



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.

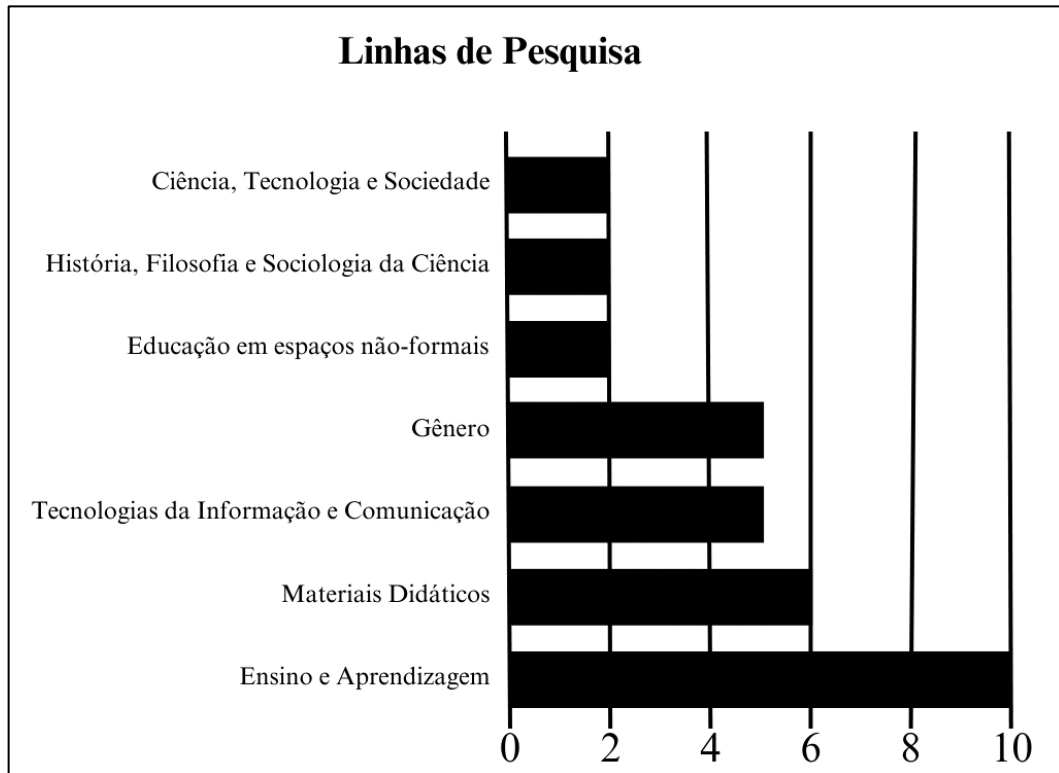
Código	Título	Origem
A1	Uma educadora científica do século XIX e algumas questões sexistas por ela enfrentadas: Marie Curie superando preconceitos de gênero	Educación Química
A2	O ensino de radioatividade em química e a educação ambiental no aspecto da racionalidade	Revista Debates em Ensino de Química
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.

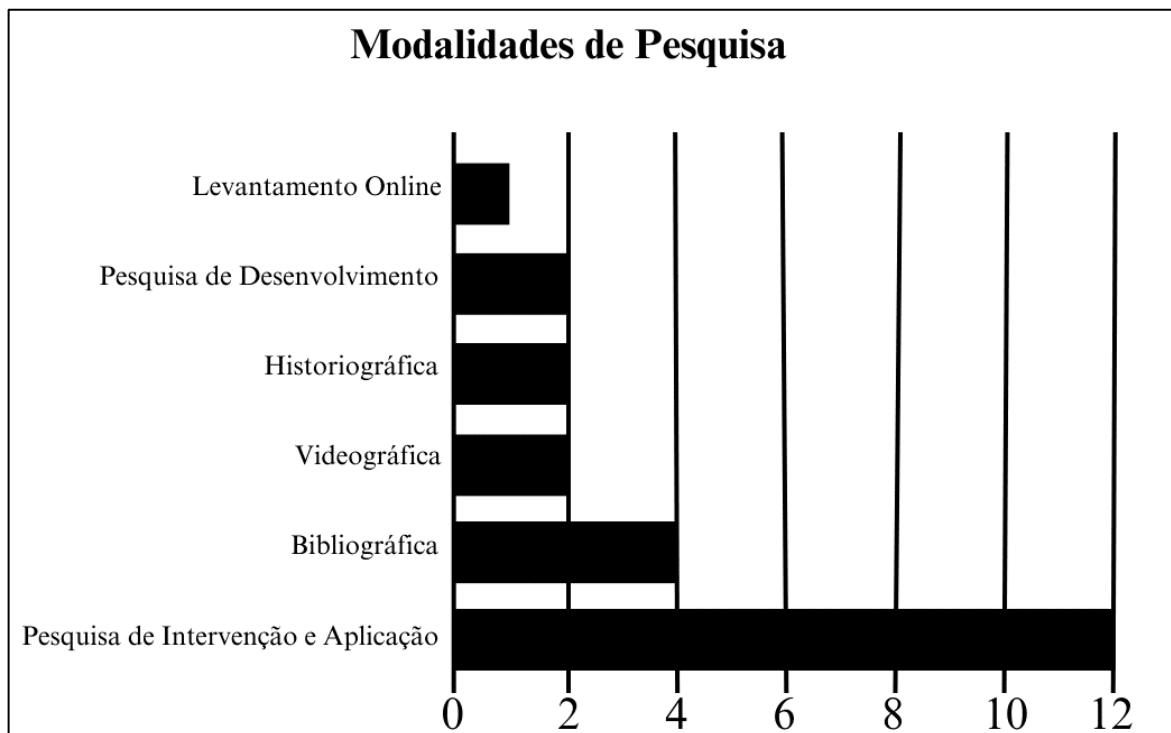
A linha de pesquisa ‘Estudos de Gênero’ contou com três estudos que analisaram o preconceito de gênero vivenciado por Marie Curie (A1, TC12 e TC14). Marie Curie deixou a Polônia para estudar, pois, em seu país natal, as mulheres não eram admitidas nas universidades (QUINN, 1997). Enquanto estudante estrangeira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

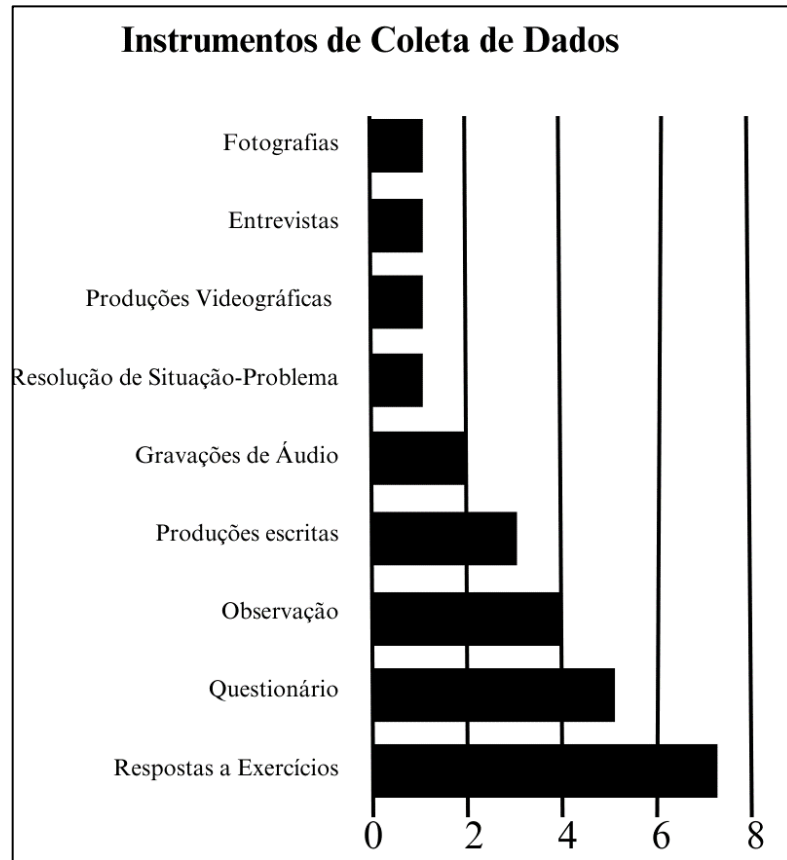


Fonte: Elaborado pelos autores.

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

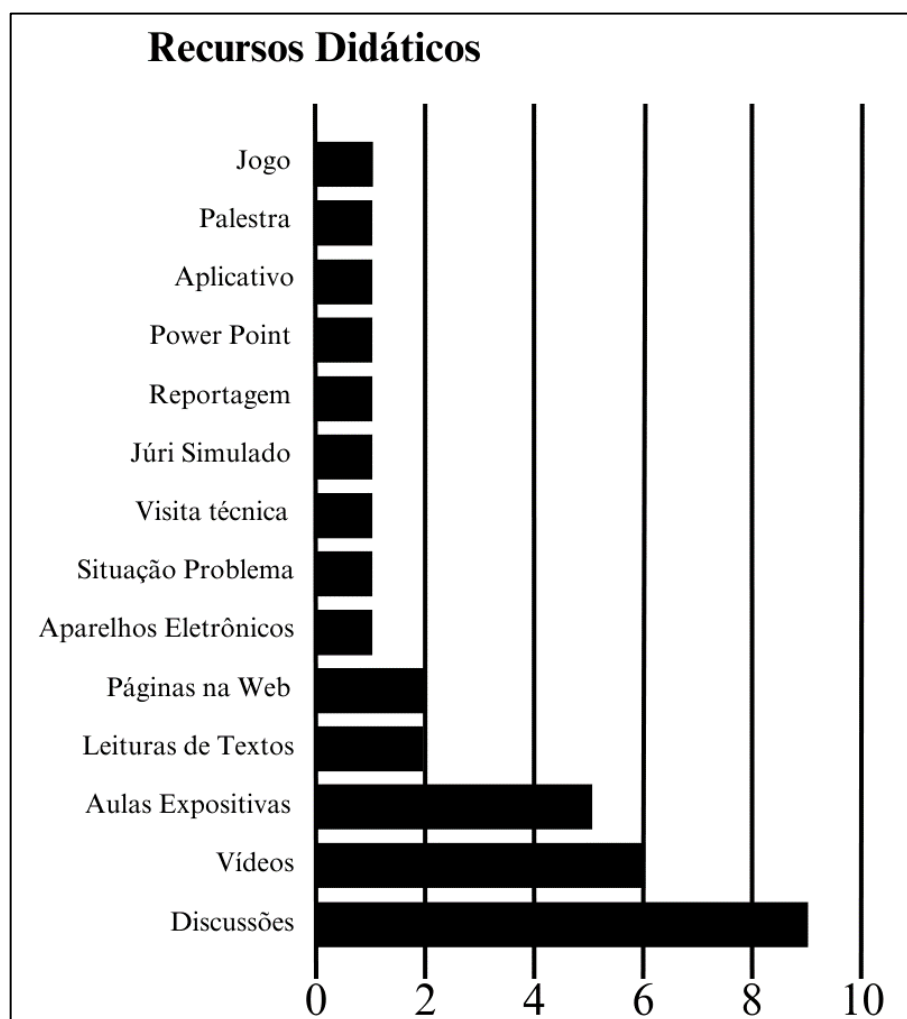
não prescinde da presença do pesquisador no momento das respostas. Nesse sentido, questionários bem elaborados podem trazer à luz dados significativos para as pesquisas educacionais.

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.