vamos lá. O que aconteceu com... Aí o cara chegou e falou assim... Poxa, isso aqui é um alimento radioativo e está contaminando todo mundo em geral. Antes de eu chegar nessa ideia aí, porque o que aconteceu em Goiânia foi exatamente... Exatamente não. Foi um ano depois

A4: Foi aqui em Goiânia?

P: Foi em Goiânia, aqui do lado.

A2: não em Goiânia, em Goiânia Goiás!

P: É. Olha só. Foi um ano depois do acidente em Chernobyl, beleza? Antes da gente voltar pra Goiânia, Chernobyl explodiu, beleza? Lembra que teve uma segunda guerra mundial? Já tinha passado a segunda guerra mundial. Existia a União Soviética ainda, certo? Então, eles falam assim, pô, teve uma guerra, a gente não quer se sentir frágil diante ao mundo. Então, teve a explosão. Não vamos contar pra ninguém que aconteceu essa explosão. Finge só pra gente aqui que teve essa explosão. Porém, a explosão foi tão grande que satélites de todos os países conseguiram visualizar toda aquela fumaça saindo e perceberam que aquilo não era normal. Outros países começaram a detectar, tipo assim, tem os equipamentos de detectar radioatividade. Começaram a detectar radiação. Então, novamente, imagina que você não é nem em Serra, você está aqui em Serra com seu equipamento andando de boa, que detecta radiação, e detecta que a radiação que está tendo aqui nesse seu equipamento é dez vezes maior do que deveria ter no ambiente. Porém, essa radiação está vindo lá de Recife. Então imagina aí como tá lá. Se você aqui tá detectando que tá 10 vezes maior, imagina como é que tá a situação lá. Beleza? Então foi isso

que aconteceu. Então vários países em volta começaram a detectar e começaram a orientar a sua população a como se comportar. Ficar em casa, não deixar os filhos irem pra escola. A molecada naquela época gostou, né? Que não iam pra escola. Porque se ficar muito tempo ao ar livre, a chance de você se contaminar é maior. Aí só depois daí que, tipo, três dias depois da explosão, que eles foram realmente anunciar que teve a explosão e começaram a tomar as medidas preventivas. Certo?

A2: aí foi em que ano?

P: Então, em 1986, Chernobyl. Em 1987, no Brasil, já sabendo o que tinha acontecido lá, quando o governo foi avisado que estava tendo esse caso, de radiação em Goiânia, o que é que o governo fez? Cala o noticiário, leva todo mundo para o estádio, certo? Finge que aconteceu uma pandemia, uma epidemia aqui em Serra. Vai todo mundo lá para o Pereirão e fazer uma triagem. Não explica para ninguém, não explica para o exército que está fazendo essa triagem o que está acontecendo. Então imagina que chegou o exército por nada na sua cidade, eles lá com equipamento de radiação, só que eles não sabiam o que eles estavam fazendo. Vai passando, ah, você tá de boa? Vem pra cá! Você tá com radiação? Vem pra cá. Só que eles não sabiam. Ah, se apitar, a pessoa vai pra um lado. Não apitou, a pessoa vai pro outra então, as pessoas que estavam sendo apitadas iam pra um lado. Mas nem quem tava fazendo os testes sabiam. Então, no final, até eles acabaram sendo contaminados. Então, um negocinho de poucas gramas acabou contaminando centenas de pessoas. Beleza? Aí o que aconteceu? Daí, cinco pessoas morreram imediatamente. Uma delas era a sobrinha do dono do ferro velho, a menininha de oito anos, certo? Quando tem esse estado de radiação, como é que vai ser, então, o enterra? Então, no caso, tem todo o... O caixão não vai ser só madeira, vai ser todo metálico. Ao enterrar, é subterrado com concreto e terra para que aquela radiação não se espalhe. E tem que ser num local que não vai mais poder ser utilizado para nada. Então imagina cinco corpos sendo enterrados num local inutilizável. Isso é um ponto até turístico lá em Goiânia. O local onde era o hospital, virou um centro de eventos, beleza? Hospital, porque o hospital não tinha nada a ver mesmo, era só um prédio que tinha um equipamento. Onde tudo aconteceu foi na... no Ferro Velho, lá onde foi o grande caso. Então, o que o Brasil fez novamente? Em 1987, não conta para ninguém, manda o pessoal para

lá, faz a triagem, manda eles para os hospitais e não conta. Só foi para ser notificado, noticiado para o resto do Brasil e para o mundo dias depois. Então, a desinformação é o pior inimigo da população, né? Se você não conta o que tá acontecendo, não tem como se prevenir. Beleza? Tranquilo até aí? Conseguiram ver essas duas histórias? Ok, Beleza?

APÊNDICE I

Transcrições de áudio do terceiro momento pedagógico

P = Professor

Alunos que autorizaram: A1, A2, A3, A4 e A5

*****: ocultação dos nomes de alunos citados

P: O debate sobre a instalação da usina nuclear na cidade de Itacuruba, eu gostaria de perguntar a vocês se vocês seriam a favor ou contra, e se você for a favor, quais argumentos você utilizaria para defender a instalação dessa usina na cidade de Itacuruba? E se você for contra qual argumento você utilizaria para que não tenha a instalação? Aí pode ser do coração de vocês, quem quiser responder primeiro, quem quiser vir depois, alguém seria a favor da instalação da usina?

A3: Eu sou a favor.

A1: Eu

A2: Eu também.

P: Por quê?

A3: Porque o Brasil tem que ir para frente.

P: O Brasil tem que ir para frente. E para ir para frente só com usinas nucleares.

A2: É um dos aspectos.

P: Um dos aspectos, O que a usina pode trazer para fazer com que o Brasil cresça ainda mais?

A2: Aumento do PIB.

P: Aumento do PIB

A2: Geração de empregos.

P: Geração de empregos.

A3: Uma energia renovável.

P: Uma energia renovável. A usina nuclear é uma energia renovável?

A2: Sim!

P: Não sabe, uma parada assim. Hã? A usina nuclear, a energia nuclear não é renovável. Não, ele falou renovável.

A4: Coisas finitas

A2: não agredi ao meio ambiente, infinita, muito boa

P: Ela é infinita? Vamos lá, ela é infinita, ela é muito boa. Que mais? O que a energia nuclear não pode ser?

A4: um avanço tecnológico, científico.

P: um avanço tecnológico, científico. Conforme a gente vai utilizando, a gente vai aprendendo novas técnicas e melhorando cada vez mais. Eu vi que pouca gente está tentando ser a favor. Então, quer dizer que a maioria quer ser contra a instalação da usina?

A2: é porque eles estão pensando nos índios!

P: Estão pensando nos índios, nos povos tradicionais da cidade. Os povos originários. Então, quem é a favor? Quem gostaria de trazer algum argumento que seja contra essa instalação? Contra, que a maioria não quis falar nada a favor, então quer dizer que a maioria seria contra, não é isso? Aí por que não ter uma usina nuclear na cidade?

A2: Risco

P: Risco... hã?

A4: o risco, o medo de que pode acontecer alguma coisa!

P: o risco, o medo do que pode já ter acontecido, né? Um acidente nuclear que foi uma catástrofe, né? Atualmente, a gente tá vendo aqui catástrofe acontecendo, catástrofe pode acontecer a qualquer momento. Pode ser com a nuclear, como pode ser com água, igual a gente tá vendo lá no sul, né? Então, no caso, quando for pra acontecer isso, colocando muitas aspas ai, um acidente! não tem o que fazer, né? Só que aí, com a energia nuclear, vocês acham que essa catástrofe pode ser muito maior ou menor se tiver uma usina? Imagina só se lá no Rio Grande do Sul tivesse uma usina nuclear. O que poderia estar acontecendo agora?

A3: todo mundo contaminado

A2: todo mundo com câncer!

P: Vocês acreditam, então, que se tivessem usinas nucleares lá no Rio Grande do Sul, a probabilidade de risco que as pessoas estariam passando seria maior? Sim ou não?

A4: E a impermeabilidade? Qual é a impermeabilidade dele?

P: não é a impermeabilidade

A4: é por causa da força da correnteza?

P: É, a correnteza, a força da água, por exemplo, ele carrega carro, onde pode bater, né? Mas aí, no caso, ele tem uma construção de concreto e dentro dele tem uns containers metálicos reforçados também, né? Aí, no caso, mas é uma catástrofe, a gente não sabia como isso iria afetar na estrutura. Então, tudo isso a gente pode considerar Acidentes. Tudo isso são acidentes. Então corre o risco de ter um acidente ou não. Beleza?

A4: Professor, em questão de gastos, qual gasta mais?

P: Como assim? Vamos comparar duas. Vamos falar hidrelétrica e energia nuclear. Qual seria mais cara a produção? A hidrelétrica.

A4: e é?

P: A hidrelétrica, você precisa montar uma barreira muito grande, terreno muito grande, depois você vai ter que indenizar várias pessoas, boa noite, vai ter que indenizar várias pessoas porque o leite do rio vai aumentar e vai invadir vários centros, aí quando você vai para a região nuclear a área é um pouco menor que quando você compara com a hidrelétrica. Só que aí você vai gastar com o que? Com os reforços na estruturação, porque você não quer que aconteça acidentes que vazem radiação. Aí, no caso, o gasto é ali, mas o espaço é pequeno, é menor. Beleza? O material que você usa é bem menor quando se compara a litros e litros de água que você irá usar. Entendeu?

A4: Como é que gera energia?

P: O Brasil tem duas usinas hidrelétricas, dados de 2022. Duas únicas usinas. E essas duas únicas usinas foram responsáveis por 2% da energia produzida no Brasil todo. Só Duas usinas

A4: não eram nucleares?

P: Não, duas usinas nucleares, produzindo 2%. As outras são o quê? São várias hidrelétricas. Nós temos as hidrelétricas de Itaipu. Aqui, de Sobradinho até Xingó, são cinco hidrelétricas. Placas solares em tudo que é canto. Torres eólicas em tudo que é canto. Então, a matriz energética, ela é... grande, diversificada, mas só são duas usinas hidrelétricas que foram responsáveis por 2%. Então, no caso, com pouco material, gera muito. E outra coisa, você perguntou sobre sustentabilidade renovável. A energia não é renovável, mas ela é sustentável porque ela não polui a camada. Ela emite energia, mas não emite gases poluentes. Então, ele é sustentável, certo? Oi, vamos lá. Mais alguém gostaria de argumentar alguma coisa sendo a favor ou contra dessa instalação? Vocês

concordam com que a população lá não queira a sua instalação? Se vocês estão aqui de boa e alguém diz, vamos instalar uma usina nuclear na cidade de Serra Talhada, no rio, na lagoa da Borborema ali. Vocês acham? Top, legal, vai ficar bonito.

A3: Maravilha!

P: Não quer? Por que você não quer, *****?

A2: Só fazer em cima da serra

P: Hã? Poderia poluir, né? Contaminar várias pessoas, se acontecer algum acidente. Não tem poluição, só tem poluição se quebrar alguma coisa lá dentro e vazar, que aí seria um acidente, mas sem acidente ele não polui, ele aquece. É, igual o Chernobyl foi um acidente, teve uma explosão que fez com que vazasse. Se não tivesse. Brumadinho foi... É uma barragem. É uma barragem de resíduos. É um pouco diferente. Não, olha só Chernobyl foi o quê? Foi uma usina nuclear que usa um elemento radioativo para produção de energia elétrica. Brumadinho era uma barragem de resíduos sólidos, metais pesados, chumbo, por exemplo, mergulho, que vazou. Então, foi muita lama de uma barragem. Aqui nós temos uma barragem grande que é pra lá, qual é o nome? Serrinha, Serrita, Serrita? Não, a barragem de Serrinha, Serrita, né? Alguém já viu uma barragem meio menor que tem desse terno ali? Eu acho que é Serrita, Serrita é uma coisa. Ela é bem grande, aqui não foi ainda. Ela é bem grandona, parece um rio. É uma barragem que parece um rio. Imagina, ele tem várias casas embaixo. Se estoura uma barragem, com água. Vocês acham que vai acontecer o quê? Uma catástrofe. Por quê? Seria muita quantidade de água que estava armazenada sendo liberada...

A4: e se fosse o Jazido estourasse? Se o jazido estourasse?

P: Como assim?

A4: Se o jazido estourasse ia acontecer o quê?

P: É uma barragem, é o quê? É o que isso aí?

A2: O rio Pajeú!

P: Eu não estou sabendo onde é.

A4: ali perto da PRF

P: Ah, dali? Sim, sim, pronto. Um exemplo ali. Se estoura ali, aquela área que estava toda represada. Não vai gerar uma onda invadindo os locais? Basicamente é isso. Eu ando por ali, mas eu não conheço os pontos não. O

propósito é oferecer algum tipo de vício e benefícios. Vai depender do quê? Se os benefícios para aquele local vão ser um pouco melhor do que os malefícios. E, se tem os malefícios, tentar trabalhar para que não aconteça. Do que os malefícios. E, se tem um malefício, tem que trabalhar para que não aconteça. No rio, ela vem fria, esquenta e passa. Aí, quilômetros, quilômetros depois, a água vai de novo esfriando, né? Mais ninguém quer comentar nada? Todo mundo feliz? Todo mundo de boa? Não, não tá feliz? O que que aconteceu?

A4: não vai ser construída?

P: Não vai ser construída.

A2: Precisa que seja construída!

P: Precisa que não seja construída?

A2: que seja!

P: Que seja! Ela precisa que seja construída. Por quê?

A2: É totalmente necessário.

APÊNDICE J

Transcrição das respostas individuais à situação-problema sobre construção da Usina Nuclear em Itacuruba – PE

Existe o projeto de implantação de uma usina nuclear em Itacuruba, as margens do Rio São Francisco, no sertão de Pernambuco. Leia a notícia que saiu no portal de jornalismo ambiental 'O Eco'. Após a leitura da notícia, explique como a energia nuclear é gerada e quais princípios científicos estão envolvidos. Você é contra ou a favor da instalação da usina nuclear em Itacuruba? Apresente seus argumentos.

Em uma situação hipotética, você é um representante dos empresários/empreendedores da indústria nuclear. Quais argumentos você usaria para defender a construção da usina nuclear na cidade de Itacuruba - PE durante o debate?

A1 - Que a construção dessa usina ajudaria na alta produção de energia, além de baixa emissão de gases efeito estufa, melhorando esse grande problema e fornecendo uma energia estável para a população.

A2 - Os argumentos são: segurança com a importância de garantir que fosse segura energia limpa a energia nuclear é uma fonte de energia limpa, desenvolvimento econômico e alta suficiência energética. Gerando empregos diretos e indiretos, além de impulsionar o desenvolvimento econômico local.

A3 - Argumentaria que a construção da usina nuclear entraria investimentos significativos para a região e a criação de empregos na indústria nuclear.

A4 - A usina nuclear é uma fonte de energia limpa e sustentável, também tem investido em tecnologias avançadas para aprimorar a segurança e eficiência das usinas nucleares, tornando-as mais confiáveis.

A5 - Produção de energia limpa e de baixo carbono, a capacidade de fornecer energia de forma constante e confiável, a redução da dependência de combustíveis fósseis.

Em uma situação hipotética, você é um representante dos povos tradicionais. Quais argumentos você usaria para defender a construção da usina nuclear na cidade de Itacuruba - PE durante o debate?

A1- A manutenção dela teria um alto custo para os órgãos responsáveis, além dos grandes riscos associado a segurança de todos que estão aos seus arredores.

A2- A construção da usina pode causar sérios riscos como: pode representar uma ameaça a saúde as comunidades locais ao meio ambiente dos recursos naturais e além de impactar negativamente os modos de vida das comunidades locais e a cultura dos povos tradicionais da região.

A3- Eu argumentaria que a construção da usina nuclear em Itacuruba-PE pode causar danos ao meio ambiente, afetando a terá a água e a fauna local e a usina pode representar risco à saúde.

A4- A energia nuclear apresenta riscos significativos para a segurança, como acidentes nucleares e vazamentos radioativos, que podem ter consequências devastadora para o meio ambiente e para a saúde humana.

A5- Além de ter um alto custo, pode trazer riscos ao meio ambiente e a saúde, podendo haver também vazamento de materiais radioativos.

Em uma situação hipotética, quais ideias e argumentos você usaria sobre a construção da usina nuclear na cidade de Itacuruba - PE durante o debate?

A1- Eu acho uma boa forma de produção de energia, porém ela deveria ser construída em um lugar extremamente remoto.

A2- A construção de uma usina nuclear em Itacuruba pode aumentar o PIB e gerar empregos, além de fornecer uma fonte de energia limpa que não agride o meio ambiente. Com altos padrões de segurança, os riscos de contaminação seriam minimizados.

A3- Defenderia o potencial das usinas nucleares como uma forma de impulsionar pesquisas científicas e avança na tecnologia, abordaria as medidas adequadas, para o gerenciamento seguro e eficiente dos resíduos nucleares.

A4- A construção poderia trazer um bom desenvolvimento tecnológico, e a renda gerada pela usina poderia ser investida em melhorias sociais como saúde e educação.

A5- Sou contra a construção, que apresenta riscos para humanidade causando cancer e tem contaminação de longo prazo do solo da água e do ar.