

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

SAIMON HUGO MOREIRA DE LIRA

A ABORDAGEM CTS E OS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD:

Uma análise sobre a temática Radioatividade

Recife

2023

SAIMON HUGO MOREIRA DE LIRA

A ABORDAGEM CTS E OS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD:

Uma análise sobre a temática Radioatividade

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para fins de obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.

Orientador(a): Prof^ª Dr^ª Verônica Tavares Santos Batinga.

Recife
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L768a Lira, Saimon Hugo Moreira de
A abordagem CTS e os livros didáticos de química do PNLD: uma análise sobre a temática radioatividade /
Saimon Hugo Moreira de Lira. - 2023.
183 f. : il.
- Orientadora: Veronica Tavares Santos Batinga.
Inclui referências e apêndice(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Recife, 2023.
1. Abordagem CTS. 2. Livro didático de Química. 3. Radioatividade. 4. Textos complementares. 5. Ensino Médio.
I. Batinga, Veronica Tavares Santos, orient. II. Título

CDD 507

SAIMON HUGO MOREIRA DE LIRA

A ABORDAGEM CTS E OS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD:

Uma análise sobre a temática Radioatividade

Data de aprovação: 16/02/2023.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para fins de obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.

Banca Examinadora

Prof^ª Dr^ª Verônica Tavares Santos Batinga
(Presidente da Banca - Orientadora)
(PPGEC-UFRPE)

Prof^ª Dr^ª Bruna Herculano da Silva Bezerra
(Examinadora externa)
(CE/DEC-UFPE)

Prof. Dr. José Euzebio Simões Neto
(Examinador interno)
(PPGEC-UFRPE)

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio, paciência e compreensão ao longo dessa caminhada. Em especial ao meu pai José (*in memoriam*), que tanto torceu por mim, mas não conseguiu testemunhar o fim desse ciclo e a minha mãe Lilian, que esteve sempre forte me apoiando nos meus sonhos e projetos.

AGRADECIMENTOS

Em meio as dificuldades inerentes à construção de uma dissertação, somou-se o contexto da pandemia do COVID-19, que fez com que as Universidades realizassem grande parte das suas atividades remotamente. Entre tantas perdas e um sentimento generalizado de desesperança, entendo como necessário o exercício de agradecer a conclusão desta pesquisa.

Gostaria de agradecer à minha família pelo apoio nesse e em outros momentos da minha vida. Obrigado a minha mãe Lilian e aos meus irmãos Nani e Ícaro.

Um agradecimento à minha orientadora Prof^ª Dr^ª Verônica Tavares Santos Batinga pelo acolhimento na UFRPE e pela paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos que, de mãos dadas, andaram comigo nesse universo acadêmico. Obrigado a Julio, Laís e especialmente a Gerssyka, que me trazia leveza nos momentos difíceis e sempre torceu por mim.

Agradeço ao Núcleo de Pesquisa Ensino e Aprendizagem baseados na Resolução de Problemas (NUPEABRP) pelos momentos de aprendizado.

À comissão examinadora: Prof^ª Dr^ª Bruna Herculano da Silva Bezerra e Prof. Dr. José Euzebio Simões Neto pela leitura, discussões e contribuições a esta pesquisa.

Aos professores do PPGEC, pelos esforços e empenho no desenvolvimento e incentivo da pesquisa científica remotamente, nesse cenário tão difícil.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos, que foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Esta dissertação busca analisar aspectos da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), no contexto da temática Radioatividade em Livros Didáticos de Química, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2018. Partimos da realidade que os Livros Didáticos são bastante utilizados pelos professores de Química na organização do conteúdo e planejamento de ensino para as aulas, como também vem introduzindo, em sua estrutura, os resultados de pesquisas da área de Ensino de Química, que incluem temáticas químicas sob a ótica da abordagem CTS. Nesse sentido, alguns dos objetivos da abordagem CTS incluem a alfabetização científica e tecnológica, desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, tomada de decisão para resolução de problemas para o exercício da cidadania e uma visão mais adequada da Ciência, Tecnologia, Sociedade e suas inter-relações. A escolha pelo tema Radioatividade se deu pela sua natureza controversa, bem como pela escassez de pesquisas que relacionem este tema com a abordagem CTS nas obras analisadas. Este estudo é de caráter qualitativo quanto a abordagem dos dados. A seleção dos livros se deu pelas informações contidas no Guia do Livro Didático 2018, sendo selecionados cinco volumes das seis coleções aprovadas, conforme incluíam a temática Radioatividade. Para análise foi feita uma leitura completa dos capítulos relativos à Radioatividade, com base nas categorias contextos de aplicação da Radioatividade em uma abordagem CTS e critérios que devem atender os materiais didáticos CTS. Os resultados mostram que os livros analisados adotam alguns contextos de aplicação da Radioatividade, como é o caso da ênfase dada ao uso na produção de energia elétrica e na medicina. Com relação aos textos complementares, foram identificados trinta e dois ao longo dos cinco livros didáticos. Desses, poucos apresentam aspectos de ação responsável, tomada de decisão e balanço de ponto de vista, elementos fundamentais de materiais didáticos baseados na abordagem CTS. Concluimos que a presença de vários contextos de aplicação da Radioatividade, bem como a inclusão de textos complementares nos livros didáticos de Química destacam o papel da pesquisa em ensino de ciência para a reformulação de políticas públicas diversas, inclusive o PNLD na difusão de novas propostas para o ensino e reformas curriculares importantes, as quais incluem estratégias pautadas pelos objetivos da abordagem CTS.

Palavras-chave: Abordagem CTS; Livro didático de Química; Radioatividade; Textos complementares; Ensino Médio.

ABSTRACT

This dissertation seeks to analyze aspects of the Science-Technology-Society (STS) approach, in the context of the theme Radioactivity in Chemistry Textbooks, approved by the 2018 National Textbook Program (PNLD). Chemistry teachers in the organization of content and teaching planning for classes, as well as introducing in its structure the results of research in the area of Chemistry Teaching, which include chemical themes from the perspective of the STS approach. In this sense, some of the objectives of the STS approach include scientific and technological literacy, development of skills such as critical thinking, decision-making to solve problems for the exercise of citizenship and a more adequate view of Science, Technology, Society and their interactions relations. The choice for the theme Radioactivity was due to its controversial nature, as well as the scarcity of research that relates this theme to the STS approach in the analyzed works. This study is qualitative in terms of data approach. The selection of books was based on the information contained in the 2018 Textbook Guide, with five volumes being selected from the six approved collections, as they included the theme Radioactivity. For analysis, a complete reading of the chapters related to Radioactivity was carried out, based on the categories contexts of application of Radioactivity in a STS approach and criteria that must meet the STS teaching materials. The results show that the analyzed books adopt some application contexts of Radioactivity, as is the case of the emphasis given to its use in the production of electrical energy and in medicine. With regard to complementary texts, thirty-two were identified throughout the five textbooks. Of these, few present aspects of responsible action, decision making and point of view balance, fundamental elements of didactic materials based on the STS approach. We conclude that the presence of various contexts of application of Radioactivity, as well as the inclusion of complementary texts in Chemistry textbooks, highlight the role of research in science teaching for the reformulation of various public policies, including the PNLD in the dissemination of new proposals for important teaching and curriculum reforms, which include strategies guided by the objectives of the STS approach.

Keywords: STS approach; Chemistry textbook; Radioactivity; Complementary texts; Secondary education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Proposta metodológica para abordagem CTS.....	36
Figura 2 -	Radura - símbolo utilizado em alimentos irradiados.....	55
Figura 3 -	Fluxograma da Radioatividade.....	64
Figura 4 -	Quadro diferenças de fontes e suas ofertas energéticas - Livro B.....	83
Figura 5 -	Gráfico da curva de decaimento do C-14 – Livro B.....	85
Figura 6 -	Imagem introdutória sobre radioterapia – Livro C.....	88
Figura 7 -	Representação do funcionamento de um detector de fumaça - Livro C..	89
Figura 8 -	Excerto do tópico ‘Agricultura’ - Livro C.....	90
Figura 9 -	Uso de isótopos radioativos na radioterapia – Livro D.....	91
Figura 10 -	Quadro ‘Relação de radioisótopos utilizados em cintilografia –Livro D	92
Figura 11 -	Destruição causada pela bomba atômica em Hiroshima – Livro C.....	97
Figura 12 -	Teste de explosão nuclear no Novo México - Livro A.....	102
Figura 13 -	Considerações sobre a radioatividade artificial – Livro A.....	103
Figura 14 -	TC: O equívoco da aplicação do rádio - Livro B.....	105
Figura 15 -	Sugestão de leitura – Livro C.....	107
Figura 16 -	Ampola de Crookes – Livro D.....	110
Figura 17 -	Registros sobre o acidente em Goiânia com o Cs-137 – Livro D.....	111
Figura 18 -	TC: A destinação de lixo nuclear preocupa participantes de seminário no Senado – Livro A.....	115/144
Figura 19 -	Representação da geração de energia em uma usina nuclear – Livro A..	116
Figura 20 -	TC: Indução artificial de radioatividade – Livro B.....	123
Figura 21 -	TC: Mulheres na ciência - Livro C.....	126
Figura 22 -	Pierre e Marie Curie no laboratório - Livro D.....	128
Figura 23 -	Representação do experimento espalhamento de radiação alfa -Livro E	129
Figura 24 -	TC: Compreendendo o mundo – Livro A.....	134/158
Figura 25 -	Questões sobre energia nuclear – Livro B.....	136
Figura 26 -	Orientações para o professor – Livro D.....	139
Figura 27 -	Questão do TC: (Química e física) Energia nuclear – Livro B.....	146
Figura 28 -	Atividade sobre responsabilidade humana – Livro C.....	144
Figura 29 -	TC: (De onde vem... para onde vai?) Gerador de tecnécio - Livro A.....	147
Figura 30 -	TC: A química do tempo: carbono-14 – Livro D.....	148

Figura 31 - TC: Química e tecnologia – Detector de fumaça - Livro C.....	149
Figura 32 - TC: Retomando a notícia (a reportagem da página 261) - Livro A.....	150
Figura 33 - TC: O que é irradiação de alimentos? - Livro C.....	154
Figura 34 - TC: Energia nuclear – Livro B.....	155
Figura 35 - TC: Vírus Zika – Livro C.....	160
Figura 36 - TC: Segurança em usinas nucleares é questionada em seminário no Senado – Livro A.....	161

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Relação das pesquisas acadêmicas analisadas.....	20
Quadro 2 -	Categorias de análise dos trabalhos sobre Livro Didático e CTS.....	22
Quadro 3 -	Concepções de Ciência Tecnologia e Sociedade em Currículos CTS.....	34
Quadro 4 -	Categorias de ensino CTS.....	38
Quadro 5 -	Critérios que devem atender materiais didáticos CTS.....	48/77
Quadro 6 -	Critérios de análise estruturados por García-Carmona e Criado (2008)..	64
Quadro 7 -	Coleções de Livros aprovados.....	72
Quadro 8 -	Conteúdos de Radioatividade no Guia do Livro Didático para os LDQ do PNLD 2018.....	73
Quadro 9 -	Critérios de análise para os contextos de aplicação da Radioatividade sob a ótica da abordagem CTS.....	75
Quadro 10 -	Livros que citam aplicações tecnológicas da Radioatividade.....	93
Quadro 11 -	Livros que fazem alusão à influência da ciência e das tecnologias relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social.....	99
Quadro 12 -	Livros que apresentam o papel da Radioatividade na história, na cultura e na evolução do conhecimento.....	112
Quadro 13 -	Livros que apresentam problemas ambientais relacionados com resíduos radioativos e acidentes em centrais nucleares.....	120
Quadro 14 -	Livros que mostram o desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre Radioatividade como produto do trabalho coletivo e que reconheça o papel da mulher na ciência.....	129
Quadro 15 -	Livros que comparam os benefícios e danos das aplicações da Radioatividade para a humanidade e ao meio ambiente.....	139
Quadro 16 -	Quantidade de textos complementares sugeridos ao longo dos livros didáticos de Química (PNLD 2018).....	143
Quadro 17 -	Relação de livros e quantidade de textos que cumprem com os critérios de materiais CTS.....	162

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APQUA	<i>Aprendizaje de los Productos Químicos, sus Usos y Aplicaciones</i>
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
ChemCom	<i>Chemistry in the Community</i>
CNLD	Comissão Nacional do Livro Didático
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
DW	<i>Deutsche Welle</i>
FENAME	Fundação Nacional de Material Escolar
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
GLD	Guia do Livro Didático
IEN	Instituto de Energia Nuclear
INL	Instituto Nacional do Livro
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
LDQ	Livro Didático de Química
LDB	Lei de Diretrizes e Base da Educação
LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
MEC	Ministério da Educação
NPT	<i>Treaty on the Non-Profliferation of Nuclear Weapons</i>
NRC	<i>Nuclear Regulatory Comission</i>
OCNEM	Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PET	Tomografia por emissão de pósitron
PLACTS	Pensamento Latino Americano de Ciência, Tecnologia e Sociedade
PLIDEF	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Fundamental
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
PWR	<i>Pressurized Water Reactor</i>
SATIS	<i>Science and Technology in Society</i>
SPECT	<i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>
USAID	<i>Unitated States for International Development</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	SITUANDO O OBJETO DE PESQUISA NA ÁREA DE ENSINO DE CIÊNCIAS.....	18
2.1	FOCO TEMÁTICO.....	23
2.2	NÍVEL DE ENSINO.....	24
2.3	CAMPO DISCIPLINAR.....	25
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
3.1	UM OLHAR SOBRE A CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE (CTS).....	27
3.1.1	Origens e Desdobramentos do Movimento CTS.....	27
3.1.2	A Abordagem CTS.....	30
3.1.3	Elementos e Aspectos da Abordagem CTS.....	34
3.2	ATRAVESSANDO A HISTÓRIA: BREVE TRAJETÓRIA DOS LIVROS DIDÁTICOS.....	38
3.2.1	Os Livros Didáticos de Química (LDQ).....	42
3.2.2	Os Recursos Didáticos na Abordagem CTS.....	46
3.3	A TEMÁTICA RADIOATIVIDADE: BREVE HISTÓRICO, CONTEXTOS DE APLICAÇÃO E ASPECTOS SOBRE O ENSINO E APRENDIZAGEM.....	49
3.3.1	Contextos de Aplicação da Radioatividade.....	51
3.3.1.1	Acidentes em Usinas Nucleares.....	60
3.3.1.2	O Acidente do Césio-137 em Goiânia-GO.....	62
3.3.2	Ensino e Aprendizagem Sobre Radioatividade em Documentos Curriculares Nacionais no Brasil.....	66
4	DESENHO METODOLÓGICO.....	70
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	70
4.2	SELEÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO.....	71
4.3	REFERENCIAL DE ANÁLISE DE DADOS.....	74
4.3.1	Categorias Para Análise de Dados: 1º Objetivo Específico de Pesquisa....	74
4.3.2	Categorias para Análise de Dados: 2º Objetivo Específico de Pesquisa....	76
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
5.1	CONTEXTOS DE APLICAÇÃO DA RADIOATIVIDADE: UM OLHAR	

	A PARTIR DE ASPECTOS DA ABORDAGEM CTS.....	79
5.1.1	Aplicações Tecnológicas da Radioatividade.....	79
5.1.2	Aspectos Socioeconômicos e Políticos Relacionados à Aplicações Tecnológicas da Radioatividade.....	95
5.1.3	História e Desenvolvimento da Radioatividade e Seu Papel na História da Humanidade.....	101
5.1.4	Impacto de aplicações da Radioatividade no Meio Ambiente.....	114
5.1.5	Desenvolvimento dos Conhecimentos Científicos Sobre Radioatividade Como Produto do Trabalho Coletivo e que Reconheça o Papel da Mulher na Ciência.....	121
5.1.6	Benefícios <i>versus</i> Malefícios das Aplicações da Radioatividade: Uma Análise Comparativa.....	131
5.2	ANÁLISE DOS TEXTOS COMPLEMENTARES SUGERIDOS NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA (PNLD 2018: INDICADORES PARA UMA ABORDAGEM CTS.....	143
5.2.1	Responsabilidade.....	144
5.2.2	Influências Mútuas CTS.....	146
5.2.3	Relações com as Questões Sociais.....	150
5.2.4	Balanço de Pontos de Vista.....	152
5.2.5	Tomada de Decisões e Resolução de Problemas.....	155
5.2.6	Ação Responsável.....	157
5.2.7	Integração de um Ponto de Vista.....	161
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	164
	REFERÊNCIAS.....	171
	APÊNDICE A – LISTA DE TEXTOS COMPLEMENTARES NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA PNLD 2018.....	182

1 INTRODUÇÃO

No contexto da sala de aula brasileira, percebe-se que o livro didático ainda é o recurso didático mais utilizado pelos professores e estudantes. Isso se deu a partir de uma construção histórica, visto que no Brasil a utilização do LD ocorreu desde o século XIX associado ao ensino por transmissão-recepção, sendo este recurso ainda protagonista nas diversas práticas docentes ao longo do desenvolvimento da própria história da educação nacional.

Entretanto, os documentos oficiais de educação, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), as Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (OCNEM) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) sugerem outros recursos didáticos que podem ser usados na prática docente, como exemplo, tem-se: textos, vídeos, simulações e experimentações, que podem complementar o uso do LD em sala de aula e ainda não são amplamente utilizados para divulgar conhecimentos científicos e tecnológicos. Todavia, os Livros Didáticos de Química (LDQ) atualmente apresentam sugestões desses recursos complementares, que muitas vezes não são explorados pelos professores e alunos.

O Guia de livros didáticos 2018 do Ensino Médio expressa que na maioria das obras aprovadas há a possibilidade do ensino de Química com foco nas relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, visando ressaltar o papel da Ciência e Tecnologia na Sociedade e discutir em sala de aula questões atreladas ao contexto social dos alunos (BRASIL, 2017).

É denominada de abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para o ensino de Ciências aquela que se originou do Movimento¹ CTS, que surgiu em meados dos anos 1960 e início dos anos 1970, tanto em função “de problemas ambientais gerados pelo cenário socioeconômico da CT, como em função de uma mudança de visão sobre a natureza da Ciência e do seu papel na sociedade [...]” (SANTOS, 2011, p. 23). Apesar de não ter se originado no contexto escolar, esse movimento desencadeou diversas inovações educativas tendo como referência uma concepção social da Ciência e da Tecnologia (VON LISINGEN, 2004; PINHEIRO, 2005).

¹ Concordamos com Strieder (2012) a escolha de alguns termos para se referir a diferentes momentos de se pensar sobre as contribuições da Ciência-Tecnologia-Sociedade. O termo ‘Movimento CTS’ será adotado quando nos referimos às discussões CTS em um contexto mais amplo, como sua origem histórica e, conseqüentemente, a situações de intervenção social. E o termo ‘Abordagem CTS’, além de ser amplamente utilizado pelos estudos CTS, busca enfatizar as diversas maneiras de abordar as relações CTS no contexto da Educação Científica (STRIEDER, 2012).

Seguindo os princípios da abordagem CTS, o objetivo do ensino de Ciências é alfabetizar científica e tecnologicamente os indivíduos (MANASSERO; VÁZQUEZ; ACEVEDO DÍAZ, 2001; OSÓRIO, 2002; SANTOS; MORTIMER, 2002) capacitando-os para a resolução de problemas e tomada de decisão sobre questões da ciência e tecnologia na sociedade (SANTOS e SCHNETZLER, 1997; BAZZO, 1998; MANASSERO; VÁZQUEZ; ACEVEDO DÍAZ, 2001; SANTOS; MORTIMER, 2002).

A abordagem CTS se utiliza das temáticas sociocientíficas como uma ferramenta importante no desenvolvimento de habilidades e competências relativas à alfabetização científica e tecnológica que são alguns dos objetivos da abordagem CTS no ensino das Ciências.

Desse modo, o trabalho com temas como alimentos, água, agrotóxicos, radiações nucleares, lixo, células-tronco, metalurgia, dentre outros, podem tornar os conhecimentos científicos mais acessíveis à realidade dos discentes e apresentam potencial que abarca as diversas dimensões sócio-político-econômica-ética-culturais-ambientais. Dentre as temáticas supracitadas, a “Radioatividade” vem sendo estudada em diversas áreas do conhecimento, apresentando grande potencial interdisciplinar entre as Ciências (Química, Física e Biologia), podendo ser utilizada para contextualizar diversas áreas da Química, bem como é utilizada como eixo temático nos Livros Didáticos de Ciências e Química.

A Radioatividade representa, para muitas pessoas, algo perigoso, relacionado à bomba atômica ou a acidentes, como no caso do Césio-137 em Goiânia (1987) e da usina de energia nuclear de Chernobyl (1986). Inevitavelmente, a grande maioria da população pouco sabe acerca das aplicações benéficas da Radioatividade, entretanto, essa informação é evidenciada em alguns Livros Didáticos de Química como uma tentativa de contextualização, mas dependendo da abordagem recortada no livro, pode gerar uma falsa impressão nos alunos e professores de que os fenômenos relacionados à Radioatividade, de modo geral, causam danos à saúde, gerando riscos para toda uma população.

As pesquisas apontam que os LD são os recursos mais utilizados nas salas de aula brasileiras (LOPES, 1992; ECHEVERRÍA; MELLO; GAUCHE, 2008; 2010; DELIZOICOV, ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). Paradoxalmente, a literatura de pesquisa também aponta a escassez de trabalhos que investigam os livros didáticos de Química de forma crítica, tendo como exemplo recortes temáticos (ARAÚJO, 2012; CANHETE, 2011; COSTA, 2013; VIECHENESKI, 2019) que contemplem estudos que articulem a abordagem CTS à análise dos recursos complementares presentes nos LD, e critérios de adoção dessas obras pelos professores da educação básica.

Na discussão, mais adiante, que visa situar o objeto de pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica com recorte temporal de dez anos (2010 a 2022) acerca de pesquisas que estudam as relações entre a abordagem CTS e o livro didático de Ciências e Química. A intenção de fazer a revisão foi para buscar conhecer os estudos acerca da relação entre estas duas temáticas, que podem fornecer informações para delimitar e/ou expandir as possibilidades de investigação relativa à questão e objetivos de pesquisa, bem como construir uma base teórica para subsidiar considerações apontadas que emergem da análise de dados realizada durante a pesquisa.

Portanto, com base nos resultados da pesquisa bibliográfica apresentada no tópico ‘Situando o objeto de pesquisa na área de ensino de Ciências’ há necessidade de pesquisas que investigam as relações Ciência-Tecnologia-Sociedade nos Livros Didáticos de Química do Ensino Médio acerca da temática Radioatividade.

Diante do exposto foi delimitado o problema de pesquisa: **Como a abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), no contexto da temática Radioatividade está sendo desenvolvida nos Livros Didáticos de Química, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD 2018) para o período de 2018 a 2022?**

Para responder à questão de pesquisa foram propostos os seguintes objetivos geral e específicos:

Objetivo Geral

- ✓ Analisar a temática Radioatividade nos Livros Didáticos de Química (LDQ) aprovados pelo PNLD (2018), considerando alguns pressupostos da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e os contextos de aplicação do tema.

Objetivos Específicos

- ✓ Analisar os contextos de aplicação da Radioatividade nos LDQ aprovados no PNLD 2018 sob a ótica da abordagem CTS.
- ✓ Identificar e analisar os textos complementares sobre a temática Radioatividade, sugeridos nos LDQ, que se aproximam dos pressupostos da abordagem CTS.

Para responder ao problema de pesquisa e contemplar os objetivos delimitados para esse estudo, apresentamos brevemente os cinco tópicos que constituem a estrutura dessa pesquisa, sendo: **2 Situando o objeto de pesquisa na área de ensino de Ciências**, no qual apresentamos os dados referentes ao nosso levantamento bibliográfico sobre as pesquisas que discutem sobre os Livros Didáticos e a abordagem CTS, para respaldar o desenvolvimento dessa pesquisa; **3 Fundamentação Teórica**, em que, em um primeiro momento discorremos sobre origens e desdobramentos do movimento CTS, a abordagem CTS, elementos e aspectos da abordagem CTS; em um segundo momento tratamos sobre uma breve trajetória da história dos livros didáticos, os livros didáticos de Química e sobre os recursos didáticos na abordagem CTS; no terceiro momento trazemos a temática Radioatividade, no que refere-se a um breve histórico, contextos de aplicação, acidentes em usinas nucleares e o acidente em Goiânia com o cézio-137 e aspectos sobre o ensino e a aprendizagem; **4 Desenho Metodológico**, aqui caracterizamos esta pesquisa, esclarecemos a seleção dos livros didáticos de Química do Ensino Médio e sobre o referencial de análise de dados, considerando as categorias particulares para o primeiro e segundo objetivos específicos; no **5 Resultados e Discussão**, investigamos os contextos de aplicação da Radioatividade com um olhar a partir de aspectos da abordagem CTS, bem como analisamos os textos complementares sugeridos nos livros didáticos de Química (PNLD 2018) tendo em vista indicadores para uma abordagem CTS; finalizamos com o **6 Considerações Finais**, sintetizando as principais considerações das análises, limitações da pesquisa e sugestão de novas questões a partir dos dados obtidos.

2 SITUANDO O OBJETO DE PESQUISA NA ÁREA DE ENSINO DE CIÊNCIAS

A pesquisa em ensino de Ciências vem se consolidando no Brasil desde meados do século passado. Em termos históricos esse interesse ocorreu diretamente por movimentos de reforma curricular no âmbito internacional e nacional.

Nos Estados Unidos e Inglaterra estas reformas suscitaram o desenvolvimento dos projetos CBA (Sistemas Químicos), CHEMS (Química: uma ciência experimental), e Nuffield de Química na década de 1960 (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995). Já para a realidade nacional brasileira, um dos marcos foi a promulgação da Lei de Diretrizes e Base da Educação (LDB) que, entre outras coisas, em 1961 dispõe sobre a obrigatoriedade do ensino de Ciências para os anos finais do Ensino Fundamental; em 1971 estende para os anos iniciais do então primeiro grau e, mais recente, em 1996, exige uma formação superior dos docentes que atuam nessa área (DELIZOICOV; SLONGO, 2011).

Nesse intervalo de tempo entre as reformas da LDB, o ensino de Ciências passa a integrar-se de forma mais abundante como interesse de pesquisa no Brasil, fomentando o desenvolvimento de periódicos e eventos específicos, como também compondo projetos de ensino, pesquisa e extensão em programas de pós-graduação e cursos de formação de professores.

Entre tantas questões que perpassam esse vasto campo de conhecimento, as pesquisas acerca da abordagem CTS e dos livros didáticos também ganham espaço. Strieder (2012) e Firme (2012), buscando identificar objetos de estudo privilegiados por pesquisas sobre CTS em alguns periódicos nacionais e internacionais da área de ensino de Ciências, observou seis principais focos de estudo: i) mapeamento dos estudos CTS; ii) formação de professores de Ciências; iii) concepções sobre CTS; iv) implementação de abordagem CTS; v) relações CTS e materiais didáticos; vi) análise dos pressupostos teóricos do movimento CTS. Enquanto que os estudos acerca dos LD, em linhas gerais, buscam aprimorar esse recurso de modo a evitar e minimizar questões que vão de encontro à ética, erros conceituais e que correspondam aos objetivos educacionais vigentes para aquele momento histórico-temporal (ECHEVERRÍA; GAUCHE; MELLO, 2010).

Assim, ao estabelecermos um elo entre essas duas temáticas de pesquisa, buscamos compreender como a abordagem CTS vem sendo explorada nos Livros Didáticos de Ciências, em especial nos de Química, pelas diversas pesquisas e programas de pós-graduação que as

discutem na área de ensino das Ciências e da Matemática, de modo a balizar, bem como evidenciar, as escolhas para esta pesquisa. Portanto, nosso objetivo, aqui, foi identificar as principais características que as pesquisas acerca dos LD sob a ótica de uma abordagem CTS, com base nas categorias construídas, outrora, por Viecheneski, Silveira e Carletto (2018, p. 9): 1) foco temático de delimitação do *corpus* de análise das pesquisas; 2) nível de ensino; 3) campo disciplinar.

Posta a demarcação para análise, a escolha dessas pesquisas se deu a partir das seguintes etapas: 1) levantamento dos trabalhos acadêmicos que tratam das relações entre a abordagem CTS e os livros didáticos de Ciências; 2) Leitura das obras selecionadas, bem como eliminação de repetições (visto que alguns arquivos poderiam aparecer duplicados nessas plataformas) e busca do texto completo na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações; por fim, 3) Categorização e análise do montante das produções científicas encontradas.

Para a primeira etapa, utilizamos dois bancos de dados: o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Banco de Teses e Dissertações da CAPES, ambos localizados em plataformas virtuais na internet, os quais foram escolhidos pela disponibilização gratuita (considerando que o acesso de algumas pesquisas exijam pagamento) de publicações em periódicos nacionais e internacionais para os diversos campos de pesquisa, bem como a disponibilização de pesquisas de mestrado (dissertações) e doutorado (teses), que podem colaborar para a construção de um panorama sobre a temática investigada em diversos programas de pós-graduação.

Na segunda etapa, utilizando as ferramentas de busca dispostas na biblioteca virtual da CAPES, selecionamos as obras apresentadas que cumpriram com a interseção dos seguintes termos, no campo de assunto: “livro didático”, “livro didático de Ciências”, “livro didático de Química” ou “manual didático”; relacionado com “CTS”, “CTSA” ou “Ciência-Tecnologia-Sociedade”. Para a busca de obras publicadas em língua inglesa consideramos os termos: “Science textbook” e “Chemistry textbook”; relacionado com “STS” ou “STSE” ou “Science-Technology-Society”. Esse procedimento foi feito para o intervalo de tempo de 2010 a 2022, considerando as publicações revisadas por pares e que possuem uma maior relevância para a área de ensino das ciências e matemática.

Na terceira etapa do levantamento foi feita a identificação de pesquisas que atendessem aos critérios de discutir as relações CTS em livros didáticos para um intervalo de

12 anos, delimitado de 2010 a 2022. Feito isso, foram encontradas e analisadas 32 pesquisas apresentadas no Quadro 1. Utilizamos de códigos para indicar as respectivas pesquisas, organizadas conforme seu tipo (dissertação, tese ou artigo). Para as dissertações, o código se dá pela letra ‘D’ seguida da ordem que o trabalho ocupa na listagem, por exemplo: D1 diz respeito à primeira dissertação disposta no nosso mapeamento, D2 a segunda e assim por diante. Para as teses o código é representado pela letra ‘T’, seguida de um número e para os artigos, empregamos o mesmo padrão com a letra ‘A’.

Quadro 1 - Relação das pesquisas acadêmicas analisadas

Código	Pesquisas sobre a abordagem CTS e livros didáticos no ensino de Ciências
D1	ARAÚJO, M. M. S. Biotecnologia e cidadania: características e reelaboração discursiva dos textos informativos científicos. 2012. 103 f. Dissertação (Programa de Mestrado em Educação), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
D2	CANHETE, M. V. U. Os PCNs e as inovações nos livros didáticos de Ciências. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
D3	COSTA, E. A. Análise de livros didáticos de biologia do ensino médio quanto ao tema “poluição” numa perspectiva CTS/CTSA. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2013.
D4	FERNANDES, J. P. O tema energia e a relação Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) presente no livro didático de física e no Exame Nacional do Ensino Médio. 2013. Dissertação - Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde (NUTES), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
D5	GILDO, W. L. As relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) nas imagens de livros didáticos de biologia. 2021. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Matemática, Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência e a Matemática, 2021.
D6	PASCHINI NETO, M. Movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) nos textos sobre astronomia em livros didáticos de ciências do ensino fundamental. 2011. Dissertação (Faculdade de Ciências Humanas Curso Pós-Graduação em Educação), Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2011.
D7	SALLA, H. M. Estudos CTS e transgenia: análise de materiais didáticos do ensino médio. 2016. 219 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da Faculdade de Ciências), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.
D8	PAIXÃO, M. C. S. O professor de biologia e o livro didático: análise da Educação CTS na EJA. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Ilhéus, 2018.
D9	SOUZA, C. L. P. Uma análise crítica, a partir do Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), do ensino de Botânica na educação básica. 2018. 88 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
D10	SOUSA, I. C. O livro didático e o Enfoque CTS: possibilidades para o estudo dos gases no ensino médio. 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ensino) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

D11	TOQUETTO, A. R. Os temas “vidros e metais” em livros didáticos de química: uma análise a partir dos estudos sociais da C&T. 2016. 199 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
T1	VIECHENESKI, J. P. Relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade em Livros Didáticos Integrados de Ciências Humanas e da Natureza para os Anos Iniciais do Ensino Fundamental. 2019. 317 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.
A1	ALEXIOU, N.; SKOUMIOS, M. A framework for evaluating dimensions of scientific literacy themes. Egitim Arastirmalari-Eurasian Journal of Educational Research , 49, p. 81-102, 2012.
A2	ALEXIOU, N.; SKOUMIOS, M. A framework for evaluating dimensions of scientific literacy in science textbooks: The case of a Greek middle school physics textbook. <i>International Journal of Science, Mathematics and Technology Learning</i> , v. 23, n. 1, p. 1-18, 2016.
A3	ÇAKICI, Y. Exploring Turkish upper primary level science textbooks' coverage os scientific literacy themes. Egitim Arastirmalari-Eurasian Journal of Educational Research , 49, p. 81-102, 2012.
A4	FERNANDES, I. M. B.; PIRES, D. M.; DELGADO-IGLESIAS, J. Las relaciones entre Ciência, Tecnología, Sociedad y Ambiente, em los libros de texto de Educación Primaria: Um estudio comparativo entre Portugal y España, antes de las últimas reformas educativas. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias , v. 14, n. 1, p. 54-68, 2017.
A5	LOZANO, D. L. P. Conteúdos Ambientais no Ensino de Química: Análise dos Currículos, dos Livros Didáticos e Matrizes de Avaliação Nacional no Brasil. Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias , v. 12, n. 2, p. 117-130, 2017.
A6	MAESTRELLI, S. G.; LORENZETTI, L. As relações CTSA nos anos iniciais do Ensino Fundamental: analisando a produção acadêmica e os livros didáticos. Revista de Educação em Ciências e Matemáticas , v. 13, s/n, p. 05-21, 2017.
A7	MANSOUR, N. The representation of scientific literacy in Egyptian science textbooks. Journal of Science Education , v. 11, n. 2, p. 91-95, 2010.
A8	MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; CARVALHO, W. L. P. O ensino de acústica nos livros didáticos de física recomendados pelo PNLEM: análise das ligações entre a física e o mundo do som e da música. HOLOS , v. 1, s/n, p. 137-154, 2011.
A9	MOREIRA, M. C. A.; PEREIRA, M. V.; MARTINS, I. G. Mecânica e educação para o trânsito: análise de um texto didático de ciências para o ensino fundamental. Revista Brasileira de Ensino de Física , v. 39, n. 4, 2017.
A10	MORRIS, H. Socioscientific Issues and Multidisciplinarity in School Science Textbooks. International Journal of Science Education , v. 36, n. 7, p. 1137-1158, 2014.
A11	RAMNARAIN, U.; PADAYACHEE, K. A comparative analysis of South African Life Sciences and Biology textbooks for inclusion of the nature of science. South African Journal of Education , v. 35, n. 1, feb. 2015.
A12	ROSA, C. T. W.; SILVA, J. C. R.; DARROZ, L. M. Acidente Nuclear de Goiânia nos Livros Didáticos de Física. Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias , v. 14, n. 1, p. 51-62, 2019.
A13	SANTANA, T. A.; CARDOSO, L. R. Como as relações CTS são evidenciadas nos textos complementares dos livros de biologia. Revista Tempos e Espaços em Educação , v. 8, n. 16, p. 77-88, 2015.

A14	SILVA, M. S.; ROSA, S. E. Questões energéticas e suas relações com parâmetros CTS: análise em livros didáticos a partir de uma matriz de referência. Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemática , v. 17, n. 38, p. 267-281, 2021.
A15	SOUS, I. C.; NUNES, A. O. Concepções dos professores de química sobre o livro didático e a abordagem CTS. Tecné, Episteme y Didaxis: TED , [S.I.], n. 50, p. 113-130, 2021. DOI: 10.17227/ted.num50-10549. Disponível em: https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/10549 . Acesso em: 3 feb. 2023.
A16	SOUZA, T. P.; MÜLLER, M. G. O enfoque em livros didáticos brasileiros em manuais escolares portugueses: uma revisão das publicações em eventos do Ensino de Ciências e Química. Revista Insignare Scientia , v. 2, n. 2, p. 451-466, 2022.
A17	SOUZA, T. P.; MÜLLER, M. G.; GOMES, C. M. M. A abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino de Química: uma análise exploratória dos livros didáticos brasileiros e manuais escolares portugueses. Revista Insignare Scientia , v. 5, n. 1, p. 354-376, 2022.
A18	VESTERINEN, V.; AKSELA, M.; LAVONEN, J. Quantitative Analysis of Representations of Nature of Science in Nordic Upper Secondary School Textbooks Using Framework of Analysis Based on Philosophy of Chemistry. Sci & Educ , 22, p. 1839-1855, 2013.
A19	VIECHENESKI, J. P.; SILVEIRA, R. M. C.; CARLETTO, M. R. Relações CTS em Livros Didáticos da Área de Ciências: Uma Análise das Pesquisas Realizadas no período de 2010 a 2017. Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia , v. 11, n. 2, p. 257-278, 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor, conforme levantamento bibliográfico (2022)

Ao traçarmos um comparativo com as pesquisas encontradas na análise de Viecheneski, Silveira e Carletto (2018) no intervalo de 2010 a 2017, que totalizaram 14 estudos acadêmicos, ao expandirmos as relações CTS nos livros didáticos para o intervalo de 2010-2022 observamos um aumento do número de publicações desse objeto de pesquisa na área de ensino de Ciências para 32 trabalhos incluindo uma tese, cinco dissertações e doze artigos científicos. Ressaltamos que foi traçado o mesmo percurso metodológico da pesquisa de Viecheneski, Silveira e Carletto (2018) no intervalo de 2010 a 2017 e observado resultados semelhantes no que diz respeito as categorias de análise adotadas, ou seja, o foco temático, os níveis de ensino e os campos disciplinares desses trabalhos, descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Categorias de análise dos trabalhos sobre Livro Didático e CTS

Categoria	Descrição
1. Foco temático	Essa categoria buscou identificar quais os focos temáticos utilizados nos estudos para delimitar o <i>corpus</i> de análise das investigações nos livros didáticos;
2. Nível de ensino	A partir dessa categoria buscou-se identificar quais os níveis de ensino dos livros didáticos analisados nas pesquisas;
3. Campo disciplinar	Nessa categoria procurou-se evidenciar a quais campos disciplinares pertencem os livros didáticos que têm sido objeto de estudo e análise das inter-relações CTS.

Fonte: Viecheneski, Silveira e Carletto (2018)

2.1 FOCO TEMÁTICO

Tomando como ponto de partida o foco temático das pesquisas elencadas, identificamos entre as dissertações 9 temas distintos: astronomia (D6; D2); poluição (D2; D3); biotecnologia (D1); energia (D4); vidros e metais (D11); transgenia (D7); conteúdos da Física, como: vida, seres vivos, biodiversidade, educação ambiental, corpo humano, saúde, clonagem, transgênicos, células-tronco, entre outros, D8; botânica (D9); e estudo dos gases (D10).

Observamos que para as dissertações, todas se delimitaram por um foco temática, ou seja, nenhuma obra didática foi investigada por inteiro. Para o caso de D8, especificamente, consideramos ‘os conteúdos de biologia’ escolhido como um recorte do foco temático pela autora, por ela trabalhar com obras destinadas à Educação de Jovens e Adultos, nas quais os conteúdos curriculares são, em sua maioria, compilados em um mesmo manual. Nesse sentido, o trabalho D8 se dedica às unidades de ‘Energia e Consumo’, ‘Matemática e Vida Cotidiana’ e ‘Ambiente e Saúde’, com os conteúdos já citados.

A opção por investigar temáticas, no lugar das obras integralmente, pode se dar pelo tempo restrito para mergulhar em análises profundas de todos os LD aprovados pelo PNLD em pesquisas de dissertações de mestrado. Outra opção poderia ser os próprios meios de introdução da abordagem CTS nessas obras, utilizando de temas sociocientíficos, de modo que os pesquisadores buscam traçar aspectos gerais desses temas no lugar de investigar as preferências de determinados autores na construção de um LD norteado pela abordagem CTS. Uma terceira hipótese poderia ser a identificação do pesquisador com a temática investigada, podendo ter sido mobilizadas por experiências pessoais e profissionais ao longo de sua formação. Diversas são as possibilidades de se pensar sobre optar por focos temáticos, desde as citadas até o fato de ser evidenciado pelos documentos oficiais da educação e ser um campo de pesquisa consolidado e que conversa com outras estratégias no campo de ensino de ciências no Brasil.

Quanto aos artigos científicos, identificamos trabalhos que demarcaram suas investigações por focos temáticos (A3, A5, A6, A8, A9, A10, A12, A14 e A16) e alguns que adotaram os livros didáticos por completo (A1, A4, A7, A15 e A11). No que diz respeito aos focos temáticos adotados pelos artigos, temos: A8 escolheu os conteúdos de acústica utilizando dos critérios da ficha de avaliação do PNLEM, A3 adotou três unidades abordadas nos livros – eletricidade, corpo humano e matéria -, A10 estudou sobre questões

sociocientíficas de tecnologia genética reprodutiva e mudanças climáticas, A5 se deteve aos conteúdos ambientais nos LD de Química, estabelecendo um diálogo com o que vêm sendo discutido sobre a temática no campo de pesquisa em ensino das Ciências e nos documentos oficiais da educação para uma formação crítico-cidadã, A6 mapeou a temática água em todos os LD do 4º ano do Ensino Fundamental, bem como sondaram as atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) a fim de identificar como as relações CTS vêm sendo abordadas no contexto do ensino das Ciências; A9 investigou um texto sobre educação para o trânsito, o qual contextualizava questões socioambientais, A19 construiu um panorama sobre as relações CTS nos LD para as Ciências da Natureza, por meio de um levantamento bibliográfico sobre as pesquisas desenvolvidas nos anos de 2010 a 2017, A12 se preocupou com os tópicos da Física nuclear estruturados em uma discussão CTS, como os acidentes nucleares e, por fim, A14 busca identificar diferentes interpretações para a radiação eletromagnética, no contexto da Física clássica e moderna.

As demais publicações em formato de artigo (A1, A7, A18, A11 e A4) analisaram os livros didáticos por completo, ou balizaram seus estudos por outras condições, como é o caso de A13, que investigou todos os LD de Biologia da coleção ‘Biologia Hoje’, mas seu foco foi categorizar os aspectos de CTS nos textos complementares dispostos nessas obras.

Para Viecheneski, Silveira e Carletto (2018) foi pontuada a centralidade da investigação das dissertações para os LD dos anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio. Para o acréscimo traçado nesse estudo, observamos, ainda que modesta, uma superação deste quadro, tendo a pesquisa de dissertação D8 centrada nos LD da EJA, e a própria T1, identificando uma deficiência para as obras de Ciências dos anos iniciais, utilizou como justificativa para balizar seu objeto de pesquisa os LD dos anos iniciais do Ensino Fundamental. Quanto aos artigos científicos, de um montante de 16 pesquisas, apenas três atentaram ao primeiro ciclo da educação básica, sendo A3 da Turquia, A4 de Portugal e Espanha e A6 do Brasil.

2.2 NÍVEL DE ENSINO

No que diz respeito aos níveis de ensino, apuramos três dissertações com um olhar direcionado ao Ensino Fundamental (D1, D2 e D6) e sete dissertações com uma atenção dirigida aos livros didáticos do Ensino Médio (D3, D4, D5, D7, D8, D9 e D10). Quanto às teses, como já mencionado anteriormente, apenas Viecheneski (2019), T1, explorou as

relações CTS nos LD do primeiro ciclo do Ensino Fundamental. Uma forma de pensar a preferência pelas obras do Ensino Médio, como vai ser tratada nos campos disciplinares, diz respeito a possibilidade de explorar os conteúdos referentes às disciplinas de Química, Física e Biologia, enquanto no Ensino Fundamental a preferência é nos livros de Ciências.

Em relação aos artigos científicos, o panorama é mais equilibrado. Constatamos que seis artigos científicos escolheram analisar os livros didáticos do Ensino Fundamental (A2, A3, A4, A6, A7 e A9), enquanto dez artigos selecionaram os livros didáticos do Ensino Médio (A5, A8, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18). Ainda observamos o caso das pesquisas que tiveram outro tipo de abordagem, como a adoção de obras de níveis de ensino variados a fim de investigar a promoção da alfabetização científica (A1), problemas sociocientíficos (A10) e analisar as pesquisas que estabelecem uma relação dos livros didáticos da área de Ciências com a abordagem CTS (A19).

2.3 CAMPO DISCIPLINAR

Partindo para os campos disciplinares, apuramos três dissertações que investigaram os LD de Ciências para os anos finais do Ensino Fundamental (D6, D2, D1); quatro dissertações para Física no Ensino Médio (D3, D7, D8, D9); uma dissertação para Física no Ensino Médio (D4); e duas para os LD de Química (D10, D11). Quanto às teses, como já mencionado anteriormente, apenas Viecheneski (2019) (T1) explorou as relações CTS nos LD do primeiro ciclo do Ensino Fundamental.

No tocante aos artigos científicos, apenas dois estudos se dedicaram aos LD de Ciências e Biologia (A11, A13); quatro aos LD de Física (A8, A2, A12, A14); dois aos LD de Química (A18, A5); um investigou os livros de Física, Química e Biologia (A10) e seis LD de Ciências (A7, A3, A4, A6, A9, A19).

Isso posto, assim como a pesquisa de Viecheneski, Silveira e Carletto (2018), constatamos o predomínio de estudos voltados à análise dos LD de Ciências, totalizando dez obras (1 tese, 3 dissertações e 6 artigos), seguido pelos LD de Biologia, com seis (4 dissertações e 2 artigos), os LD de Física contabilizam cinco análises (1 dissertações e 4 artigos), apenas quatro para os LD de Química (2 dissertações e 2 artigos) e, por fim, um único artigo contemplando os livros de Biologia, Física e Química.

Ainda que a abordagem CTS já seja um campo de pesquisa bem consolidado na área de ensino de ciências no Brasil, e as investigações em relação aos LD busquem aprimorar esse recurso desde o final do século passado, notamos, nesse recorte de dez anos, um quantitativo ainda escasso de trabalhos que unam esses objetos de pesquisa, especificamente, relacionado ao ensino de Química e a temática Radioatividade.

Para a Química, que foi ênfase nesta pesquisa, observamos que apenas dois eixos temáticos foram trabalhados em dissertações, sendo eles vidros e metais (D11) e estudo dos gases (D10). Esse panorama representa dois lados da mesma moeda, por um lado denuncia as lacunas nos estudos da abordagem CTS e LD, por outro abre um leque de possibilidades para realizar pesquisas que busquem aprimorar esse recurso. Isso porque ensinar Ciências por meio da abordagem CTS, “é uma forma de criar, através da ciência, consciência civil com responsabilidade social e política e, também, de proporcionar atitudes e ferramentas intelectuais necessárias para julgar, avaliar e decidir no campo do domínio técnico e científico” (SILVA, 2000, p. 173). Em outras palavras, o LD, ao tentar trazer pressupostos da abordagem CTS por meio de temas sociocientíficos, ajuda a mobilizar conceitos científicos em determinados contextos, visando proporcionar uma educação para a cidadania por meio do exercício de tomada de decisão e resolução de problemas. Ainda que a presença desses pressupostos nos LD não garanta a abordagem CTS, podem requerer do professor uma prática coerente com objetivos bem determinados para esta abordagem, se configurando como um esforço para promover novas práticas na realidade da sala de aula brasileira.

Nessa direção, de modo a integrar no campo de ensino de Ciências, mais especificamente da Química, delineamos o recorte em que se insere essa investigação: Aspectos da abordagem CTS na temática Radioatividade nos livros didáticos de Química do Ensino Médio aprovados no PNLD 2018. Em seguida, apresentaremos uma discussão dos referenciais teóricos que orientam esta pesquisa perpassando pela origem, abordagem e elementos do CTS, pela origem e características do Livro Didático de Química e seus recursos complementares e pelo histórico, aplicações e orientações educacionais da temática Radioatividade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo desse tópico foram discutidos os referenciais teóricos que constituíram a lente de análise para a construção dessa pesquisa. Nesse sentido, dirigimos nossa atenção para três grandes conjuntos, a saber: A abordagem CTS, os Livros Didáticos de Química e os Recursos Didáticos na abordagem CTS. Para cada caso, foi discutido ao longo do texto as especificidades que nos ajudassem a cumprir com nosso objetivo de pesquisa.

3.1 UM OLHAR SOBRE A CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE (CTS)

No presente capítulo exploramos aspectos pertinentes aos pressupostos teóricos da abordagem CTS na educação científica do Brasil. O primeiro olhar para situar as discussões é a apresentação de um breve histórico do Movimento CTS, descrevendo suas origens, vertentes e repercussões. Os fatos são conduzidos e enfatizados no campo educacional, contexto no qual se insere a presente pesquisa.

Num segundo momento, tratamos sobre o que caracterizam abordagens CTS, perpassando desde o contexto de se trabalhar temas transversais e sociocientíficos para mobilizar conhecimentos científicos, até a importância das compreensões acerca da natureza da Ciência, da Tecnologia e da Sociedade, bem como suas interações.

Por fim, são traçadas algumas considerações sobre os elementos da abordagem CTS, destacando os objetivos de um currículo CTS, como os conteúdos escolares são organizados nele, quais metodologias são possíveis nesse contexto, as categorias de ensino baseadas na relação entre conteúdo CTS e o conteúdo programático de Ciências.

3.1.1 Origens e Desdobramentos do Movimento CTS

O Movimento CTS nasce de um contexto pós-guerra, em meados do século XX, buscando uma tomada de consciência com relação a problemas ambientais, éticos e de qualidade de vida relacionados as contribuições da Ciência e da Tecnologia. Esse movimento surge como uma ideia que vai de encontro ao modelo linear que se tinha em relação ao desenvolvimento científico e tecnológico, com o aumento de riquezas e bem-estar, que foi dominante no século XIX (GARCÍA; LÓPEZ; LÚJAN, 1996; PORTO, 2019; VON LINSINGEN, 2004).

Duas obras marcaram o início do Movimento CTS: ‘Primavera Silenciosa’ (1962), da bióloga Rachel Carson e ‘A Estrutura das Revoluções Científicas’ (1962), do historiador e filósofo da Ciência Thomas Kuhn. Rachel Carson, em sua obra, ganha destaque por alertar o mundo sobre os efeitos nocivos do uso dos agrotóxicos, mobilizando movimentos de proteção ambiental, contando com ativistas sociais, grupos pacifistas, ecologistas e defensores de direitos civis, enquanto Kuhn “fomentou amplos debates sobre a epistemologia do empirismo lógico e os pensamentos popperianos e desencadeou reflexões sobre uma nova imagem da Ciência e uma nova maneira de fazer Filosofia da Ciência” (FIRME, 2007, p. 27), orientando uma mudança de paradigma em programas acadêmicos e na compreensão de Ciência. Assim, a década de 1960 foi um período marcado por transformações sociais, a partir da reflexão e reelaboração dos conhecimentos científicos e tecnológicos (BAZZO, 1998).

Emergentes do Movimento CTS, cresceram o interesse e o número de estudos sobre as consequências do uso da Tecnologia e sobre os aspectos éticos do trabalho dos cientistas, pois até então a Ciência era vista como uma atividade neutra, de domínio exclusivo dos especialistas que trabalhavam de forma desinteressada na busca do conhecimento, cujas consequências e usos não adequados desse conhecimento não eram considerados como suas responsabilidades (BAZZO, 1998).

Essa revolução de ideias, por ter acontecido em várias partes do mundo, García, López e Lújan (1996) classificam duas tradições para o movimento CTS, uma denominada tradição americana ou social, e a segunda denominada de tradição europeia ou acadêmica. Apesar dessas tradições marcarem o início desse pensamento do impacto social dos aspectos científicos e tecnológicos, Strieder (2012, p. 14) destaca que “cada país tem sua própria história, associada, principalmente, à sua realidade social, fazendo com que as relações entre a Ciência e a Sociedade assumam diferentes características”. Portanto, se faz necessária uma menção ao Pensamento Latino Americano em CTS – PLACTS.

A tradição europeia possui origem nas universidades, e é caracterizada pela ênfase nos fatores sociais antecedentes ao desenvolvimento científico e tecnológico, buscando descrever aspectos sociais, culturais, políticos, epistêmicos e econômicos influenciam e legitimam este desenvolvimento (KOEPSEL, 2003). Portanto, assume a Ciência como processo, possuindo caráter teórico descritivo e se torna marco explicativo das ciências sociais (BAZZO, 1998).

A tradição americana, também denominada de social, centrou-se em uma reação de caráter mais prático, apesar de também ser marcada pelo caráter acadêmico e administrativo. Como movimento social, que ocorreu nos Estados Unidos, pacifistas, ativistas dos direitos humanos e outras associações que tinham relação com reivindicações sociais, se preocuparam

com suas consequências sociais e ambientais dos produtos tecnológicos. O caráter prático dessa tradição implicou numa reflexão educativa e ética e possibilitou a construção de bases educativas que promovessem a participação social. Em síntese, essa tradição deu ênfase nas consequências sociais, no impacto da tecnologia, possui alto caráter prático e valorativo que suscitou em reflexões éticas e de práticas educativas.

Mesmo originadas em domínios diferentes, que implicaram em caminhos, quanto aos estudos CTS, que satisfizessem as características desses países, Bazzo (1998) observa que ambas buscam superar os postulados absolutos do positivismo lógico que incluíam a neutralidade e a autonomia da Ciência como único conhecimento verdadeiro. Logo, uma das maiores contribuições do Movimento CTS consiste no entendimento de que a Ciência e a Tecnologia são empreendimentos humanos, portanto, influenciam e são influenciados nas suas inter-relações.

O Pensamento Latino Americano de Ciência, Tecnologia e Sociedade (PLACTS), além de adotar os objetivos do movimento CTS estipulados pelas vertentes mencionadas, caracteriza-se por considerar as necessidades regionais, ou seja, o Pensamento Latino-americano entende que modelos prontos vindos de países de 1º mundo não satisfaçam as realidades de países emergentes e com realidades plurais, como o Brasil que pode ser considerado um país continental pela sua vasta extensão territorial. Dessa forma, os fundadores do PLACTS buscam influenciar os rumos da Ciência e Tecnologia por meio da política, buscando desenvolver uma cultura de participação para mudanças sociais (BEZERRA, 2018; STRIEDER, 2012).

Desde as suas origens, há três direções que o CTS assume: pesquisa, políticas públicas e educação. No campo das pesquisas traz como alternativa reflexões acadêmicas para uma visão não essencialista e socialmente contextualizada da Ciência. No campo das políticas públicas, visa promover a criação de mecanismos democráticos facilitadores da abertura de processos de tomada de decisão sobre questões de políticas científico-tecnológicas. Por fim, no campo da educação busca introduzir novos programas e disciplinas CTS na Educação Básica e Ensino Superior (VON LINSINGEN, 2004).

Apesar do Movimento CTS não ter sua origem no contexto escolar, trouxe diversas reflexões para essa área (PINHEIRO, 2005), desencadeando inovações educativas, novos direcionamentos para os conteúdos curriculares, para metodologias de ensino e para os objetivos educacionais. Nessa direção, diversos projetos educativos foram elaborados em muitos países, dentre eles estão: o projeto *Science and Technology in Society* (SATIS) na Inglaterra; o projeto *Chemistry in the Community* (ChemCom) nos Estados Unidos; e o

projeto *Aprendizaje de los Productos Químicos, sus Usos y Aplicaciones* (APQUA) na Espanha (ACEVEDO; ACEVEDO DIÁZ, 2002).

No Brasil, o movimento CTS é marcado por uma realidade de pós-ditadura e redemocratização. Nesse mesmo período, por volta das décadas de 1970 e 1980, são realizados os primeiros eventos da área de ensino de Ciências, como o Simpósio Nacional de Ensino de Física, o que contribuiu para os primeiros esforços para uma mudança no currículo nacional de ciências, abandonando uma compreensão desta como produto do contexto econômico, político e social, para focar nas implicações sociais do desenvolvimento científico e tecnológico (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Ainda assim, a produção de pesquisas, projetos e materiais didáticos denominados CTS no ensino de Ciências começam a surgir no final da década de 1990 (SANTOS et al., 2019), e seus resultados começam a ser observados, com mais intensidade, para uma sofisticação e aprimoramento desses materiais, cerca de 20 anos à frente (STRIEDER, 2012).

Desde então, temos o livro didático de Química, dentre outros materiais didáticos, que vem seguindo uma proposta pedagógica que incorpore aspectos da abordagem CTS com o objetivo de “fornecer conhecimentos relevantes que possam servir de ferramenta cultural para o jovem participar ativamente da sociedade moderna, caracterizada, sobretudo, pela presença da Ciência e da Tecnologia, [...]” (SANTOS; MÓL, 2006, p. 7), bem como os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) e, mais recentemente, a Base Nacional Comum Curricular que propõem um ensino de Química que possibilite ao estudante uma compreensão dos processos químicos e de suas relações com aspectos tecnológicos, ambientais, sociais, políticos e econômicos (BRASIL, 1999; 2017).

Contudo, é importante reforçar que a educação CTS surge de um movimento mais amplo, por isso entender as abordagens propostas nos currículos CTS é fundamental, de modo a ser possível entender quais os objetivos estão sendo vislumbrados com essas práticas. Se pensarmos nos fenômenos radioativos, por exemplo, observa-se múltiplas dimensões que atravessam as dimensões científicas, políticas, ambientais que precisam ser encaradas.

3.1.2 A Abordagem CTS

As abordagens CTS são reconhecidas pela mobilização de conhecimentos científicos, tecnológicos, sociais e temas transversais que podem surgir nas discussões como as questões ambientais, éticas, políticas e históricas, entre outras (SANTOS; MORTIMER, 2002). Por exemplo, os conceitos de decaimento nuclear, radiação alfa, beta e gama, tempo de meia-vida,

propriedades nucleares do átomo, quando trabalhados numa abordagem CTS, implicariam em situar esses conceitos em discussões sobre evolução histórica dos modelos atômicos, aplicações na indústria, na medicina, na produção de energia, bem como perpassar por questões sociais, políticas, éticas e econômicas envolvidas, ofertando reflexões sobre os benefícios e malefícios do uso das tecnologias associadas aos fenômenos radioativos.

No currículo CTS, para além das compreensões acerca da natureza da Ciência, da Tecnologia e da Sociedade, se faz necessário pensar sobre interações entre estes três domínios, ou seja, como a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade influenciam e são influenciadas ao tratar de um tema sociocientífico (FIRME, 2012).

Se partirmos das possíveis visões sobre a produção de Ciência, temos como marco, dentre outras epistemologias, o indutivismo, refutacionismo e o contextualismo. O primeiro sustenta a visão de Ciência a partir de observações, que servirão para o levantamento de dados. Esse tratamento lógico-matemático levava à sistematização das teorias científicas, validadas pelo método científico. Na mesma direção Popper, no refutacionismo, reconhece esse mesmo processo, porém, o papel da teoria deve ser anterior à observação, de modo a refutá-la ou ratificá-la. Em uma outra direção, o contextualismo proposto por Kuhn considerava o papel das influências filosóficas, religiosas e políticas na criação e aceitação das teorias científicas (KNELLER, 1980).

A crença no progresso humano como resultado do progresso científico, apesar de tradicional, ainda é marcante na realidade das sociedades ocidentais (FIRME, 2012). Apesar disso, os esforços atuais ao se discutir Ciência na sala de aula é para compreendê-la como atividade humana. Portanto, esse entendimento reforça que a Ciência não é uma atividade neutra, com método científico rígido e realizada somente por especialistas, mas estimula uma formação para a cidadania a partir do processo de tomada de decisão (SANTOS, 2006).

Da mesma forma, Solomon (1988) enfatiza que o currículo CTS explicita o caráter provisório e incerto das teorias científicas e não apresente a ciência como algo verdadeiro e acabado, para possibilitar que os estudantes avaliem suas aplicações considerando a coexistência de duas ou mais alternativas controversas para resolver um determinado problema. Como dizem Santos e Mortimer (2002, p. 7), “os conteúdos dos currículos CTS apresentam uma abordagem de Ciência em sua dimensão ampla em que são discutidos muitos outros aspectos além da natureza da investigação científica e do significado dos conceitos científicos”, dentre tais aspectos, apontamos os filosóficos, sociológicos, históricos, políticos, econômicos e humanísticos.

Seguindo com outro ponto de interesse do currículo CTS, trataremos sobre as concepções de Tecnologia. Strieder (2012) ao traçar as concepções de tecnologias a partir da história de desenvolvimento da humanidade, aponta que pela compreensão generalizada da tecnologia sendo aplicação da Ciência, ela não foi foco das discussões etimológicas e filosóficas até meados do século XX, aproximadamente três séculos de início das discussões sobre a natureza do conhecimento científico.

Diversas são as definições sobre Tecnologia, podendo ser compreendida enquanto “estudo da técnica, relacionada à ciência, artefato, instrumento, organização de ações, sistema de relações e sistema sociotécnico” (STRIEDER, 2012, p. 111). Legitimando as concepções plurais acerca da Tecnologia, Firme (2012, p. 32), por meio de um olhar histórico, “sinaliza que a tecnologia é algo essencialmente prático relacionado mais com as alterações existentes no mundo do que com a sua compreensão, o que pode ser comprovado pelas significativas mudanças culturais promovidas pelos avanços tecnológicos”.

De modo complementar, Santos e Schnetzler (2015) entendem a tecnologia dentro dos aspectos técnico, organizacional e cultural. O primeiro –aspecto técnico-, refere-se a conhecimentos habilidades e técnicas, além de instrumentos, ferramentas, máquinas, matérias-primas, dejetos e resíduos. O segundo –aspecto organizacional-, comporta a atividade profissional dos engenheiros, técnicos, operários, além do envolvimento de usuários, consumidores e atuação de sindicatos, portanto, compreende a dimensão econômica e industrial. O último aspecto –aspecto cultural-, relaciona-se com sistema de valores, códigos éticos, crenças sobre o progresso, consciência e criatividade.

A partir do que foi colocado, é possível compreender que a Tecnologia muda o mundo a partir da ação do homem. Essa mudança interfere no ambiente natural e possui dois polos ao pensarmos sobre os benefícios e malefícios. Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) afirmam que a Tecnologia modificou a forma de ser, perceber, produzir e viver em sociedade. Por um lado, temos os benefícios do desenvolvimento tecnológico no campo da indústria, medicina, meios de comunicação, por outro temos a luta pela preservação do meio ambiente pelo nível de poluição emitido pelo meio de viver das sociedades contemporâneas. A importância da reflexão nesse momento é fundamental, pois podemos pensar, por exemplo, no carro enquanto um meio de transporte facilitador das atividades cotidianas, por outro como um dos grandes poluentes da camada de ozônio com a emissão de dióxido de carbono.

Ainda que ao associar Ciência e Tecnologia possa remeter à aspectos tradicionais, a relação das duas existe na abordagem CTS. Segundo Martins (2003), a Ciência e a Tecnologia são domínios distintos que se influenciam mutuamente na forma como consolidam saberes

que lhes são próprios. A Tecnologia não é redutível à Ciência, o fato de que os conhecimentos científicos sugerem, muitas vezes, novos direcionamentos para os processos tecnológicos não significa que tais processos são derivados exclusivamente do conhecimento científico. Entretanto, a construção de uma Tecnologia implica considerações sociais, econômicas e culturais que vão muito além de apenas uma aplicação das Ciências (FOUREZ, 2003).

De modo a afastar a concepção da Tecnologia como aplicação dos conhecimentos científicos, Solomon (1988) propõe que a tecnologia seja tratada no currículo CTS como a aplicação de diferentes formas de conhecimento para atender necessidades da sociedade, inclusive aplicação do conhecimento científico. No conjunto, todos estes aspectos justificam a necessidade de um maior conhecimento da natureza da Tecnologia e de seu funcionamento na sociedade e de uma avaliação social das aplicações tecnológicas (FIRME, 2012).

A terceira dimensão que compõe o currículo CTS é a concepção de Sociedade. Da mesma forma que as dimensões de Ciência e Tecnologia, a Sociedade possui diversas linhas de pensamentos que a definem a partir de diferentes lentes. Strieder (2012), em suas análises, faz um recorte de cinco pensadores que ela entende como importante ao estabelecer o papel da sociedade ao refletir sobre o papel da Ciência e da Tecnologia.

Segundo Strieder (2012), todos os autores selecionados de alguma forma manifestam aspectos que a sociedade deve superar relativos às crenças limitantes de aspectos científicos e tecnológicos. Resumidamente, ela relata que: para (i) Japiassu e (ii) Moraes “é preciso levar a população a refletir sobre os desafios reais das novas Tecnologias, e, com isso, refletir sobre a Ciência, levando-a a não confiar cegamente nas promessas positivistas” (p. 120); para (iii) Beck, a sociedade atual precisa reinventar o papel da Ciência e da Política, pois a sociedade, ao não reconhecer e nem saber lidar com os riscos, irá desmoronar no decorrer do seu próprio sucesso; para (iv) Santos devemos buscar um paradigma social, que tenha por base explicações sociológicas e não avaliações cognitivas; por fim, para (v) Morin, se faz necessário superar a lógica da separação, hierarquização e centralização dos conhecimentos.

Ao trazer a natureza da dimensão da sociedade para o contexto do currículo CTS, Solomon (1988) sustenta que é preciso explicitar aos estudantes o poder que a sociedade pode ter nos debates e decisões sobre projetos científicos e tecnológicos propostos pelos especialistas, ou seja, ao trabalhar numa abordagem CTS se faz necessário enfatizar o poder de influência da sociedade no que diz respeito às dimensões científicas e tecnológicas.

Ao sistematizar as ideias de Solomon (1998) sobre concepções de Ciência, Tecnologia e Sociedade esperadas em currículo CTS, é possível abreviar suas inter-relações ao considerar que Ciência gera conhecimentos sob a condição de interesses diversos do contexto

sociocultural articulando-se com a Tecnologia, que por sua vez agrega, além dos conhecimentos científicos, conhecimentos de outras naturezas na produção de bens materiais que satisfaçam as necessidades humanas, ainda que muitas vezes não sejam necessidades reais da maioria dos indivíduos de grupos sociais específicos. É nesse movimento que Firme (2012) declara que se constitui uma cultura compartilhada pela maioria das modernas estruturas sociais organizadas, a cultura científico-tecnológica.

Em síntese, as concepções mobilizadas neste tópico estão apresentadas no Quadro 3:

Quadro 3 – Concepções de ciência, tecnologia e sociedade em currículos CTS

Componentes CTS	Concepções esperadas
Ciência	Inserida no contexto sociocultural gera conhecimentos condicionados por interesses diversos.
Tecnologia	Uso de conhecimentos, científicos ou não, para satisfazer as necessidades humanas.
Sociedade	Sistema estruturado de relações sociais que compartilha uma cultura científica e tecnológica.
Interações CTS	A Ciência e a Tecnologia como domínios distintos que se influenciam mutuamente na construção dos conhecimentos, tanto promovem modificações na forma de vida da Sociedade como sofrem influências da Sociedade: seja por meio de políticas públicas que lhe outorgue este direito, seja pelos investimentos condicionados por interesses específicos.

Fonte: Firme (2007)

Observando o Quadro 3, as interações Ciência-Tecnologia-Sociedade estão tão difusas que se torna difícil identificarmos estruturas sociais – no contexto das sociedades modernas – que não compartilham, mesmo que minimamente, das influências de uma cultura científico-tecnológica. A articulação das interações Ciência-Tecnologia-Sociedade no contexto escolar implica desafios para os professores, relativos aos objetivos pedagógicos propostos, à organização dos conteúdos e às metodologias de ensino empreendidas. Nessa direção, é preciso apreender os elementos do currículo CTS em maiores detalhes.

3.1.3 Elementos e Aspectos da Abordagem CTS

O currículo CTS dispõe de diversos objetivos. Firme (2012) reforça o papel da promoção de uma alfabetização científica e tecnológica dos indivíduos. A proposição da alfabetização científica e tecnológica como objetivo central do currículo CTS é justificada por

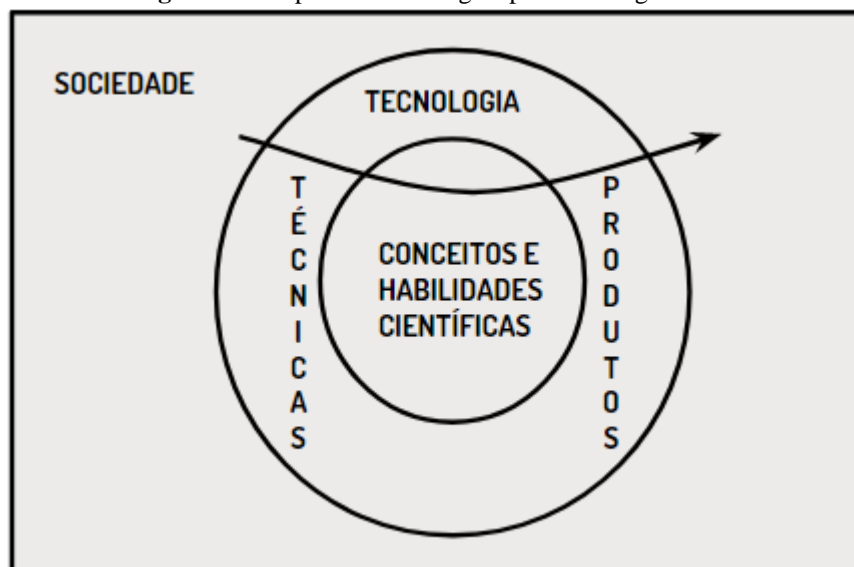
diferentes argumentos, quais sejam: os cidadãos de uma sociedade transformada pela Ciência e Tecnologia precisam manejar conhecimentos científicos e tecnológicos que respondam às necessidades profissionais, utilitárias, democráticas, operativas etc. (OSÓRIO, 2002) e os cidadãos precisam construir conhecimentos, habilidades e valores necessários à tomada de decisões sobre questões da Ciência e Tecnologia na Sociedade e atuar na solução de tais questões (MANASSERO; VÁZQUEZ; ACEVEDO DÍAZ, 2001; SANTOS; MORTIMER, 2002)

A tentativa de renovação do ensino de Ciências se baseou em três razões: i) razões econômicas e políticas, uma vez que a instrução da população está vinculada ao aumento de riquezas e ao bem-estar de uma nação; ii) razões sociais, ao se admitir que sem uma cultura científica e tecnológica os sistemas democráticos tornam-se mais vulneráveis à tecnocracia; e iii) razões humanistas, ao considerar que cada ser humano possa tomar parte de uma cultura científico-tecnológica (FOUREZ, 1994).

Nessa direção, um cidadão alfabetizado científica e tecnologicamente é capaz de, por exemplo, utilizar conceitos científicos, integrar valores e tomar decisões, compreender que a sociedade exerce e sofre influências do desenvolvimento científico e tecnológico, reconhecer que o conhecimento científico é provisório e sujeito a mudanças, e conhecer fontes válidas de informação científica e tecnológica recorrendo a elas diante de situações de tomada de decisão (FOUREZ, 1994). Segundo Bazzo (1998), o que se pretende com a Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) é promover uma compreensão dos mecanismos internos e externos da Ciência e da Tecnologia, situando-as como processos sociais, evitando a continuidade de um internalismo tecnicista.

Pretender a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes no ensino de Ciências implica uma organização diferenciada dos conteúdos trabalhados em sala de aula. Nessa direção, é preciso apreender como os conteúdos escolares são organizados no Currículo CTS e quais as metodologias mais adequadas. Sobre a organização dos conteúdos no currículo CTS, uma proposta é apresentada por Aikenhead (1990), na Figura 1.

Figura 1 – Proposta metodológica para abordagem CTS



Fonte: Aikenhead (1990)

Na proposta metodológica para abordagem CTS de Aikenhead, a seta indica a sequência da mobilização desses conteúdos a partir da escolha de um tema sociocientífico, sistematizado da seguinte maneira: i) uma questão social é introduzida; ii) uma tecnologia relacionada ao tema social é analisada; iii) o conteúdo científico é definido em função do tema social e da tecnologia introduzida; iv) a tecnologia correlata é estudada em função do conteúdo apresentado; v) a questão social original é novamente discutida.

Sobre as metodologias de ensino no currículo CTS, alguns autores propõem uma diversidade de atividades. Acevedo Díaz (1996), por exemplo, propõe que técnicas e estratégias de ensino devem ir além do que se faz habitualmente no ensino de Ciências: aulas ministradas pelo professor, atividades experimentais e resolução de problemas e/ou exercícios pouco problemáticos. Para este autor, no currículo CTS devem ser utilizadas metodologias de ensino que impliquem a participação e o engajamento dos estudantes, como por exemplo: resolução de problemas abertos que incluam uma democrática tomada de decisão, elaboração de projetos em pequenos grupos cooperativos, realização de trabalhos de campo, jogos de simulação, participação em fóruns e debates, presença de especialista nas aulas; visitações a fábricas, empresas, exposições, museus científicos, complexos de interesse científico e tecnológico, parques tecnológicos, etc., implicação e atuação de ações civis na comunidade escolar ou naquela na qual o estudante está inserido (ACEVEDO DÍAZ, 1996)

Percebemos que a proposta de Acevedo Díaz (1996) aponta para metodologias de ensino que exigem uma associação de diversos aspectos: científico, tecnológico, ético,

cultural, social, dentre outros. Por exemplo: as aulas sobre Radioatividade numa abordagem CTS poderiam seguir, além daquelas propostas por Acevedo Díaz (1996), diversas estratégias de ensino: entrevistas com a comunidade sobre aplicações da Radioatividade no cotidiano, se apoiam ou não o uso da energia nuclear no contexto do Brasil, o entendimento deles sobre as informações em rótulos de alimentos irradiados, pesquisas na internet sobre os problemas sociais e ambientais decorrentes de fenômenos radioativos e suas causas e efeitos, simpósios para socialização das pesquisas e entrevistas, apresentação de vídeos, e a proposição de material informativo sobre o tema para a comunidade escolar. Toda essa diversidade metodológica se constitui como um conjunto de elementos que se complementam visando concretizar objetivos propostos para o currículo CTS (BEZERRA, 2018; FIRME, 2007).

Ainda que fundamental, temos ciência dos obstáculos formativos para o desenvolvimento de práticas pedagógicas nesse modelo, além dos objetivos relativos às reformas educacionais que vêm acontecendo. Nesse sentido, o professor que tiver interesse em desenvolver suas aulas de Química norteado por uma abordagem CTS encontra dificuldades de implementá-las, entre outras coisas, pela redução de carga horária que passa a estipular uma aula semanal de Química por semana, reflexo do Novo Ensino Médio.

Entretanto, segundo Santos e Mortimer (2002), nem todas as propostas de ensino denominadas CTS estão centradas nas inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Segundo estes autores, algumas propostas tratam dessas inter-relações mais superficialmente, outras as incorporam de forma mais sistemática nos conteúdos programáticos tradicionais, além daquelas que abordam essas inter-relações como foco central de ensino.

Com base na relação entre conteúdo CTS, aquele que contempla aspectos científicos, tecnológicos e sociais, e o conteúdo específico de Ciências, Aikenhead (1994) apresenta uma proposta de categorias de ensino CTS, conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Categorias de ensino CTS

Categorias	Descrição
1. Conteúdo CTS como elemento de motivação	Ensino tradicional de ciências com menção ao conteúdo CTS
2. Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático	Ensino tradicional de ciências com a incorporação do conteúdo CTS como apêndices aos tópicos de ciências
3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático	Ensino tradicional de ciências com pequenos estudos CTS integrados aos tópicos de ciências com o objetivo de explorar sistematicamente o conteúdo CTS
4. Disciplina científica (Química, Física, Biologia) por meio de conteúdo CTS	Os temas CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências, mas a seleção dos conteúdos científicos é feita a partir de uma disciplina
5. Ciência por meio de conteúdo CTS	O conteúdo CTS organiza o conteúdo e sua sequência

	dos conteúdos científicos
6. Ciência com conteúdo CTS	O conteúdo CTS é o foco de ensino e o conteúdo de ciências enriquece a aprendizagem
7. Incorporação das ciências ao conteúdo CTS	O conteúdo CTS é o foco de ensino e o conteúdo de ciências é mencionado, mas, não ensinado sistematicamente
8. Conteúdo CTS	Estudo de uma questão tecnológica ou social, e o conteúdo científico é utilizado para indicar a vinculação com as ciências

Fonte: Aikenhead (1994)

Por tomada de decisão entendemos a escolha racional entre meios alternativos de ação, o que envolve, dentre outros aspectos, uma avaliação das vantagens e desvantagens das alternativas propostas (KORTLAND, 1996). Portanto, uma das possibilidades de envolvimento dos estudantes em processos de tomada de decisão é incorporar às discussões e ações em sala de aula temas sociais vinculados aos conceitos científicos a serem estudados.

A inserção de temas sociocientíficos é uma das alternativas de mobilizar abordagens CTS que promovam a tomada de decisão, por meio de práticas de sala de aula estruturadas com esse objetivo (SANTOS; MORTIMER, 2002). Os próprios PCN já sugeriam diversos temas, a fim de trabalhar conteúdos curriculares a partir de sequências de aulas, como: lixo, poluição, agricultura, agrotóxicos, transgênicos, estética, anabolizantes, energia, petróleo, água, saneamento, alimentos, saúde, plásticos, metais, Radioatividade dentre outros. (BRASIL, 1999).

Nesse sentido, diferentes temas podem ser tratados no ensino de Química segundo abordagem CTS, dentre eles, optamos pela temática Radioatividade. Nessa pesquisa alguns aspectos discutidos sobre a abordagem CTS serão tomados como categorias de análise da temática Radioatividade nos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2018.

3.2 ATRAVESSANDO A HISTÓRIA: BREVE TRAJETÓRIA DOS LIVROS DIDÁTICOS

Os livros didáticos são recursos pedagógicos que existem desde antes da invenção da imprensa no século XV, sendo considerado como essencial para se compreender o próprio desenvolvimento educacional das escolas. Adotaremos a concepção de Echeverría, Melo e Gauche (2019) do LD ser um recurso que apresenta “uma proposta pedagógica dos conteúdos selecionados no vasto campo do conhecimento em que se insere a área do saber” (p. 240), além de ser fortemente influenciado por “mudanças políticas, econômicas, sociais e culturais vivenciadas” em cada época (FERNANDES; PIRES; DELGADO-IGLESIAS, 2018).

No Brasil, os primeiros manuais de alfabetização foram ‘O expositor português’, de autoria de Luiz Francisco Midosi, em 1846, e a ‘Cartilha Maternal’, publicada pelo poeta João de Deus, em 1876, sendo destaques como percussores do que viriam a se tornar os manuais didáticos. Esses artefatos didáticos vieram de Portugal, em uma estrutura bem mais humilde, para os povos colonizados em relação à República Portuguesa da época (MORTATTI, 2000; 2006; SCHEFFER; ARAÚJO; ARAÚJO; 2013).

A utilização dessas cartilhas também ocorreu pela proibição da venda de livros nacionais até o século XIX, realidade que mudou em 1889 com a proclamação da República, na qual a educação formal vigorou como essencial a formação institucionalizada das gerações posteriores, cumprindo com os ideais do novo Estado republicano (MORTATTI, 2000; 2006; SCHEFFER; ARAÚJO; ARAÚJO; 2013). Neste período, muitos professores brasileiros confeccionavam seu próprio material devido ao alto custo das cartilhas.

Desde 1985, o Ministério da Educação dispõe do Programa Nacional do Livro e do Material Didático que possui como objetivo “avaliar e disponibilizar obras didáticas, pedagógicas e literárias, entre outros materiais de apoio à prática educativa, de forma sistemática, regular e gratuita, às escolas públicas” (BRASIL, 2018a), contemplando à acessibilidade e disposição desses materiais pedagógicos que apoiam a prática docente.

Outrora, o PNLD foi designado de outras formas, inclusive limitado em suas funções, Soares e Souza (2011) demarcam a trajetória desse programa nacional com início em 1929, com a criação do Instituto Nacional do Livro (INL) que tinha por objetivo o incentivo e a produção do LD, seguido da criação da Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD), por meio da Lei nº 1.006, de 30/12/1938, sendo a primeira política de legislação, controle e produção dessas obras.

No período entre 1945 até 1976, o Estado consolida a legislação sobre as condições de produção, importação e utilização do LD, atribuindo ao professor a escolha do livro a ser utilizado pelos estudantes. A produção do LD passa de ser uma parceria do Ministério da Educação (MEC) com a *United States Agency for International Development (USAID)* a ser estimulada a produção nacional com recursos do INL, que também passa a desenvolver o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Fundamental (PLIDEF). E, pelo Decreto nº 77.107, de 04/02/1976, o governo assume a compra de grande parte dos livros para distribuí-los a uma parcela das escolas.

Os eventos seguintes contam com a extinção do INL e a criação da Fundação Nacional do Material Escolar (FENAME), que passa a assumir suas funções, sustentada pelos recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). Já em 1983,

substituiu-se a FENAME pela Fundação de Assistência ao Estudante, que passa a incorporar o PLIDEF. Com a ampliação do programa e a inclusão de todas as séries que comportam o Ensino Fundamental, o PNLD surge pelo Decreto nº 91.542, de 19 de agosto de 1985, em substituição ao PLIDEF.

É perceptível que as mudanças no programa de avaliação e distribuição dos LD é movida, principalmente, pelas ações do governo quanto às propostas educacionais. Assim, mais de trinta anos após a consolidação do PNLD no formato atual, ainda ocorrem ajustes para atender uma maior parcela da população. Como exemplo, têm-se a distribuição de: dicionários de língua portuguesa para o Ensino Fundamental (do 2º ao 9º ano), livros didáticos em Braille para alunos com deficiência visual e dicionários trilíngues para alunos (do 2º ao 5º ano) com deficiência auditiva, que utilizam a Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS).

Para além do tempo de existência, o LD é um recurso que Choppin (2004) declara como sendo universal, isto porque se encontra presente nas mais diversas culturas. Esse amplo alcance fez com que o LD se tornasse um rico instrumento de pesquisa, visto suas múltiplas funções, coexistência com diversos outros materiais, os quais complementam ou substituem o LD dependendo das metodologias utilizadas pelos professores e os diversos agentes envolvidos no processo de construção, divulgação e aplicação.

Decorrente dessa evolução, quanto às produções didáticas nacionais, houve uma ascensão de pesquisas sobre o LD desde a década de 1970 indicando deficiências e limitações, implicando em um movimento político quanto à parâmetros avaliativos dos LD (CHOPPIN, 2004; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). Portanto, é de suma importância o estudo dos LD, visto que ainda são, na maioria das salas de aula, o principal instrumento de trabalho do professor.

A relevância do LD é indubitável. Entretanto, Echeverría, Mello e Gauche (2008; 2010; 2019) relatam que o papel do LD é, em última instância, responsabilidade do professor que o adere. Assim, professores leigos, algumas vezes, não sabem o porquê de se ensinar determinado conteúdo presente no LD, professores novatos, ou que estejam atuando em uma área que não é congruente com sua formação, utilizam o LD como recurso que o deixa com falso senso de segurança, e mesmo os professores que atuam na sua área de especialização, recorrentemente, não aprendem a analisar esse instrumento ao longo da formação inicial.

Nas escolas públicas a escolha do LD que será utilizado pelos três anos subsequentes é, mais uma vez, responsabilidade do educador. A seleção desse manual didático deveria ser à luz da prática do docente para uma realidade específica. Entretanto, Echeverría, Mello e

Gauche (2019) apontam as mais diferentes razões para essa decisão, que vão desde o design do LD, fatores de mercado e influência da propaganda associada às editoras responsáveis até a indicação de algum colega. Os mesmos autores ressaltam a necessidade de uma apuração detalhada dos conteúdos e da vivência dos alunos para uma coerência desta decisão.

Nas escolas públicas, o Programa Nacional do Livro Didático distribui um guia do livro. Esta ação teve início em 1995 para todas as obras aprovadas pelo MEC de modo a facilitar o acesso para os principais objetivos dos LD dispostos naquela edição e se tornou uma grande contribuição para os professores que, muitas vezes, não têm tempo para realizar esse tipo de exercício.

O Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), implantando em 2004, pela Resolução nº 38 do FNDE, visa “a universalização de livros didáticos para os alunos do Ensino Médio público de todo país” (BRASIL, 2018, p. 1). Este programa propõe diversos critérios de avaliação dos LD contendo aspectos conceituais, metodológicos, epistemológicos e de cidadania. Esse seria outro parâmetro que auxiliaria a escolha do LD pelo educador. Vale destacar que Echeverría, Mello e Gauche (2010) entendem que o auxílio efetivo desses critérios para o professor seria incorporar essas discussões na formação inicial e continuada dos profissionais da educação.

Além da escolha do LD, a utilização desse recurso é muito discutida na literatura. Diversos LD estão estruturados apresentando sequências rígidas de informações e atividades, que se utilizados como única fonte bibliográfica para o docente, caracterizam aulas que visam a memorização (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011). Isto porque há a dificuldade de os professores sempre desenvolverem materiais inéditos, tendo em vista a sobrecarga de jornada diária de trabalho. Logo, é necessário tempo para que os professores possam acessar informações e materiais didáticos para uso nas aulas (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). Por outro lado, o uso de um material pronto, sem uma efetiva reflexão para adaptação a fim de se cumprir com os objetivos de aprendizagem propostos para as aulas pode ser característica de um docente que não está habituado a refletir sobre sua prática (FREITAG; MOTTA; COSTA, 1987).

Para além das considerações gerais acerca da história do Livro Didático, no tópico seguinte daremos ênfase ao Livro Didático de Química, que assim como os demais apresenta características específicas em diferentes épocas relacionadas às reformas de ensino que ocorreram ao longo da história da educação brasileira, e também pelos os hiatos e melhorias que essas obras passaram em relação ao desenvolvimento dos conhecimentos Químicos.

3.2.1 Os Livros Didáticos de Química (LDQ)

Com a criação do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, por meio da Resolução nº 38 do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação em 2004, previa-se a distribuição de LD para os estudantes do Ensino Médio público de todo o país e, dessa forma, promover a melhoria da qualidade do processo ensino-aprendizagem (ECHEVERRÍA; MELLO; GAUCHE, 2008). Foi por meio desse programa que em 2008 foram distribuídos os primeiros livros de História e de Química, bem como impôs-se um padrão mínimo de qualidade dessas obras ao estar veiculado em pautas governamentais.

Antes desse marco legal na história dos LDQ no Brasil, alguns trabalhos ganham destaque em análises histórico-pedagógicas dessas obras, que constituíram uma breve linha do tempo sobre as influências políticas (reformas de ensino), produção do conhecimento na área de Química e fatores mercadológicos (mercado editorial brasileiro) que influenciaram os LDQ. O trabalho de Schnetzler (1981) faz um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em LDQ do Ensino Médio no período de 1875-1978, seguido de Mortimer (1988) que discute a evolução dessas obras em um período entre 1930-1980 e, mais recente, Marcondes e Silva (2022) estende ao período entre 1980-2020.

O estudo de Schnetzler (1981) buscou verificar se o tratamento dado ao conhecimento químico nos Livros Didáticos do Ensino Médio, no período de 1875-1978, tem se caracterizado pela presença/ausência de experimentação, da relação com a vida cotidiana e pela ênfase na memorização, possibilitando uma reflexão sobre algumas tendências do ensino de Química. Dessa forma, a autora escolhe analisar os capítulos referentes ao conteúdo de reações químicas, por entender seu papel central no campo de estudo da Química, em vinte e oito (28) LD utilizados outrora nas cidades de São Paulo e Campinas e divide essas obras em cinco intervalos: 1875-1930, 1931-1941, 1942-1960, 1961-1970, 1971-1978.

Alguns resultados observados nesse estudo foram a ênfase dada a ocorrência de aprendizagem significativa do conhecimento químico no primeiro período (1875-1930), havendo um decréscimo gradativo desse parâmetro nos livros mais modernos; enquanto que a presença de atividades experimentais e da relação do conhecimento químico com a vida cotidiana foi observada em maior grau nos livros do segundo período (1931-1941). Porém, Schnetzler (1981) conclui que todas as obras apresentam características do ensino tradicional, na medida em que desconsideram a natureza experimental da Química, negligenciando seu caráter investigativo, sua aplicação na sociedade e seu potencial para o desenvolvimento do pensamento crítico.

Na mesma linha, Mortimer (1988) investigou as características gerais que determinados períodos imprimiram nos LDQ. A periodização feita das obras, são: até 1931 (marcado pela ausência de um sistema de ensino bem estruturado), 1943-1960 (marcado pela Reforma Francisco Campos), 1961-1970 (marcado pela LDB/61), e 1970-1987 (marcado pela vigência da Lei 5.962 de 1971).

Para o primeiro período analisado, delimitado antes de 1930, foram analisados onze (11) livros e observadas algumas características, como: parcela pequena de Química Geral, junto com outra extensa de Química Descritiva; a introdução com exemplos de determinados fenômenos que conduzirão ao conceito; a ausência de exercícios, visto como ofício do professor; escassez de ilustrações e ausência de sugestões de atividades experimentais. Mortimer (1988) considera essas obras as que melhor explicam os conceitos químicos, tendência que vai sendo abandonada com o passar dos anos.

O segundo período investigado começa em 1931, com a Reforma Francisco Campos, e encerra-se em 1961, com a nova LDB marcado por uma crescente homogeneização dos conteúdos dos LD, espelho dos programas em vigor da época (TOQUETTO, 2016). Por influência dessa reforma Mortimer (1988) constatou que: os conteúdos se apresentam com seriação, deixando de ser um compêndio de Química Geral; introduziu-se esboços da história da Química; também começou a ser incorporados exercícios e questionários ao final dos capítulos.

O terceiro período, compreendido entre 1961 e 1970, é sinalizado pela implementação da nova Lei de Diretrizes e Bases de 1961 e os avanços científicos da época, que manifestaram diferentes abordagens nos LD e fomentaram novas discussões entre a comunidade científica e educadores impulsionando pesquisas referentes ao Ensino de Ciências (CHOPPIN, 2004; MORTIMER, 1988). Alguns dos aspectos referentes aos LDQ dessa época, incluem: heterogeneidade dessas obras; novos debates sobre estrutura atômica e de ligação química; contextos que direcionam à conceitos; presença de exercícios; aumento no número de textos e diminuição do quantitativo de ilustrações.

O último período descrito pelo autor, de 1970 a 1987, tem início pela vigência da Lei nº 5.692, de 11 de agosto de 1971, que provocou mudanças radicais no Ensino Médio da época (MORTIMER; SANTOS, 2012). Esse sistema burocrático e tecnicista fez com o principal objetivo do Ensino Médio fosse a profissionalização e, dessa forma, os LD passaram a atender as demandas mercadológicas da época, como os vestibulares para ingresso em universidades públicas e privadas (TOQUETTO, 2016). Tendo isso em vista, Mortimer (1988) destaca que esses livros didáticos: tiveram uma diminuição e simplificação dos

conteúdos de Química; desenvolveram a apresentação gráfica, como conceitos em destaque, títulos em tamanhos variados, ilustrações, tabelas etc; e os exercícios assumiram configurações variadas, como preencher lacunas, questões de múltipla escolha etc.

Após esse período, surgiram livros didáticos que passaram a implementar em suas estruturas os resultados de pesquisas da área de Ensino de Química (TOQUETTO, 2016), fruto das conquistas que o desenvolvimento da pesquisa científica para o desenvolvimento desses materiais didáticos. Dito isso, Marcondes e Silva (2022) incluem suas percepções acerca dos LDQ, com base nas influências da LDB e do PNLD, a nossa linha do tempo para o intervalo entre 1980 e 2020.

Inspirados na estrutura dos trabalhos de Schnetzler (1981) e Mortimer (1988), Marcondes e Silva (2022) analisaram o conteúdo de reações químicas, especificamente como o tema é introduzido e elementos ao longo do conteúdo (disposição textual, elementos iconográficos, quadros explicativos etc), e seis fases foram estabelecidas no período investigado: 1980-1995, 1996-2007, 2008-2011, 2012-2014, 2015-2017 e 2018-2020.

Para o primeiro período, de 1980 a 1995, os autores analisaram dois livros e observaram ausência e apresentação superficial dos contextos de aplicação com os conhecimentos científicos do conteúdo das reações químicas, mas utilizam de caixas explicativas em destaque, imagens e exercícios ao final dos capítulos, indo de encontro aos princípios de um ensino de Química contextualizado, que busca, dentre outras coisas, a percepção da esfera político-social e desenvolvimento do pensamento crítico pelos estudantes (MARCONDES; SILVA, 2022).

Na segunda fase analisada, que compreendeu os anos de 1996 a 2007, quatro livros foram investigados. Duas delas são novas edições das obras presentes na primeira fase e os autores declaram que, para estas, pouca ou nenhuma alteração foi feita em relação as suas respectivas edições analisadas. Enquanto que para os demais LDQ, o conteúdo é apresentado de maneira interdisciplinar (Química e Biologia), como também há a sugestão de atividades práticas, consideram a formação dos estudantes para o exercício da cidadania e buscam contextos socialmente relevantes para apresentação do conteúdo de reações químicas (MARCONDES; SILVA, 2022).

A terceira fase, período de 2008 a 2011, é marcada pela implantação do PNLEM/PNLD nos Livros Didáticos de Química. Pelas novas exigências para divulgação dessas obras nas escolas públicas, Marcondes e Silva (2022) identificaram que se comparados as edições anteriores, os livros apresentaram alterações para se enquadrar na proposta do guia, fruto de vários anos de pesquisa no ensino de Química. Dentre as alterações mencionadas, os

autores apontam para abordagem CTS, aspectos socialmente relevantes e formação para a cidadania, propostas de projetos que se relacionam com o contexto brasileiro, além de textos, experimentos, exercícios, questões de vestibulares, figuras, fotos e esquemas.

A partir da implementação do Programa Nacional do Livro Didático, as obras vêm se aprimorando e estabelecendo diálogos entre os documentos oficiais da educação e os resultados de pesquisa em Ensino de Ciências. Isso é visto nas demais periodizações estabelecidas por Marcondes e Silva (2022). Na quarta fase, referente aos anos entre 2012-2014, é mencionado a construção de conceitos como ponto de partida a leitura, interpretação, análise e discussão de notícias presentes na mídia; a introdução do conteúdo de reações químicas retomando atividades experimentais trabalhadas anteriormente na obra, além da presença de textos de divulgação científica, estudos em grupo e atividades de caráter investigativo validando o conteúdo de reações químicas enquanto construção histórica, política, cultural e ambiental (MARCONDES; SILVA, 2022).

A quinta fase, período de 2015-2017, contém apenas quatro coleções aprovadas, que segundo Marcondes e Silva (2022) pode ter sido pelas demandas da LDB que reforçaram o papel do livro didático de Química como uma obra que reconheça, dentre outras coisas, o Ensino Médio como etapa final da educação básica, ou seja, não o reduzir como preparatório para o vestibular, além de favorecer a autonomia intelectual e o pensamento crítico. Assim, para as coleções aprovadas, os autores referidos identificaram poucas alterações, mas mantém o caráter inovador, ao considerar os conhecimentos prévios dos estudantes e contextualizar os conhecimentos químicos.

Para o último período, referente aos anos de 2018-2020, foram aprovadas seis coleções, sendo duas delas (Vivá: Química - ed. Positivo e Química - ed. Moderna, consideradas no nosso trabalho como material de análise) apresentadas pela primeira vez. Marcondes e Silva (2022) destacam que para ambos o conteúdo também é introduzido de forma articulada com outros componentes curriculares, sendo auxiliados por boxes complementares e seções que apresentam curiosidades, além de usarem diversos elementos iconográficos e citam a BNCC ao entenderem que tal estrutura observadas nos LDQ “fomenta a compreensão dos fenômenos e a construção de argumentações que favoreçam tomadas de decisão para o exercício da cidadania” (BRASIL, 2017, p. 38).

Com as diferentes características que os LDQ vêm assumindo ao longo da história da educação brasileira, entendemos que o uso do livro associado a outros recursos didáticos são fundamentais para o desenvolvimento de uma visão adequada da Ciência, Tecnologia, Sociedade e suas inter-relações, bem como promover o desenvolvimento de uma formação

para o exercício da cidadania como previsto pelos objetivos da abordagem CTS. Assim, no tópico seguinte trazemos a algumas considerações acerca do uso de Recursos Didáticos na abordagem CTS, com destaque aos textos complementares sugeridos pelos LDQ.

3.2.2 Os Recursos Didáticos na Abordagem CTS

Dadas as atuais demandas para o ensino de ciências, as quais sinalizam que a área de ciências da natureza "deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas e elaborar argumentos [...] para o enfrentamento dos desafios da contemporaneidade" (BRASIL, 2017, p. 537), Ferreira e Queiroz (2015) apontam a mobilização de diversos estudos propondo recursos e estratégias didáticas que apresentem potencial para atender a essas necessidades. Entendemos como recursos didáticos "todo material utilizado como auxílio no ensino-aprendizagem do conteúdo proposto para ser aplicado pelo professor a seus alunos" (SOUZA, 2007, p. 111). Nesse sentido, Akahoshi, Souza e Marcondes (2018) evidenciam que recursos didáticos que apresentem os conteúdos científicos escolares integrados aos contextos social e tecnológico podem facilitar a implementação em sala de aula da abordagem CTS.

Entretanto, é preciso considerar que o livro didático é bastante utilizado pelos professores de Química na seleção e organização do conteúdo a ser ensinado e na escolha de exemplos e de exercícios para suas aulas. Dessa forma, a ausência de uma abordagem CTS nessas obras pode contribuir para que essa abordagem de ensino não se concretize, ou se positivo, apenas superficialmente. Contudo, com as novas vertentes que os livros vêm assumindo, observamos a presença de recursos complementares (LIRA; VASCONCELOS, 2019) que podem auxiliar o professor a incorporar práticas que dialoguem com os objetivos do CTS.

Dentre os recursos sugeridos pelos livros, daremos destaque nesse trabalho aos Textos Complementares que são aqueles que se diferenciam do texto didático base por apresentar tipo e tamanho de letra, aparecimento em caixas ou seções de destaque (FRANCISCO JUNIOR; LIMA, 2013). A escolha por esse tipo de texto se dá por apresentarem diferentes gêneros textuais (narrativo, descritivo, dissertativo argumentativo etc.), de diversas fontes de publicação (artigos de revistas, recortes de jornais, artigos científicos, textos publicitários etc.) que carregam um contexto social, político, econômico e científico que pode colaborar para a formação de um leitor crítico (FRANCISCO JUNIOR; LIMA, 2013).

A diversidade de gêneros textuais no cotidiano exige que a sociedade seja capaz de compreender e interpretar diferentes mensagens veiculadas em diferentes fontes de divulgação. Além disso, no ensino de Ciências, a utilização de textos de divulgação científica, por exemplo, tem sido relevante pela forma como as temáticas científicas são tratadas (FERREIRA; QUEIROZ, 2015). Porém, é necessário atentar para a ocorrência de erros conceituais e simplificações, como também requer uma preparação adequada dos professores a fim de viabilizar práticas que promovam o desenvolvimento de habilidades como tomada de decisão e argumentação (FERREIRA; QUEIROZ, 2015).

Assim, o interesse pelos TC na nossa análise é buscar compreender em que medida esse recurso se aproxima ou se distancia dos objetivos previstos em uma abordagem CTS. Isso porque alguns trabalhos (AKAHOSHI; SOUZA; MARCONDES, 2018; LAIA; MILLTIZ; COMIOTO, 2016; SAITO, 2010; SILVA; MARCONDES, 2010) denunciam a limitação da contextualização social, nos Livros Didáticos de Química, a exemplos do cotidiano que ilustram conceitos ou por meio da descrição científica de fatos e processos socialmente relevantes, sem propor níveis mais avançados de contextualização como compreensão ou transformação da realidade social, ou seja, se aproxima da categoria do conteúdo CTS como elemento de motivação em um ensino tradicional (AIKENHEAD, 1994).

Nesse cenário, uma outra estratégia formativa é a construção de materiais didáticos pelo próprio professor para suas aulas, uma vez que ele conhece sua realidade escolar, as potencialidades dos alunos e as temáticas de interesse dessa comunidade (SILVA; MARCONDES, 2010; TENREIRO-VIEIRA; VIEIRA, 2005), apesar das dificuldades relativas as longas jornadas de trabalho pelos professores e da ausência de formação continuada. Estes referidos autores também consideram que a produção de material didático é importante para a qualificação profissional do professor e que pode resultar na melhoria da qualidade de seu trabalho e conseqüentemente na formação de seus estudantes.

Teixeira (2003) reforça esse pensamento ao afirmar que uma abordagem CTS advoga sobre a necessidade de utilização de múltiplas estratégias e recursos didáticos, como a utilização de: palestras, demonstrações, sessões de questionamento, solução de problemas e experimentos de laboratório, livro didático e paradidático, jogos, problemas sociocientíficos e questões CTS.

Podemos acrescentar também as simulações, fóruns e debates, projetos, redação de cartas para as autoridades, visitas a indústrias e museus, estudos de caso, ação comunitária, entrevistas, análise de dados no computador, materiais audiovisuais e, demais atividades didáticas (TEIXEIRA, 2003).

A implementação das tecnologias da informação e comunicação (TIC) se torna fundamental nas escolas, para essa geração de estudantes que nasceram imersos no mundo digital, sendo considerados nativos digitais. A relação simbiótica com a tecnologia faz com que práticas tradicionais não se tornem atrativas para os estudantes, além do potencial de aprendizagem com tecnologias nas ciências, que incluem: o uso de aplicativos e programas de simulação para observar e descrever fenômenos físicos e químicos para construção de hipóteses, plataformas de comunicação para debates sobre planejamento e investigações científicas, o uso de celulares para pesquisas em sala em sites de divulgação científica, construção de vídeos como atividade avaliativa etc (COSTA et al., 2012; SOUSA; FINO, 2019).

Diante desta diversidade de estratégias e materiais didáticos, percebe-se a necessidade de superação das metodologias baseadas apenas no processo de transmissão-recepção de informações veiculadas por aulas predominantemente expositivas. Portanto, busca-se dinamizar o processo de ensino e aprendizagem como forma de permitir uma aprendizagem significativa e vinculada aos acontecimentos do mundo e da sociedade em geral.

Desse modo, Santos (2001) estruturou alguns critérios para que materiais didáticos possam contemplar alguns pressupostos da abordagem CTS para o trabalho no contexto escolar, sistematizados no Quadro 5.

Quadro 5 - Critérios que devem atender materiais didáticos CTS

Critérios	Descrição
1. Responsabilidade	O material desenvolve a compreensão dos alunos relativamente à sua interdependência como membros da sociedade e da sociedade como agente responsável dentro do ecossistema da natureza.
2. Influências mútuas CTS	As relações da tecnologia, ciência e sociedade umas com as outras são claramente apresentadas.
3. Relações com as questões sociais	As relações dos desenvolvimentos tecnológicos e científicos com a sociedade são claramente estabelecidas, no sentido de uma atenção dirigida.
4. Balanço de pontos de vista	O material apresenta um balanço de diferentes pontos de vista sobre questões e opções, sem necessariamente se esforçar por esconder a perspectiva do autor.
5. Tomada de decisões e resolução de problemas	O material empenha os alunos na procura de soluções para problemas e para competências de tomada de decisão.
6. Ação responsável	O material encoraja os alunos para que se envolvam em ações sociais ou pessoais, depois de ponderarem as consequências de valores e efeitos projetados por

	vários cenários e opções alternativas.
7. Integração de um ponto de vista	O material ajuda os alunos a aventurarem-se para além da matéria do assunto específico até considerações mais alargadas de ciência, tecnologia e sociedade que incluam um tratamento de valores/éticas pessoais e sociais.

Fonte: Santos (2001)

Além disso, Freitas e Santos (2006) afirmam que os materiais produzidos pensando numa abordagem CTS devem se atentar a características que, por vezes testada em sala, deve se aproximar dos objetivos CTS, na medida em que: i) Usa abordagens interdisciplinares se o tópico questão ou problema pede tal discussão, ii) Os alunos têm um papel ativo no planeamento das suas atividades de aprendizagem, iii) Usa questões locais, problemas, curiosidades como veículo para aprendizagem, iv) O interesse dos alunos por questões locais e recursos (materiais e humanos) delineiam e estruturam atividades de aprendizagem, v) O papel do professor é de facilitador/guia de aprendizagem e o do manual é de fonte de informação, vi) As atividades de aprendizagem estão para além das sessões na classe, vii) Começa com conexões, aplicações, ou curiosidades e procura conceitos científicos que ajudem a resolver problemas, e, por fim, viii) As tarefas do aluno incluem localizar fontes para obter e reunir informações.

Em suma, precisam-se ter diversos cuidados ao pensar na construção ou adaptação de um material sob a ótica da abordagem CTS para realidades específicas da sala de aula. Para isso, uma estratégia comum é utilizar temas para a construção de conhecimentos e significados para esses materiais. No contexto desse trabalho, o tema Radioatividade será discutido no próximo tópico, perpassando pelo contexto histórico, aplicações na sociedade, acidentes em usinas nucleares e objetivos curriculares deste tema que constam nos documentos oficiais da educação brasileira.

3.3 A TEMÁTICA RADIOATIVIDADE: BREVE HISTÓRICO, CONTEXTOS DE APLICAÇÃO E ASPECTOS SOBRE O ENSINO E APRENDIZAGEM

A Radioatividade, conforme o Glossary of Nuclear Science (2011), é “o decaimento espontâneo de desintegração de um núcleo atômico instável acompanhado da emissão de radiação [ou partículas]”, em outras palavras, “representa a transformação de um núcleo instável para um com maior estabilidade” (LOVELAND; MORRISEY; SEABORG, 2006, p. 57). Esse fenômeno ao longo da história da humanidade vem sendo aplicado em diversos

contextos, que desencadearam fatores benéficos e maléficos para a sociedade e para a natureza.

Segundo Okuno (2018), as primeiras aplicações referentes à radioatividade são posteriores à descoberta dos raios-X, que ocorreu na Alemanha por volta de 1894, com o professor e cientista de física experimental da Universidade de Würzburgo, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), apesar da previsão teórica anterior por Hermann von Helmholtz, que morreu antes de presenciar os experimentos envolvendo os tubos de descarga e indutância que levariam à descoberta desses raios de natureza, até então, desconhecida.

Após diversas publicações apresentando seus resultados investigando os raios [X] de natureza diferente dos raios catódicos, Röntgen recebeu o primeiro prêmio Nobel de Física em 1901, pelas suas contribuições. Hoje o raio-X é definido por ser uma “radiação eletromagnética com comprimento de onda de 10^{-11} a 10^{-8} m (0,1 a 100 Å), resultante da colisão de elétrons produzidos em um cátodo aquecido contra elétrons de ânodo metálico” (CHASSOT, 1995, p. 20), sendo utilizado fortemente na medicina nuclear, principalmente em exames de imagem.

Com as descobertas de Röntgen e pela hipótese levantada por Henri Poincaré (1854-1912) de que havia uma relação entre a emissão dos raios X e a fluorescência do vidro, a partir das observações utilizando experimentos com o tubo de Crookes, muitas descobertas foram feitas. Mesmo sem uma relação direta entre a emissão de raios X e a luminescência, Raveau descreve os estudos de Charles Henry, Niewenglowski, Piltchkof, d’Arsonval e Becquerel como casos especiais do fenômeno previsto por Poincaré (MARTINS, 1990). Com isso, apesar de Henri Becquerel (1852-1908), por vezes, receber os créditos pela detecção da Radioatividade em 1896, estudando compostos de urânio que se tornavam fluorescentes após receberem luz solar (BROWN; LEMAY; BURSTERN, 1999), Martins (1990) revoga esse título ao reforçar que os feitos de Becquerel se esforçam para adequar-se as teorias estabelecidas na época e esse posicionamento rebaixa o trabalho experimental que deve ser criativo e instigante a fim de superar a grande dificuldade existente no estabelecimento de fenômenos que não são esperados teoricamente.

Em seguida, o casal Pierre (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) começaram a investigar o fenômeno. Eles realizaram a experiência de isolar os componentes radioativos da pechblenda, pesquisando também os raios urânicos ou ‘raios de Becquerel’ em outros elementos além do urânio, como o tório e a calcolita, conseguindo isolar um elemento 400 vezes mais ativo que o urânio, chamado de polônio em homenagem ao país de origem de

Marie, e o elemento rádio, cerca de 900 vezes mais ativo que o urânio (CHASSOT, 1995; BROWN; LEMAY; BURSTERN, 1999; OKUNO, 2018).

Os feitos de Becquerel e do casal Curie nas ciências nucleares os rendeu o prêmio Nobel de Física, em 1903. Sete anos depois Marie Curie recebe o seu segundo Nobel, dessa vez de Química, por seus trabalhos relativos ao isolamento do rádio, que teve papel extremamente importante na terapia do câncer, a tornando a única pessoa a ter recebido essa premiação duas vezes em ciências diferentes, bem como excedeu sua função de cientista premiada, mas que afrontou padrões da figura feminina na época (RESQUETTI, 2013; SILVA; RIBEIRO, 2014).

Diante do exposto, faz-se necessária uma melhor formação para os professores de Ciências e Química quando se tratam de assuntos relacionados à Radioatividade, sua utilização e aproveitamento benéfico e seus riscos. Para isso é preciso que o professor se aproprie de um conhecimento mais amplo e contextualizado sobre esta temática.

3.3.1 Contextos de Aplicação da Radioatividade

Os eventos que comportam a utilização de fenômenos radioativos marcam admiração e aversão no decorrer da história. Ainda no final do século XIX e início do século XX com o forte progresso científico, marcado, entre outras coisas, pela descoberta do raio X e da Radioatividade, fez com que as pessoas sentissem grande admiração pelas descobertas científicas (LIMA; PIMENTEL; AFONSO, 2011). Esse período, na Europa, foi chamado de *belle époque*, no qual revistas e informativos científicos divulgavam com uma linguagem simples, o bem-estar promovido pelas descobertas da ciência em aplicações comerciais cotidianas, em especial a Radioatividade.

Por volta de 1910, produtos com Radioatividade adicionada prometendo ao consumidor satisfação e soluções mágicas na medicina foram recebidos com grande entusiasmo pelas pessoas na Europa e nos Estados Unidos. O universo mercadológico e da propaganda tiveram grande repercussão ao oferecer um catálogo com diversos produtos radioativos (LIMA; PIMENTEL; AFONSO, 2011), dentre eles incluía-se: águas radioativas (promovendo aumento do número de hemácias, eliminação de venenos do sangue e uma melhor digestão dos alimentos), produtos de beleza (como cremes, sabonetes e xampus com propriedades de rejuvenescer e revitalizar a pele) e produtos médico-farmacêuticos (como tônicos e revigorantes que destinavam-se a manter ou recuperar os vigores físico, mental e sexual).

Após o fim da I Guerra Mundial, médicos e cientistas identificaram que com o uso contínuo desses produtos as pessoas começaram a apresentar irritações e descamações cutâneas, queimaduras, cegueira e o desenvolvimento de alguns tipos de câncer, porém esse mercado perdurou até próximo do início da II Guerra Mundial (LIMA; PIMENTEL; AFONSO, 2011). Essa realidade em conjunto da série de eventos catastróficos envolvendo a Radioatividade, ajudou a criar uma polarização das opiniões acerca desta temática. Por isso, cabe aos professores, pesquisadores e meios de comunicação elucidar o impacto positivo oriundo dos efeitos da radiação (VASCONCELOS, 2016). Estendemos, ainda, que esses esforços se façam presentes nos materiais didáticos, em especial aos livros didáticos, que podem utilizar das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade para entrecruzar caminhos e promover reflexões quanto aos malefícios e os benefícios de aspectos científico-tecnológicos para a sociedade.

Algumas pesquisas voltadas para a temática Radioatividade no campo da educação (PATRÍCIO; SILVA; MELO FILHO, 2012; SILVA; SIMÕES NETO, 2012; RESQUETTI, 2013; SILVA, 2013; VASCONCELOS, 2016), e também portais de informações oficiais como o Portal da Câmara dos Deputados por meio da Agência Câmara Notícias² (2005) e o próprio portal online da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), já se preocuparam em sistematizar algumas das aplicações da Radioatividade na sociedade moderna, que incluem os campos da: medicina, alimentos, arqueologia, gamagrafia, agricultura, meio ambiente, produção de energia elétrica e material bélico.

A medicina é uma das áreas mais beneficiadas pelos estudos e pelas aplicações dos radioisótopos, sendo utilizada para se obter diagnósticos, tratar de algumas doenças, como o câncer, e para esterilização de materiais cirúrgicos e hospitalares. Historicamente, esse campo é marcado pela utilização de fontes de raio X para obtenção de imagens internas de objetos opacos, conhecida como radiologia diagnóstica, graças às descobertas de Röntgen em 1895; seguido pela radioterapia com a aplicação do elemento químico rádio, por Marie e Pierre Curie; e mais recente, por volta de 1940, a medicina nuclear surge com a aplicação de radioisótopos no corpo dos pacientes (RESQUETTI, 2013).

Para o diagnóstico de doenças, o radiofármaco é utilizado como traçador radioativo, também conhecido como contraste, devido as tendências naturais de cada elemento para se acumular em um certo tecido ou órgão e emitirem radiação. Cardoso (2006) alude a essa situação por meio do exame de cintilografia da tireoide, no qual o iodo-131, tempo de meia-

² Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/59975-conheca-outras-aplicacoes-da-radioatividade/%C2%B4mailto:agencia@camara.gov.br%C2%B4>>. Acesso em: 24 de outubro de 2021.

vida oito dias (em outros casos, para esse mesmo exame utiliza-se o iodo-123 ou tecnécio-99) é introduzido por ingestão ou injeção (e para outros exames, os radiofármacos podem ser introduzidos por inalação também) no paciente, que irá emitir partícula beta e radiação gama. Após ser absorvido pela glândula tireoide, passa-se o cintilômetro, um detector de radiação que será capaz de captar as imagens da estrutura anatômica de tecidos e órgãos, em frente ao pescoço, que irá traçar um mapa da glândula, determinando forma, tamanho e atividade. A partir da imagem gerada no computador, o médico será capaz de comparar o exame com uma imagem padrão da tireoide normal, sendo possível identificar um mau funcionamento do organismo.

No Brasil, o responsável pela grande produção de radiofármacos é a Comissão Nacional de Energia Nuclear, sendo suas principais unidades produtoras o Instituto de Energia Nuclear (IEN), no Rio de Janeiro, contando atualmente com 38 tipos de radiofármacos fornecidos para a área médica. Entretanto, desde 2006, pela quebra da Emenda Constitucional nº 49, instituições privadas passaram a ser regulamentadas para produzir radiofármacos de meia-vida curta, com tempo de decaimento radioativo inferior a 2 horas, certa a necessidade dessas instalações serem próximas dos locais de aplicação.

Entre os 38 tipos de radiofármacos sintetizados por essas instituições, alguns são mais comumente utilizados na medicina nuclear diagnóstica. Segundo Oliveira et al. (2006) podemos citar: Gálio-67 e Tecnécio-99, utilizados em exames de cintilografia para detectar tumores, processos inflamatórios e infecciosos; Tálcio-201, frequentemente utilizado no estudo de doenças cardíacas, Iodo-123 ou Iodo-131, ambos utilizados no diagnóstico e tratamento do câncer de tireoide. Para o caso desses últimos radiofármacos, os exames utilizando o Iodo-123 produzem imagens com melhor qualidade em relação ao Iodo-131, porém seu custo é muito superior.

Um último radiofármaco que destacamos é o FDG (Fluorodesoxiglicose, $C_6H_{11}^{18}FO_5$, no qual uma molécula de glicose tem um de seus hidrogênios substituídos por um átomo de flúor radioativo), sintetizado a partir do bombardeamento do oxigênio-18 com nêutrons rápidos dentro de um ciclotron (acelerador de partículas atômicas capaz de atingir a velocidade da luz). Sua utilização é no exame de Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET – *Positron Emission Tomography*), que tem ganhado amplo destaque por realizar um mapeamento dos tecidos, isso porque o FDG-18F, ao ser introduzido no corpo do paciente, é capturado por células que têm grande consumo de glicose, como as tumorais e do cérebro (RESQUETTI, 2013).

Assim, as técnicas de diagnóstico com imagens na medicina nuclear mais utilizadas incluem: Tomografia por emissão de pósitrons (PET), exame de diagnóstico por imagem que permite o mapeamento de cânceres, doenças do coração e problemas neurológicos; Tomografia computadorizada por emissão de fóton único (SPECT, *Single Photon Emission Computed Tomography*), gera imagens planas, dinâmicas e tomográficas que auxiliam nos estudos de função renal, cardíaca e outras e durante o exame detectores giram em torno do paciente captando as emissões radioativas de um órgão onde o radiofármaco aplicado está alojado; e Densitometria óssea, que possui principal função a avaliação de mineralização dos ossos, ou seja, detecta perda de massa óssea auxiliando nos tratamentos de prevenção e tratamento de osteoporose e osteopenia (OKUNO, 2018). Já na medicina nuclear terapêutica, é amplamente utilizada a técnica de radioterapia, que utiliza fontes seladas em que o paciente ou as pessoas que fazem o manuseamento não entram em contato direto com o material radioativo e, por ser um tratamento local e/ou regional, pode ser indicada de forma exclusiva ou associada a outros tratamentos (VASCONCELOS, 2016).

A radiação também pode ser utilizada com fins de esterilização, um mercado que vem crescendo nas últimas décadas devido às suas vantagens em relação a outros processos de esterilização industrial (como por vapor –autoclave-, e óxido de etileno, EtO). Isso porque, segundo o IPEN (BRASIL, 2021, p. 1), no processo da radioesterilização, ou esterilização por radiação ionizante:

O aumento da temperatura durante o processo é desprezível, se comparado a processos térmicos; A penetração da radiação assegura a esterilização de todo o volume do produto, seja na forma sólido, líquido ou gel; Os produtos podem ser esterilizados já na embalagem hermeticamente fechada; O processo é contínuo e, diferentemente do tratamento com óxido de etileno, não requer tratamento posterior para a retirada de gás residual; e, com o emprego da embalagem impermeável a gases, a esterilização fica assegurada por tempo ilimitado.

Além disso, outra vantagem é a grande quantidade de materiais compatíveis com a radioesterilização que incluem: termoplásticos, borrachas, têxteis, metais, pigmentos, vidros, adesivos e tintas; abrangendo praticamente todos os materiais cirúrgicos e descartáveis, como também produtos sanguíneos destinados a transplante, esterilização de tecidos humanos destinados a implantes, esterilização de válvulas cardíacas e rejeitos biomédicos. Nesse processo, duas fontes de radiação ionizante são possíveis, de acordo com o IPEN (2021): raios gama de uma fonte de ^{60}Co ou feixes de elétrons de alta energia, gerados em aceleradores de partículas.

A irradiação de alimentos é uma das técnicas possíveis para o tratamento de determinados tipos de alimentos pela indústria, prolongando o prazo de validade desses

produtos, destruindo microrganismos patogênicos, retardando o amadurecimento e brotamento e os esterilizando (ROCHA; SOUZA; VASQUES, 2007).

O processo consiste na exposição indireta dos alimentos a uma fonte de radiação ionizante ou de uma máquina que utilize feixes de elétrons, podendo ser aplicados cinco tipos de radiação: alfa, beta, gama, raios X e nêutrons. O radionuclídeo mais utilizado em aplicações industriais de irradiação de alimentos é o cobalto-60 e césio-137 (emissores de radiação gama), como também o raio X (com energia de até 5 MeV) ou elétrons com energias de até 10 MeV (megaelétron-volts), estabelecido em junho de 1965, após uma série de estudos considerando a segurança e adequação nutricional para o consumo (OMAYE, 2004).

Autoridades de vigilância sanitária e de segurança alimentar de 40 países, entre eles o Brasil, aprovaram a irradiação de alimentos incluindo especiarias, grãos frutas, verduras e carnes. Ainda assim, por muito tempo, esse processo aconteceu quase que exclusivamente em instituições de pesquisa devido o número restrito de especialistas disponíveis (COUTO; SANTIAGO, 2010).

Quanto às leis que compreendem a irradiação de alimentos, existe regulamentação desde 1973. No Brasil, a agência responsável é a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), que compila e delimita as normas para o emprego desta tecnologia por meio da Resolução nº 21 de 26 de janeiro de 2001, que, entre outras coisas, exprime que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que compromete as qualidades funcionais e sensoriais do alimento e a dose mínima seja suficiente para alcançar o objetivo pretendido. Todo produto tratado por radiação ionizante deve conter a frase: 'alimento tratado por processo de irradiação', e se tem como opcional a inclusão do símbolo internacional do uso da radiação ionizante, Figura 2 (BRASIL, 2001).

Figura 2 - Radura - símbolo utilizado em alimentos irradiados



Fonte: Blog Unicamp (2016).

Apesar desses avanços tecnológicos no uso da radiação na indústria alimentícia, o crescimento do uso da irradiação de alimentos é freado pelo público que ainda apresenta temores e mal-entendidos quanto à pluralidade de aplicações que esse fenômeno apresenta, muitas vezes sobressaindo os acidentes nucleares que marcaram negativamente a sociedade (OMAYE, 2004). Nessa mesma linha, é importante ressaltar que alimentos irradiados não são alimentos contaminados, ou seja, esse processo não torna os alimentos radioativos, pois não há contato direto com a fonte de radiação. Couto e Santiago (2010) reforçam a importância de trabalhos que permeiam essa temática, principalmente no campo da educação, para que o professor seja capaz de levar informações confiáveis para a sala de aula tratando dos prós e contras dessas técnicas.

No campo da arqueologia, pesquisadores utilizam a técnica da datação com uso do carbono-14 (isótopo do carbono) para estimar a idade de fósseis de madeira, papiros e animais de valor histórico. O carbono-14 resulta da absorção contínua de nêutrons dos raios cósmicos pelos átomos de nitrogênio, que ao se combinar com o oxigênio forma o gás carbono ($^{14}\text{CO}_2$), que é absorvido pelas plantas durante a fotossíntese. O ^{14}C tem meia-vida de 5730 anos, o que permite a mediação desse material na amostra, especulando a possível idade da amostra (XAVIER et al., 2007; CARDOSO, 2006).

A gamagrafia consiste na impressão da radiação gama em filme fotográfico. Elas podem ser usadas para relevar algum equipamento quebrado dentro de uma máquina ou uma tubulação rompida de um oleoduto; as empresas de aviação realizam impressões constantes para verificar se há rachaduras nas partes metálicas e soldas (CARDOSO, 2006).

Na agricultura utiliza-se a técnica de marcação de insetos com radioisótopos para a eliminação de pragas, identificando qual predador se alimenta de determinado inseto indesejável. Outra forma de evitar as pragas é tornando os machos estéreis por radiação gama (CARDOSO, 2006; XAVIER et al., 2007; PORTO, 2001).

Quando tratamos de questões relacionadas ao meio ambiente, existem técnicas para determinar a quantidade e o local de ocorrência de poluentes no ar, água e solo com utilização de radioisótopos. Assim, foi possível inspecionar a quantidade de radiação existente nas mediações de Goiânia-GO, após o acidente com o cézio-137, e o da Ucrânia, com o acidente de Chernobyl.

Mesmo com as técnicas de determinação, existe ainda a radiação natural, principalmente em solos, alimentos e água. Esse fenômeno é decorrente da afinidade que certos elementos químicos apresentam a determinado tipo de material componente dos solos, por exemplo. É muito normal a presença de urânio nos solos por conta de sua afinidade com a

argila e a matéria orgânica. Quase todos os alimentos contêm traços de urânio em razão desse radionuclídeo estar presente em quase todos os solos. O chumbo e o polônio de massa 210 (Pb_{210} , Po_{210} respectivamente) podem estar presentes em águas artificiais de rios e lagos, decorrentes da lixiviação de rochas e sedimentos que contêm urânio, bem como da decomposição atmosférica desse radionuclídeo. Com isso, esses radionuclídeos podem estar incorporados a peixes e mariscos.

Nessa mesma direção, muitos alimentos são ricos em determinados elementos químicos, inclusive os radioisótopos, como, por exemplo, a banana que contém potássio-40 (K_{40}), mas não chega a ser prejudicial ao organismo devido a sua distribuição quase uniforme no corpo e a sua alta atividade (MELQUIADES; APPOLONI, 2004).

Os fenômenos Radioatividades também se estenderam ao processo de produção de energia. De início, essa demanda surge com o aumento da produção industrial a partir do século XX, sendo necessário outros recursos que pudessem suprir a demanda energética. Em 1954, os russos construíram a primeira usina capaz de produzir eletricidade a partir da energia do núcleo atômico. No Brasil, em 1972, deu-se início à construção de Angra I, com o processo de concretagem da laje do prédio do reator, mas apenas em 1982 ocorreu a primeira reação em cadeia dentro do reator do tipo PWR (*Pressurized Water Reactor* – Reator de Água Pressurizada), que contém a água sob alta pressão (PORTO, 2001). Angra II iniciou sua geração de energia muito tempo depois, em julho de 2000, complementando o abastecimento elétrico da região Sudeste.

Ambas estão localizadas em Angra dos Reis, devido à proximidade com o mar e aos centros consumidores, e sua facilidade de acesso a embarcações. Isso é fruto do acordo entre Brasil-Alemanha sob o gerenciamento da Eletronuclear, empresa responsável por operar e construir as usinas termonucleares do país. Mesmo com todos os critérios de segurança e de instalação, desde 1975 existe um decreto de ampliação da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto em Angra dos Reis, com a construção da terceira unidade nuclear, Angra III. No ano de 2010 foi iniciada a construção de seus prédios e reatores, apresentando o mesmo projeto de construção de Angra II. Estimava-se que a usina estivesse pronta até o final de 2015, produzindo energia para suprir um terço do consumo de todo o estado do Rio de Janeiro, porém, segundo o próprio site oficial da eletronuclear, até o referido ano (2022) a obra não foi concluída.

Apesar de atender uma parte significativa de energia para a região que se encontra, a população apresenta certa aversão em relação à energia nuclear, muito em parte ao acidente ocorrido em Chernobyl, na Ucrânia, em 1986. Essa discussão não se restringe a essa realidade

local, países como o Japão, Alemanha, Suíça e Bélgica ativamente se esforçam para a desativação de usinas nucleares, que é um processo que dura em média 60 anos.

A Deutsche Welle (ou DW, emissora internacional da Alemanha) oferece um espaço jornalístico importante para esse tema, como as matérias ‘A energia nuclear merece uma segunda chance?’³ apresentando pontos de inflexão sobre o uso da energia nuclear em relação a energias renováveis como solar e eólica, a curto e longo prazo, e as vantagens e desvantagens econômicas e ambientais, e ‘Bélgica adia abandono da energia nuclear’⁴ que retrata as propostas do partido verde Belga adiando a eliminação da energia nuclear em 2025 em dez anos por consequência da invasão russa a Ucrânia em 24 de fevereiro, que fez disparar os preços de energia. Na mesma linha, a Alemanha também enfrenta pressões para rever seu plano de abandonar a energia nuclear.

A desativação de usinas nucleares é chamada de descomissamento, ou seja, “é o processo pelo qual as usinas nucleares são retiradas de serviço e encerram as licenças de operação concedidas pela Comissão Reguladora Nuclear (NRC, no inglês *Nuclear Regulatory Commission*) nos Estados Unidos” (NEI, 2016). Segundo a NRC, o processo envolve a descontaminação da instalação para reduzir a Radioatividade residual, desmantelamento das estruturas, remoção de materiais contaminados para instalações de descarte apropriadas, armazenamento de combustível nuclear usado até que possa ser removido do local para descarte ou armazenamento consolidado e liberação da propriedade para outros usos. Esses regulamentos e orientações estipuladas pela NRC servem para garantir que o descomissamento seja seguro e ambientalmente correto, bem como exige que as empresas forneçam garantias de financiamento disponíveis para desmantelar a instalação prevista nos planos de ação.

Ainda que nos dias de hoje possamos pontuar as aplicabilidades positivas da Radioatividade, se faz necessário marcar os danos associados, principalmente pela visibilidade que a mídia deu aos seus usos durante a guerra e nos acidentes nucleares marcados em várias partes do planeta.

Tratando-se de material bélico, em 1939 o mundo conhece a bomba atômica e outras armas nucleares. Seu funcionamento envolve a energia proveniente dos núcleos de átomos radioativos. Foi construída pelo cientista J. Robert Oppenheimer (1904-1967) e por mais um grupo de cientistas, dentre os quais destacam-se, entre outros: Niels Bohr (1885-1962), que

³ Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/a-energia-nuclear-merece-uma-segunda-chance/a-43899261>>. Acesso em 11 de maio de 2022.

⁴ Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/b%C3%A9lgica-adia-abandono-da-energia-nuclear/a-61188206>>. Acesso em 11 de maio de 2022.

chegou a estudar sobre o processo de fissão nuclear; Albert Einstein (1879-1955), com sua Teoria da Relatividade e criação da clássica fórmula ($e=mc^2$), que relaciona energia (e), massa (m) e velocidade da luz (c), ou seja, com o movimento de corpos com pequena quantidade de matéria, com velocidade próxima à da luz, que é de aproximadamente 300 mil quilômetros por segundo, pode-se gerar uma quantidade enorme de energia com uma pequena quantidade de massa; Enrico Fermi (1901-1954), que construiu em 1941 um reator nuclear em uma quadra de *squash* na Universidade de Chicago.

A primeira bomba detonada, conhecida como *Gadget*, era composta de plutônio, níquel, berílio e urânio (XAVIER et al., 2007; MERÇON; QUADRAT, 2004). A explosão chamada de *Trinity* foi produzida pela união de duas bolas de explosivos convencionais ('implosão') e ocorreu no meio do deserto de Alamogordo, em Los Alamos, no Novo México, inabitado por seres humanos. Com a repercussão da Segunda Guerra Mundial, na cidade de Hiroshima, Japão, o avião americano Enola Gay solta a bomba *Little Boy*, que detonou a 580 metros acima do centro da cidade. A cidade foi destruída e 90 mil pessoas morreram no mesmo dia. Três dias após o primeiro ataque, outro avião atacou a cidade de Nagasaki. O ataque resultou na morte imediata de 40 mil pessoas. Doze horas depois do ataque, ainda era possível ver o fogo na cidade de Nagasaki. Até o final de 1945, cerca de 210 mil pessoas tinham morrido nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, e outros milhares sofreram ferimentos sérios de queimaduras e os efeitos da radiação pós-exposição (XAVIER et al., 2007).

Com as implicações decorrentes da utilização da bomba atômica, em 1968, surge o *The Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons* (NPT), em português: Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP), que considera as nações em dois blocos: os que até o 1º de janeiro de 1967 explodiram alguma bomba atômica (Estados Unidos, França, Reino Unido, China e Rússia/URSS), e os demais países que se comprometeriam em não obter armas atômicas. O TNP estipula que os cinco países que tenham material bélico desse tipo não podem repassar a tecnologia para sua fabricação a outra nação, devendo gradativamente avançar com o desarmamento nuclear, mas pouco se tem feito para esse objetivo. O Tratado ainda exige a visitação periódica de inspetores para averiguar o enriquecimento de urânio, mas não o funcionamento das centrífugas que são utilizadas para produção de combustível para usinas nucleares.

A partir do que foi colocado, podemos sintetizar as aplicações tecnológicas da Radioatividade em: aplicações na medicina (na esterilização de instrumentos cirúrgicos, em exames diagnósticos e tratamento radioativos), na indústria alimentícia (com a irradiação de alimentos, retardando o processo de amadurecimento e brotamento), na arqueologia (com a

datação com o C-14, por exemplo), na gamagrafia (detectando defeitos ou rachadura no corpo de peças, por meio dos raios gama), na agricultura (com a marcação de insetos e agrotóxicos), no meio ambiente (determinando local e quantidade de poluentes), na produção de energia elétrica (como as usinas nucleares de Angra I e II, no Brasil) e como material bélico (sendo a bomba atômica, seu principal representante).

Para além dos materiais de guerra desenvolvidos com as tecnologias associadas ao uso dos fenômenos radioativos, provavelmente os acidentes em usinas nucleares foram alguns dos eventos que disseminaram o temor por parte da sociedade em relação a radioatividade. Desse modo, a seguir explanamos sobre os acidentes nas usinas: *Three Mile Island*, na Pensilvânia (1979), na usina de Chernobyl, na Ucrânia (1986) e em Fukushima, Japão (2011), como também o acidente radioativo em Goiânia, no Brasil (1987) devido ao descarte inadequado de material radioativo.

3.3.1.1 Acidentes em Usinas Nucleares

Com os acidentes que tiveram lugar na usina nuclear de *Three Mile Island*, na Pensilvânia, em 1979, e na usina de Chernobyl, em 1986, a sociedade se torna receosa com a geração de energia elétrica proveniente de elementos radioativos. É importante ressaltar que o acidente nos Estados Unidos da América (EUA) ocorreu devido a uma falha no equipamento e um erro operacional durante o processo de avaliação das condições do reator. Nenhum tipo de radiação foi encontrado no solo e não houve nenhum registro de doenças ou mortes relacionadas a esse acidente (XAVIER et al., 2007; MERÇON; QUADRAT, 2004).

Diferentemente do acidente nos EUA, o da usina de Chernobyl, na Ucrânia, é considerado um dos mais graves da história de usinas nucleares, classificados com nível 7, sendo o outro o da Usina Nuclear de Fukushima. Devido à explosão de um dos reatores da usina nuclear soviética, localizada a 129 km ao norte de Kiev, a usina lançou na atmosfera uma nuvem radioativa de $3,7 \times 10^{18}$ Bq. Após três dias da explosão, nenhum comunicado havia sido feito pelo governo soviético, o que só ocorreu quando o governo da Suécia detectou altos níveis de radiação na região Sul de seu território. Pode-se ter uma ideia da distância do local do acidente. Com a orientação do vento no local, chegou-se à conclusão de que a radiação era proveniente da região soviética (XAVIER et al., 2007; OKUNO, 2018). Um satélite americano chegou a ‘varrer’ a região da Ucrânia e encontrou uma usina com o teto destruído e o reator ainda em chamas, mas só em 14 de maio de 1986 foi que o então presidente Mikhail Gorbáchov comentou o acidente na mídia.

Mais de 16 mil trabalhadores foram ao local do acidente para ajudar no processo de retirada de entulhos e realizar os registros do local. Após as primeiras mortes devido à radiação, muitas pessoas entraram em desespero e quiseram deixar o local. Durante o acidente, 31 pessoas morreram em decorrência dos efeitos da exposição à radiação. O processo de evacuação da cidade de Pripyat, na Ucrânia, localizada a 18 km da cidade de Chernobyl, foi iniciado e perdurou até meados do mês de maio de 1986.

Mais de 40 radionuclídeos escaparam do reator devido à combustão do grafite moderador com o combustível do reator. Dentre os elementos e compostos mais voláteis e prejudiciais, destaca-se o iodo (I-131), estrôncio (Sr-90) e sais de céσιο (Cs-137) este último sendo o mais perigoso pela semelhança com os átomos de potássio se distribuindo pelos músculos do corpo (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). Muitas pessoas chegaram a ter câncer na tireoide depois da contaminação pela deposição do I-131, também por conta do tempo para a diminuição de sua concentração - para baixar a 10% levam-se 26,7 dias, enquanto que, para o telúrio-132, levam-se 10,6 dias, e, para o Iodo-132, 7,6 horas. Países da Europa Ocidental, como Alemanha e Dinamarca, também foram afetados pela radiação, agravando os índices de contaminação nas pessoas, nas plantações e na água.

Mesmo com o uso benéfico da energia nuclear, ainda se apresentam riscos quanto à estrutura das usinas e à capacitação de profissionais eficientes para a geração de energia nas usinas. No Brasil, a usina nuclear de Angra I, por exemplo, apresenta barreiras de proteção que permitem maior segurança na contenção de vazamentos radioativos por parte do reator.

Mais recente, o acidente ocorrido na usina de Fukushima, no Japão, em 11 de março de 2011, foi originado em consequência dos danos causados por um terremoto na costa Oeste do país, com epicentro no fundo do oceano, seguido por um tsunami com intensidade de 9,2 na escala Richter, gerando ondas de até 14 metros de altura. O complexo de Daiichi-Fukushima e Daini-Fukushima é formado por seis reatores de água fervente dimensionada para suportar um terremoto de 8,1 na escala Richter – de modo que esta estrutura não poderia suportar um desastre natural. O fenômeno provocou um pico de energia das usinas, arrancou equipamentos e deixou o complexo vulnerável ao vazamento de elementos e substâncias radioativas, atingindo diversos elementos do ecossistema local – atmosfera, lençóis freáticos e oceano (SILVA; MELO, 2012).

3.3.1.2 O Acidente do Césio-137 em Goiânia-GO

O desastre radioativo considerado o mais grave da América Latina ocorreu na cidade de Goiânia-GO, em 1987, causada por negligência no descarte de material radioativo e afetando a vida de milhares de pessoas até os dias de hoje.

O acidente tem início quando o catador de materiais recicláveis Roberto dos Santos fica sabendo da existência de uma peça de chumbo de alto valor no ferro-velho e que estava localizada nas dependências do Instituto Goiano de Radioterapia. Com a ajuda do amigo Wagner Mota, Roberto consegue remover uma peça do aparelho de radioterapia, levando-a até o ferro-velho de Devair Alves Ferreira.

No dia 18 de setembro de 1987, esta peça é aberta. Pela noite, Devair se impressiona com o brilho azul emitido pelo material que estava dentro dela. Tamanha admiração fez com que o catador convidasse a comunidade para contemplar o pó com brilho extraordinário. Sem ter noção do que se tratava, muitas pessoas passaram o pó no corpo, carregavam-no nos bolsos, iniciando assim o processo de contaminação que levou a cidade a ficar registrada na história pelo desastre que viria a ser (OKUNO, 2018).

O pó em questão continha 19,3 g de cloreto de césio (CsCl), um sólido branco, solúvel em água, com massa molecular equivalente a 168,36 g/mol, com atividade de 50,9 TBq (Terabecquerel). Esse sal é radioativo devido à presença do césio, metal alcalino, que apresenta em média 50 isótopos, sendo o césio-137 o mais perigoso, com tempo de meia-vida de 30 anos (OKUNO, 2018; CARDOSO, 2006). A alta solubilidade do CsCl facilitou o processo de contaminação pelas pessoas e a ingestão da substância. Como foi o caso da criança Neves, de 6 anos, sobrinha de Devair, que segundo a família chegou a ingerir a substância, enquanto se alimentava, contaminação direta com o pó.

Dias após a descoberta do material, muitas pessoas começam a sentir náuseas, diarreias e terem queimaduras na pele, em decorrência da emissão de radiação gama por parte do césio. Depois da desconfiança de Maria Gabriela, esposa de Devair, que as complicações que estavam ocorrendo na região eram devido ao pó branco, ela levou a fonte radioativa, de ônibus, para a Vigilância Sanitária. As vítimas são levadas ao Hospital de Doenças Tropicais, onde inicia o processo de identificação do motivo das lesões. Com o comunicado passado à Secretaria de Saúde, o físico Walter Ferreira chega a tempo de impedir que os bombeiros joguem a cápsula dentro do rio Meio Ponte, principal fonte de abastecimento da cidade.

Os técnicos da CNEN chegam a Goiânia e, junto com a polícia militar, começaram os trabalhos de descontaminação. As pessoas contaminadas foram deslocadas para o Estádio

Olímpico, para a realização de uma triagem para verificar o grau de contaminação. Dados da CNEN informam que foram monitoradas, aproximadamente, 119 mil pessoas expostas, isso porque a radiação atingiu um raio de dois mil metros quadrados. O acidente gerou quatro vítimas fatais, que começaram a desenvolver algum tipo de doença que, segundo órgãos responsáveis pelo controle da área, não tinham nenhuma ligação direta com o acidente.

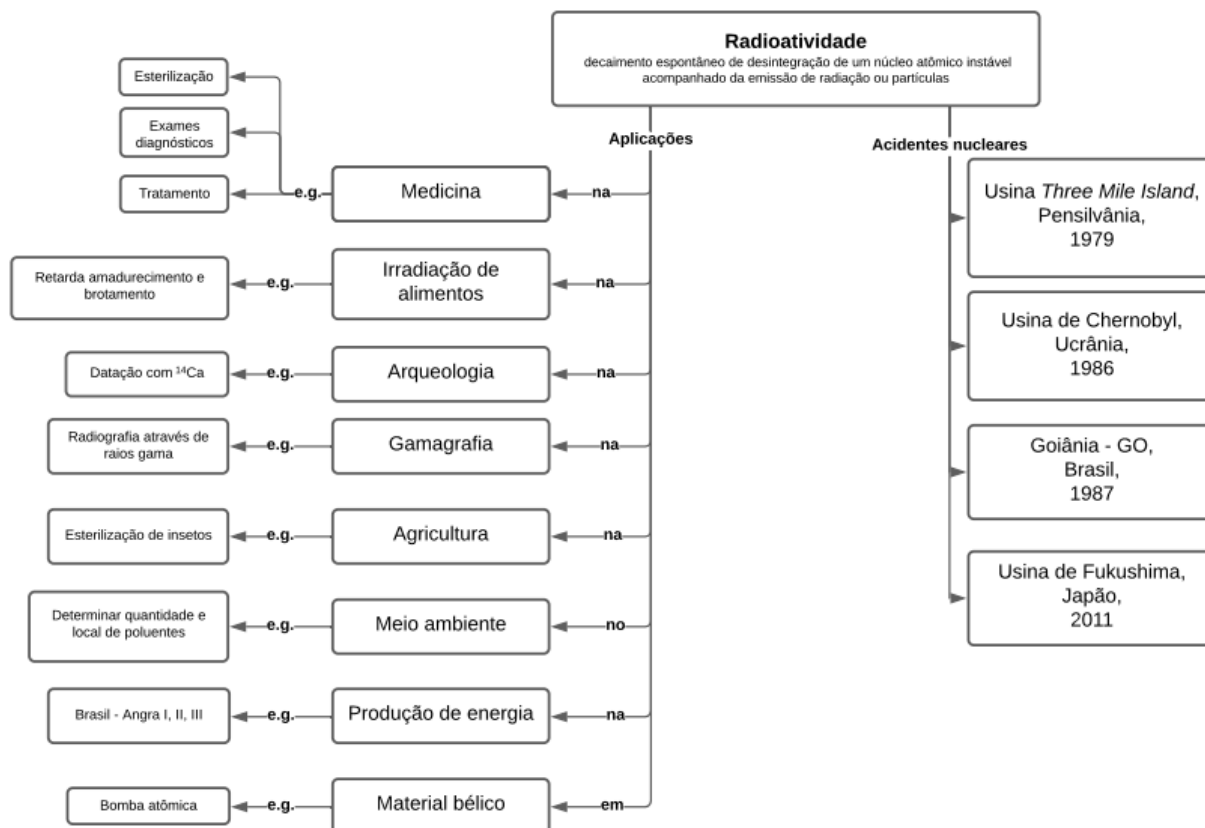
Todos os locais contaminados foram destruídos e todos os rejeitos (que incluíam animais, plantas, roupas, brinquedos, dentre outros) foram isolados em containers, caixas, tambores e recipientes de concreto. Esses depósitos foram colocados em um terreno definitivo na cidade de Abadia de Goiás - GO, onde devem ficar por aproximadamente 180 anos, a contar da data do acidente.

Em 1996 quatro médicos e um físico foram condenados a prestar serviços sociais como punição por terem abandonado o equipamento utilizado na radioterapia no Instituto Goiano de Radioterapia.

Mesmo decorridos vários anos desde o acidente, muitas pessoas sofrem as consequências da exposição à radiação, desde consequências físicas até morais, com o preconceito que surgiu em relação às pessoas que se contaminaram nesse processo (MERÇON; QUADRAT, 2004). Depois do ocorrido, foi imprescindível a existência de um programa de inspeção em equipamentos e instalações que utilizassem fontes radioativas, para que assim esse tipo de acidente possa ser evitado. Esse acidente fez com que a Sociedade Brasileira de Física formasse uma Comissão de Acompanhamento da Questão Nuclear para formular uma série de questões sobre o acidente à CNEN (OKUNO, 2018), solicitando esclarecimentos e medidas para situações que envolvessem a Radioatividade e suas aplicações.

Esses contextos de aplicação da Radioatividade podem ser considerados na análise das unidades dos livros didáticos de Química que discorrem sobre esta temática. Em síntese, os fenômenos e eventos associados aos processos radioativos tratados estão esquematizados na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma da Radioatividade



Fonte: Autor (2021)

De modo complementar, quando tecemos um olhar da abordagem CTS com os contextos de aplicação da Radioatividade se faz possível emergir e considerar as dimensões científicas, tecnológicas e sociais, além dos aspectos políticos, ambientais, éticos, econômicos dentre outros que podem compor diferentes estratégias de tratar dessa temática no ensino da Química. García-Carmona e Criado (2008), por exemplo, analisaram o enfoque CTS no ensino da energia nuclear em textos didáticos de física e Química. Para tal, os autores estruturaram seis categorias relativas a esse tema, descritas no Quadro 6.

Quadro 6 - Critérios de análise estruturados por García-Carmona e Criado (2008)

Critério 1: Se citam as *aplicações tecnológicas da energia nuclear*. Tais quais:

- Produção de energia elétrica.*
- Datação de fósseis, rochas e restos arqueológicos mediante isótopos radioativos.*
- Aplicação de isótopos radioativos na medicina.*
- Aplicações industriais (detecção de desgastes e danos em maquinários...).*

Critério 2: Se fazem alusão a influência da ciência e da tecnologia nucleares na política, na economia e no comportamento social e vice-versa.

<p>Critério 3: Se a ênfase é colocada no papel desempenhado pela ciência atômica e nuclear, ao longo da história, na evolução do conhecimento e da cultura da humanidade. O critério se divide nas seguintes dimensões:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) <i>Influência da ciência atômica e nuclear no pensamento e na cultura.</i> b) <i>Antecedentes e incidências da ciência atômica e nuclear na história.</i> c) <i>Construção e desenvolvimento do conhecimento em ciência atômica e nuclear.</i>
<p>Critério 4: Se incluem os <i>problemas ambientais</i> relacionados com resíduos radioativos e/ou possíveis acidentes em centrais nucleares.</p>
<p>Critério 5: Se mostra o desenvolvimento da <i>ciência nuclear</i> como um produto do trabalho coletivo, em que as realizações e os descobrimentos se devem à colaboração de cientistas, independentemente de seus gêneros (contribuições da mulher na ciência nuclear, trabalho em equipe, etc.). Nesse sentido, se consideram as seguintes categorias:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) <i>Trabalho em equipe.</i> b) <i>Mulheres na ciência nuclear.</i>
<p>Critério 6: Se comparam os benefícios (aplicações médicas, energéticas e outras) e os danos (usos bélicos e possíveis acidentes em centrais nucleares) que ocorreram, para a humanidade e ao meio ambiente, a partir das aplicações da energia nuclear.</p>

Fonte: García-Carmona e Criado (2008)

Algumas considerações dos autores sobre a amostra de onze textos analisados incluíram: a produção de energia elétrica e aplicações na medicina foram as aplicações mais representadas nesse material, poucos textos (quatro) abrangem sobre os aspectos políticos e socioeconômicos relacionados à energia nuclear, enquanto que a presença da influência da ciência nuclear na história da humanidade e como fruto do trabalho coletivo e que considerem o papel da mulher foi encontrado em um terço dos textos, enquanto que a comparação de vantagens e desvantagens do uso da energia nuclear é apresentada por metade dos textos. Para todas as categorias quase não foram apresentadas atividades relacionadas aos textos investigados. Por fim, García-Carmona e Criado (2008) consideram que o tema não recebe atenção suficiente na educação básica, nesse caso, por ser pouco discutido na escola, mesmo que em um futuro próximo esse seja um dos temas mais controversos em escala mundial.

Para além dos contextos de aplicação da Radioatividade, é importante considerarmos os objetivos do ensino de Radioatividade pelos documentos oficiais da educação (PCN, OCNEM e BNCC) e identificarmos os saberes que devem ser mobilizados na sala de aula. Logo, no tópico seguinte, direcionaremos um olhar sobre esses documentos e as competências e habilidades que se esperam dos estudantes ao trabalharem com a temática Radioatividade.

3.3.2 Ensino e Aprendizagem sobre Radioatividade em Documentos Curriculares Nacionais no Brasil

Neste texto focalizamos nas proposições sobre o ensino e aprendizagem da Radioatividade no componente disciplinar de Química e nos textos oficiais que buscam representar os diferentes objetivos a partir das reformas do Ensino Médio no Brasil, procurando entendê-los como parte do discurso mais amplo que tenta reconfigurar a forma de abordarmos o conhecimento.

Em linhas gerais, para aprender sobre Radioatividade é preciso considerar suas aplicações e implicações a vida humana. Pela lente da abordagem CTS o estudante deve ser capaz de reconhecer e avaliar o desenvolvimento científico e tecnológico sobre Radioatividade e sua relação com a Sociedade. Para isso, se faz necessário compreender sobre o histórico da descoberta das radiações, da Radioatividade e de alguns elementos radioativos, sobre a fissão nuclear para produção de energia nuclear, aplicações da Radioatividade nas indústrias alimentícias, de agricultura, de maquinários, na datação de fósseis e rochas e na medicina, além da interação da Radioatividade com organismos vivos e com o meio ambiente, os acidentes nucleares que ocorreram na história da humanidade e reconhecer o papel de cientistas mulheres nessa área de conhecimento. Esses cenários ajudarão os estudantes a criarem pontos de vista acerca da temática e tomar decisões para resolução de problemas de forma a ponderarem vantagens e desvantagens sobre as aplicações tecnológicas da Radioatividade na sociedade.

Esse exercício se faz necessário porque a Radioatividade “é um dos fenômenos físico-químicos de maior apelo, em filmes, livros, desenhos, quadrinhos e outras manifestações da cultura moderna” (SILVA; SIMÕES NETO, 2012, p. 1), sendo associado muitas vezes por uma imagem negativa (PATRÍCIO; SILVA; MELO FILHO, 2012; RESQUETTI, 2013; SILVA, 2013; VASCONCELOS, 2016) associada aos acidentes em usinas nucleares. Assim, a utilização de situações reais envolvendo a temática em sala de aula, possibilitam o estudante a refletir e ampliar os conhecimentos acerca desse fenômeno, além de corroborar com os documentos oficiais da educação na medida que é possível a compreensão de aspectos da Ciência e Tecnologia, neste caso, das aplicações da Radioatividade, sob o ponto de vista da ética, para exercer a cidadania com responsabilidade e integridade (BRASIL, 2002).

No contexto de ensino e aprendizagem da temática, os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) sugerem que o aluno deve compreender as transformações nucleares que dão origem à Radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em

sistemas tecnológicos; conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina; e avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da Radioatividade e radiações ionizantes.

Para que isso ocorra de forma efetiva, os PCN apresentam a proposta de que haja a integração dos professores de Química, Biologia e Física para se trabalhar em conjunto as informações relacionadas à geração e consumo de energia elétrica por matrizes nucleares. Isso porque muitos conceitos não pertencem exclusivamente a uma determinada ciência ou contexto e, por isso, devem ser tratados sob uma ótica global (BRASIL, 2002).

De forma complementar aos PCN, as Orientações Curriculares para o Ensino Médio apresentam como modelo de constituição do saber que os alunos consigam identificar diferentes tipos de radiações (alfa, beta e gama) presentes na vida cotidiana e sua utilização por meio de tecnologias, compreender sua interação com meios materiais e avaliar seus efeitos biológicos e ambientais (BRASIL, 2006). Vasconcelos (2016), ainda denuncia a limitação desse fenômeno nos conteúdos de atomística, visto que o modelo atômico de Rutherford foi construído a partir das análises experimentais de fenômenos radioativos. Isso porque a temática Radioatividade geralmente é trabalhada nos conteúdos do 2º e 3º ano do Ensino Médio (história da Radioatividade, leis das emissões radioativas, tempo de meia-vida de isótopos radioativos, reações nucleares e fissão e fusão nuclear), enquanto o desenvolvimento dos modelos atômicos é trabalhado nas turmas de 1º ano.

Nas sociedades contemporâneas, muitos são os exemplos da presença da Ciência e da Tecnologia, e de sua influência no modo como vivemos, pensamos e agimos. Além disso, problemas globais e locais relacionados com a Ciência e a Tecnologia estão envolvidos, como desmatamento, mudanças climáticas, energia nuclear e uso de transgênicos na agricultura, sendo estas preocupações de muitos brasileiros. Nesse contexto, a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas dos sujeitos e da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo e tomada de decisão que levem a uma forma de vida mais sustentável (BRASIL, 2017).

É nessa direção que a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017) da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias propõe um aprofundamento nos eixos temáticos Matéria e Energia (entendemos a Radioatividade como uma subtemática desse eixo), Vida e Evolução e Terra e Universo. Os conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais atrelados a estes eixos constituem uma base que permite aos estudantes investigar, analisar, discutir, resolver problemas sociocientíficos e tomar decisões requeridas de diferentes

contextos socioculturais, além de compreender e interpretar leis, teorias e modelos, aplicando-os na resolução de problemas sociais e ambientais no âmbito regional, local e global.

No ensino de Radioatividade os livros didáticos podem requerer dos estudantes o contato com atividades de exigem a reflexão, tomada de decisão e a resolução de problemas relativos a contextos de aplicação diversos por meio da mobilização de modelos explicativos com maior ou menor nível de abstração e complexidade, que buscam explicar, analisar e prever os efeitos das interações e relações entre matéria e energia, por exemplo, sobre as consequências de emissões radioativas no ambiente e na saúde. Dessa forma a temática Radioatividade se constitui como um conhecimento importante para a interpretação de fenômenos e problemas sociais (BRASIL, 2017).

O professor, mediante os objetivos de aprendizagem e das especificidades de cada disciplina e escola pode escolher para explorar um dos aspectos citados com maior ou menor nível de aprofundamento e complexidade na medida da demanda curricular, tempo disponível em sala e perfil de cada turma. Uma proposta para explorar esses aspectos nas variadas disciplinas é por meio de problemas reais, com aplicações da temática, conforme foi apresentada no item 3.2.1 - contextos de aplicação da Radioatividade.

Com isso, ressaltamos a necessidade da elaboração de novos recursos complementares presentes nos Livros Didáticos de Química que explorem a temática Radioatividade, principalmente em uma perspectiva interdisciplinar, já que “o conhecimento químico escolar possui inúmeras interfaces com as demais ciências, não podendo, assim, se furtar ao diálogo constante com outros saberes” (ABREU; LOPES, 2019, p. 73), possibilitando uma compreensão integral desse tema. Além disso, Silva e Simões Neto (2012) denunciam que as poucas páginas dedicadas para a temática Radioatividade, dispostas no início ou final dos volumes, contribuem para a pouca atenção dada ao tema.

Outro ponto de inflexão da relação da Radioatividade com as propostas curriculares nacionais é o próprio Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), uma vez que é uma prova que privilegia a contextualização dos conteúdos, explorando aspectos que vão além da abordagem disciplinar. Nesse sentido, é preciso explorar a Radioatividade e outras temáticas nos livros didáticos de Química, fazendo uso de atividades e recursos didáticos que considerem a necessidade de o aluno mobilizar o conhecimento aprendido em sala de aula em problemas reais apresentados em diferentes contextos da sociedade.

Nessa direção, no campo de ensino de Ciências, mais especificamente da Química, a fim de superar essas lacunas observadas, delineamos o recorte em que se insere essa investigação: Aspectos da abordagem CTS no tema Radioatividade em livros didáticos de

Química do Ensino Médio, aprovados no PNL D 2018. Em seguida apresentamos os elementos que constituem o desenho metodológico da pesquisa, buscando alcançar os objetivos propostos e responder à pergunta de pesquisa.

4 DESENHO METODOLÓGICO

Este tópico descreve o desenho metodológico percorrido nesta pesquisa, que tem a seguinte questão norteadora: **Como a abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), no contexto da temática Radioatividade está sendo desenvolvida nos Livros Didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didática (PNLD) 2018 para o período de 2018 a 2020?**

As opções metodológicas e as etapas da pesquisa, com a descrição das razões que motivaram a escolha da amostra do estudo, os procedimentos para coleta dos dados e as categorias de análise e interpretação dos dados são apresentadas a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa está centrada na análise dos Livros Didáticos de Química do PNLD 2018, sob a ótica dos pressupostos da abordagem CTS.

Buscamos uma compreensão desses materiais didáticos, no sentido de compartilhar seus significados e avançar na construção de propostas educacionais orientadas pelos objetivos traçados por abordagens CTS no ensino da Química. Nesse contexto, esse estudo visa a construção de reflexões que possivelmente ajudará professores em sua prática, no que se refere a avaliação e escolha dos Livros Didáticos de Química e na criação de propostas voltadas a um ensino orientado pela abordagem CTS.

Quanto à abordagem de dados a pesquisa é de caráter qualitativo. Segundo Chizzotti (1991, p. 79) uma abordagem qualitativa:

parte do fundamento de que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, uma interdependência viva entre o sujeito e o objeto, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito. O conhecimento não se reduz a um rol de dados isolados, conectados por uma teoria explicativa; o sujeito observador é parte integrante do processo de conhecimento e interpreta os fenômenos, atribuindo-lhes um significado. O objeto não é um dado inerte e neutro; está possuído de significados e relações que sujeitos concretos criam em suas ações (CHIZZOTTI, 1991, p. 79).

Portanto, a abordagem qualitativa não se preocupa, estritamente, com uma representatividade numérica. Pelo contrário, visa a descrição e interpretação de problemas e hipóteses propostas, levando em consideração a interação entre as variáveis, e se preocupando com a investigação de um fenômeno para a construção de significados.

No que se refere ao tipo de pesquisa, esse estudo se caracteriza como pesquisa documental, que busca realizar uma análise de referências publicadas em meios escritos e eletrônicos (livros didáticos), em fontes diversas e dispersas, permitindo ampliar o entendimento dos objetos de pesquisa, extraindo e resgatando informações num determinado contexto histórico-sociocultural (FONSECA, 2002; SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009).

Assim, indicando o Livro Didático de Química como objeto de investigação, a pesquisa documental de caráter qualitativo apresenta potencial para reflexões e análise acerca desse recurso didático que também possui natureza ideológica e política, e ainda norteia a prática de um grande grupo de professores na realidade educacional brasileira.

Nessa direção, abrem-se possibilidades para estabelecer “as formas mais adequadas de lidar com o objeto de pesquisa” (DUARTE, 2002, p. 148), bem como é necessário ser criterioso com o manuseio desses dados, visto sua densidade, para esse estudo, do LDQ enquanto material didático.

4.2 SELEÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO

Para este estudo foram selecionados os livros didáticos de Química aprovadas pelo PNLD 2018. A escolha dessas obras se deu pela importância das políticas de avaliação e distribuição gratuita do Programa Nacional do Livro Didático, que passou, desde 1996, a serem avaliados periodicamente por uma equipe de professores e pesquisadores especialistas nas questões pedagógicas e dos conteúdos científicos (ECHEVERRÍA; MELLO; GAUCHE, 2019; ROSA; ARTUSO, 2019).

Atualmente, as equipes de avaliação são constituídas a partir de editais lançados pelo Ministério da Educação e compostas por professores do Ensino Superior e da educação básica distribuídos por áreas de conhecimento (ROSA; ARTUSO, 2019). O processo de avaliação do PNLD 2018 foi realizado por universidades públicas, por meio de concorrência pública (Edital 42/2016), sendo a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) a responsável por planejar, organizar e executar o processo avaliativo pedagógico das coleções aprovadas na área de Química.

As coleções didáticas inscritas e aprovadas pelas editoras no processo avaliativo do PNLD compõem o Guia do Livro Didático (GLD) disponibilizado online pelo site do FNDE. Segundo as informações dispostas no Guia, sua leitura é importante para auxiliar os

profissionais de educação na escolha de uma obra que melhor atenda as especificidades da realidade de cada escola (BRASIL, 2017).

Esse documento dispõe dos mecanismos adotados na avaliação dos LD de Química e seus critérios, que abrangem desde a legislação educacional brasileira até aspectos específicos do conhecimento químico e seu ensino. A ficha de avaliação das obras de Química é dividida em 6 blocos e contam com indicadores específicos a partir dos critérios construídos, sendo: i) Descrição da obra; ii) Características gerais da obra; iii) Conformidade com a legislação; iv) Coerência do conhecimento químico na obra; v) Pressupostos teórico-metodológicos do ensino de Química; e vi) Perspectiva orientadora presente no manual do professor.

Com base nas avaliações foram estruturadas resenhas completas para cada obra aprovada, divididas em: Visão geral, Descrição, Análise e Sala de aula. Essas resenhas, por serem sucintas e reflexo dos critérios que nortearam as avaliações são a parte destinada à auxiliar o professor a fundamentar sua escolha. Contudo, o Guia ressalta que mesmo que as obras tenham sido aprovadas pelos mesmos critérios, ainda “se diferenciam na sequência dos conteúdos, na abordagem metodológica, nas orientações didáticas e na proposta pedagógica que norteia a produção de cada uma das coleções que foram incorporadas ao PNLD 2018” (BRASIL, 2017), reforçando a responsabilidade do professor ao pensar nas demandas do contexto que a escola está inserida.

Dessa forma, o Quadro 7 apresenta as coleções didáticas de Química aprovadas pelo PNLD 2018, suas referências conforme apresentadas nas fichas catalográficas e a denominação de cada livro adotada nesse trabalho (Livros A, B, C, D, E e F).

Quadro 7 - Coleções de Livros Aprovados

Livros Didáticos de Química	Referências
Livro A	Química: ensino médio / Martha Reis. -- 3 v., 2. ed. -- São Paulo: Ática, 2016.
Livro B	Ser protagonista: química, 2º ano: ensino médio/ Julio Cezar Foschini Lisboa ... [et al.]; organizadora Edições SM; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM; editora responsável Lia Monguilhott Bezerra. - 3. ed. - São Paulo: Edições SM, 2016 - (Coleção ser protagonista)
Livro C	Vivá: química: volume 3: ensino médio/ Vera Lúcia Duarte de Novais, Murilo Tissoni Antunes – Curitiba: Positivo, 2016.
Livro D	Química - Ciscato, Pereira, Chemello e Proti – 3 v., 1. ed. - São Paulo: Moderna, 2016.
	Química cidadã: volume 1: química: ensino médio, 1ª série / Wildson

Livro E	Luiz Pereira dos Santos (coord.). -- 3. ed. -- São Paulo: Editora AJS, 2016. -- (Coleção química cidadã)
Livro F	Química: ensino médio / Eduardo Fleury Mortimer, Andréa Horta Machado. -- 3. ed. -- São Paulo : Scipione, 2016.

Fonte: Autor (2021)

Apresentado os livros, foi preciso recorrer as resenhas completas dos LD presentes no Guia do PNLD 2018, para identificar a localização da temática Radioatividade nos livros selecionados para a análise, bem como identificar aspectos que se aproximam da abordagem CTS e dos contextos de aplicação desta temática.

A identificação da temática se deu por meio da leitura integral das seis resenhas completas em busca do termo ‘Radioatividade’ ou pelos conteúdos que perpassam por ela, como: Desenvolvimento do modelo atômico, emissões naturais, leis das emissões radioativas, tempo de meia-vida, reações nucleares, radioatividade artificial, fissão e fusão nuclear, aplicações da radioatividade, dentre outros.

Segundo o Guia do Livro Didático do PNLD 2018, a Radioatividade está exposta nas seguintes seções, volumes e/ou unidades temáticas, conforme Quadro 8:

Quadro 8 - Conteúdos de Radioatividade no Guia do Livro Didático para os LDQ do PNLD 2018

Livro	Seção	Volume e/ou Unidade Temática
Livro A	Descrição da obra	<ul style="list-style-type: none"> • Volume 1 – Unidade 2: Oxigênio e Ozônio - Capítulo 6. Eletricidade e radioatividade e; • Volume 3 – Unidade 5: Atividade nuclear - Capítulo 11. Leis da radioatividade e energia nuclear
Livro B	Descrição da obra	Volume 2 – Unidade 4: Transformações da matéria e energia elétrica - Capítulo 13. Radioatividade e as reações nucleares
Livro C	Descrição da obra	Volume 3 – Unidade 1: Radioatividade e reações nucleares - Capítulo 1. Estudo da radioatividade, suas aplicações e implicações ambientais
Livro D	Descrição da obra	Volume 3 – Capítulo 3. A Química na medicina – Tema 4: Medicina nuclear
Livro E	Descrição da obra	Volume 1 - Capítulo 4. Do atomismo aos modelos atômicos
Livro F	-----	Não consta os termos utilizados na busca do tema

Fonte: Autor (2021)

Apesar do Livro F não cumprir com os termos utilizados, segundo o Guia, ele apresenta características que contemplam uma abordagem CTS, por trabalhar com as dimensões tecnológicas e ambientais, apresentar o conhecimento químico de forma contextualizada, ser isento de discursos maniqueísta a respeito da Química e articular os

conteúdos com outros componentes curriculares (interdisciplinaridade) (BRASIL, 2017). Identificamos que o material presente no volume 3 - Capítulo 4, intitulado: 'Efeito estufa e mudanças climáticas: Química para cuidar do planeta', discute sobre algumas aplicações da radiação.

Destacamos, porém, que 'radiação' e 'Radioatividade' são conceitos independentes não sinônimos, sendo esse último compreendido como a transformação de um núcleo instável para um com maior estabilidade, por meio de um decaimento espontâneo (LOVELAND; MORRISEY; SEABORG, 2006), enquanto o primeiro se refere a qualquer forma de energia que se propaga, incluindo a luz visível, ondas de rádio e micro-ondas. O livro não deixa claro porque o autor resolveu abordar a radiação e não a Radioatividade, por isso não será considerado nas nossas análises.

4.3 REFERENCIAL DE ANÁLISE DE DADOS

As obras aprovadas pelo PNLD 2018 apresentam previsão de contemplar o triênio referente a 2018-2020, porém a Lei nº 13.415/2017 que alterou a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e estabeleceu uma mudança na estrutura do Ensino Médio, que inclui uma série de mudanças para esta modalidade de ensino (como aumento do tempo do estudante na escola, nova organização curricular com base na BNCC, dentre outras coisas) (BRASIL, 2018b). Por conta do tempo relativo ao período de adaptação das escolas para adotar essas novas mudanças, o uso destas obras se estendeu até as turmas que se formaram no ano de 2022.

Salientado o cenário do material de análise adotado, resgatamos que nosso objetivo geral é analisar os Livros Didáticos de Química aprovados pelo PNLD (2018) para a temática Radioatividade, considerando alguns pressupostos (concepções, elementos, objetivos e características) da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e os contextos de aplicação do tema. Para isso, no tópico seguinte, apresentamos as categorias adotadas para atingir os objetivos específicos que se relacionam com o objetivo geral desse trabalho.

4.3.1 Categorias Para Análise de Dados: 1º Objetivo Específico de Pesquisa

O primeiro objetivo específico desse trabalho é analisar os contextos de aplicação da Radioatividade nos Livros Didáticos de Química aprovados no PNLD 2018 sob a ótica da abordagem CTS. Como discutimos ao longo do capítulo da fundamentação teórica, item '3.3

A temática Radioatividade: um breve histórico, contextos de aplicação e aspectos sobre o ensino', compreender as dimensões de aplicações tecnológicas, seu impacto político, econômico, histórico, ambiental, bem como seu caráter controverso ajudam o estudante a criar diversos atributos (como responsabilidade, tomada de decisões para resolução de problemas, balanço de pontos de vista etc.) que contribuem para uma visão mais adequada do papel da ciência e da tecnologia na sociedade, conforme os princípios da abordagem CTS.

Para análise do primeiro objetivo de pesquisa da dissertação, buscamos adaptar os critérios de análise do trabalho de García-Carmona e Criado (2008), tendo em vista que os autores focaram nas implicações da energia nuclear para a sociedade e meio ambiente. Nesse sentido, a Radioatividade, que é o tema principal desse trabalho, é mais abrangente, pois a energia nuclear é uma das tantas aplicações tecnológicas deste fenômeno. Portanto, o Quadro 9 apresenta os critérios adotados que se referem as categoriais de análises *a priori*, que buscar atender o primeiro objetivo da pesquisa.

Quadro 9 - Critérios de análise para os contextos de aplicação da Radioatividade sob a ótica da abordagem CTS

<p>Critério 1: Se citam as <i>aplicações tecnológicas da Radioatividade</i>. Tais quais:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Produção de energia elétrica.</i> <i>Datação de fósseis, rochas e restos arqueológicos mediante isótopos radioativos.</i> <i>Aplicação de isótopos radioativos na medicina.</i> <i>Aplicações industriais (Alimentícia, Gamagrafia, Agricultura etc.).</i>
<p>Critério 2: Se fazem alusão a influência da ciência e das tecnologias relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social e vice-versa.</p>
<p>Critério 3: Se a ênfase é colocada no papel desempenhado pela Radioatividade, ao longo da história, na evolução do conhecimento e da cultura da humanidade. O critério se divide nas seguintes dimensões:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Influência dos conhecimentos sobre Radioatividade no pensamento e na cultura.</i> <i>Antecedentes e incidências dos fenômenos radioativos na história.</i> <i>Construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade.</i>
<p>Critério 4: Se incluem os <i>problemas ambientais</i> relacionados com resíduos radioativos e/ou possíveis acidentes em centrais nucleares.</p>
<p>Critério 5: Se mostra o desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre Radioatividade como um produto do trabalho coletivo, em que as realizações e os descobrimentos se devem à colaboração de cientistas, independentemente de seus gêneros (contribuições da mulher na ciência nuclear, trabalho em equipe, etc.). Nesse sentido, se consideram as seguintes categorias:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Mulheres na ciência nuclear.</i> <i>Trabalho em equipe.</i>
<p>Critério 6: Se comparam os benefícios (aplicações médicas, energéticas e outras) e os danos (usos bélicos e possíveis acidentes em centrais nucleares) que ocorreram, para a humanidade e ao meio ambiente, a partir das aplicações da Radioatividade.</p>

Fonte: Adaptado de García-Carmona e Criado (2008)

Dito isso, a primeira parte foca na análise do capítulo referente ao tema de estudo. Em outras palavras, para esse primeiro objetivo foi realizada a leitura integral do(s) capítulo(s) relativos à Radioatividade, no qual consideramos diversos elementos apresentados ao longo desse material (como os textos de conteúdo, os textos e demais recursos complementares, imagens, questionamentos, atividades e exercícios resolvidos), tecendo relações entre nosso critério de análise adaptado de García-Carmona e Criado (2008) e os contextos de aplicação da Radioatividade que mobilizam as possibilidades de uso desse fenômeno no nosso cotidiano e, dessa forma, se torna possibilidade para o ensino da Química norteado pela abordagem CTS.

Além disso, ao longo da análise, cada critério considerado no Quadro 9, é discutido de forma independente. Com isso, pelo fato de serem critérios adotados *a priori*, a presença de diferentes aspectos da abordagem CTS nessas obras pode dizer respeito a um mesmo texto, uma vez que esses materiais não são, necessariamente, exclusivos por critério analisado, pois mais de uma aplicação da Radioatividade pode ser tratada ao longo de uma mesma passagem.

4.3.2 Categorias para Análise de Dados: 2º Objetivo Específico de Pesquisa

O segundo objetivo específico busca identificar e analisar os textos complementares, presentes nos Livros Didáticos de Química para a temática Radioatividade, que cumprem com os pressupostos da abordagem CTS. A finalidade de investigar esse material é vista em dois momentos, que convergem com os objetivos da abordagem CTS no ensino de ciências. O primeiro diz respeito ao fato do LD, historicamente, ter se configurado como principal suporte dos professores em sala de aula e, por dispor desse material, pode agregar ao banco de materiais do professor, colaborando para novas estratégias didáticas (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). O segundo diz respeito aos “variados tipos e gêneros textuais, de natureza diversa, carregado de um contexto social, político, econômico e científico de significativa relevância à formação de um leitor crítico” (FRANCISCO JUNIOR; LIMA, 2013, p. 490).

Considerando as discussões do tópico da fundamentação teórica ‘3.2.2 Os recursos didáticos na Abordagem CTS’, utilizamos dos critérios/categorias analíticas *a priori*, propostos por Santos (2001), que contemplam um conjunto de características para que materiais didáticos possam alcançar alguns dos objetivos da abordagem CTS no ensino de ciências, resgatados no mesmo Quadro 5 (p. 45).

Quadro 5 - Critérios que devem atender materiais didáticos CTS

Critérios	Descrição
1. Responsabilidade	O material desenvolve a compreensão dos alunos relativamente à sua interdependência como membros da sociedade e da sociedade como agente responsável dentro do ecossistema da natureza.
2. Influências mútuas CTS	As relações da tecnologia, ciência e sociedade umas com as outras são claramente apresentadas.
3. Relações com as questões sociais	As relações dos desenvolvimentos tecnológicos e científicos com a sociedade são claramente estabelecidas, no sentido de uma atenção dirigida.
4. Balanço de pontos de vista	O material apresenta um balanço de diferentes pontos de vista sobre questões e opções, sem necessariamente se esforçar por esconder a perspectiva do autor.
5. Tomada de decisões e resolução de problemas	O material empenha os alunos na procura de soluções para problemas e para competências de tomada de decisão.
6. Ação responsável	O material encoraja os alunos para que se envolvam em ações sociais ou pessoais, depois de ponderarem as consequências de valores e efeitos projetados por vários cenários e opções alternativas.
7. Integração de um ponto de vista	O material ajuda os alunos a aventurarem-se para além da matéria do assunto específico até considerações mais alargadas de ciência, tecnologia e sociedade que incluam um tratamento de valores/éticas pessoais e sociais.

Fonte: Santos (2001)

Dito isso, esse segundo momento de análise foca exclusivamente aos Textos Complementares identificados ao longo do capítulo referente ao tema de estudo. Retomamos a definição de Francisco Júnior e Lima (2013) que esses TC são aqueles que se diferenciam do texto base por apresentar tipo e tamanho de letra, aparecimento em caixa ou seção de destaque, algumas vezes, inclusive, já são indicados nos sumários dos livros didáticos de Química.

Após identificação desse material nos livros, o processo de análise se constitui a partir da leitura integral desses TC, de modo a investigar em que medida eles se aproximam, ou não, dos critérios estipulados no Quadro 5 tecendo reflexões a partir dos nossos referenciais teóricos adotados para pensar sobre a abordagem CTS no ensino das Ciências/Química.

Assim como para o primeiro objetivo específico, esclarecemos que os textos que estão registrados ao longo da análise não são necessariamente exclusivos por critério analisado, pois

alguns textos podem contemplar mais de um critério pensado por Santos (2001). O mesmo acontece com o planejamento das atividades. Enfatizamos essa colocação pois a presença de diferentes aspectos da abordagem CTS nessas obras podem ser contemplados por um mesmo trecho citado ao longo do livro, dentro do recorte temático estabelecido.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão estão organizados em dois momentos distintos. O primeiro diz respeito aos contextos de aplicação da Radioatividade, que responde o 1º objetivo específico, conduzindo a análise integral dos capítulos referentes à temática escolhida. De forma similar, o segundo momento direciona o olhar para os Textos Complementares sugeridos ao longo dos livros analisados para a temática Radioatividade, de modo a cumprir com o 2º objetivo específico.

5.1 CONTEXTOS DE APLICAÇÃO DA RADIOATIVIDADE: UM OLHAR A PARTIR DE ASPECTOS DA ABORDAGEM CTS

Ao longo deste tópico, com a finalidade de contemplar o primeiro objetivo específico desse trabalho (Analisar os contextos de aplicação da Radioatividade nos LDQ aprovados no PNLD 2018), bem como oferecer ao leitor uma visão de como os Livros Didáticos de Química (PNLD 2018) abordam os conteúdos curriculares que versam sobre o fenômeno da Radioatividade, fazemos uma análise dos contextos de aplicação sob um olhar da abordagem CTS. Para tal, organizamos o texto de análise e discussão nos subtópicos: aplicações tecnológicas da Radioatividade, aspectos socioeconômicos e sociais relativos à Radioatividade, história e desenvolvimento dos conhecimentos relativos à Radioatividade, impacto de resíduos radioativos no meio ambiente, desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre Radioatividade como produto do trabalho coletivo e se fazem um paralelo entre os benefícios e malefícios das aplicações tecnológicas da Radioatividade.

5.1.1 Aplicações Tecnológicas da Radioatividade

A inclusão da dimensão tecnológica no ensino da Química é fundamental, pois gera nos alunos uma imagem mais adequada da atividade científica, e, sobretudo, ao marcar a Ciência e a Tecnologia enquanto domínios distintos que se influenciam mutuamente (MARTINS, 2003).

O fenômeno da Radioatividade tem inúmeras aplicações tecnológicas, conforme critério 1 do Quadro 9 (p. 75), no contexto dessa pesquisa buscamos identificar se os livros citam:

- 1.a) *Produção de energia elétrica em usinas nucleares.*
- 1.b) *Datação de fósseis, rochas e restos arqueológicos mediante isótopos radioativos.*
- 1.c) *Aplicação de isótopos radioativos na medicina.*
- 1.d) *Aplicações industriais (Alimentícia, Gamagrafia, Agricultura etc.).*

A introdução dos conteúdos relacionados à Radioatividade se divide em quatro grupos dos livros analisados: possibilidades e riscos (livros A, B e C), a descoberta da Radioatividade (livro D) e evolução do modelo atômico (livro E). As aplicações tecnológicas contempladas pelos critérios desse tópico não foram utilizadas como precursoras do tema, ainda que os livros C e D tenham utilizado as aplicações dos radioisótopos na medicina como exemplificação de possibilidades benéficas desse fenômeno no início. Portanto, todos os empregos da Radioatividade mencionados estão dispostos nos conteúdos químicos base ou como informações adicionais.

Livro A

No que se refere ao critério 1.a (se os livros citam a produção de energia elétrica enquanto aplicação tecnológica da Radioatividade), o livro A enfatiza diferentes aspectos sobre a produção de energia elétrica em usinas nucleares. Este livro é breve nesse tópico, mas deixa claro o posicionamento cauteloso e desfavorável quanto à produção de energia por fontes radioativas, se não tomadas todas as medidas necessárias para a implementação das usinas nucleares, no seguinte trecho:

Um dos maiores problemas do uso de reatores nucleares, sem contar a possibilidade de um acidente, são os produtos residuais radioativos, o lixo atômico, produzidos em grande escala, uma vez que o combustível deve ser trocado a cada três ou cinco anos. (LIVRO A, Tópico 'Usina nuclear', p. 280)

E manifesta sua preocupação em um contexto global e nacional da implementação das usinas, bem como sobre a importância de um trabalho integral e complexo dos responsáveis e da população de modo geral ao admitir o uso da energia elétrica proveniente das usinas nucleares. Esse posicionamento trazido pela autora dialoga com Santos e Schnetzler (2015) ao entenderem que um dos objetivos centrais do ensino de Química para uma formação cidadã é avaliar as implicações sociais decorrentes das aplicações tecnológicas da Química. Essa atenção sobre matrizes energéticas nucleares é apresentada ao final do capítulo, quando a

autora indica sobre a quebra dos protocolos de segurança em Chernobyl, como também fragilidades no projeto da usina com a ausência do envoltório de contenção de radioatividade. Não muito diferente, o acidente em Goiânia ocorreu pelo abandono de uma fonte de céscio-137 em um prédio vazio e da desinformação acerca de materiais radioativos pelo catador de sucata e pela comunidade de modo geral. A autora finaliza enfatizando no trecho que:

Vários acidentes semelhantes já ocorreram no mundo todo por causa desse ‘desleixo’ dos responsáveis. (LIVRO A, Tópico ‘Conhecendo o mundo’, p. 285)

O critério 1.b diz respeito à aplicação tecnológica da Radioatividade na datação de fósseis, rochas e restos arqueológicos mediante isótopos radioativos. O Livro A introduz essa aplicação da Radioatividade como subtópico do conceito de meia-vida e restringe-se a datação pelo carbono-14. O texto está organizado inicialmente enfatizando que se trata de uma técnica aplicável em fósseis, animal ou vegetal, ou mesmo um objeto que seja subproduto de um ser vivo, seguida do relato e dos cálculos de um cientista que, em 1994, estimou a idade de uma múmia com base na técnica de datação pelo carbono-14 em uma amostra de linho que a envolvia.

A técnica apresentada pelo Livro A para o conteúdo de tempo de meia-vida, ajuda os estudantes a entenderem a aplicação do conceito em situações reais, e apesar de centrar-se nos aspectos técnicos, o resultado estimando a idade da múmia resgata o papel dos conhecimentos científicos e tecnológicos na construção da história da humanidade (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Se tratando da aplicação de isótopos radioativos na medicina, critério 1.c, identificamos que o Livro A o resgata em dois momentos. O primeiro está inserido na seção ‘De onde vem[...] para onde vai?’ que segundo o livro “discute, de modo simples, as matérias-primas utilizadas, o processo de extração, de obtenção e as aplicações de produtos economicamente importantes” (LIVRO A, p. 5), nesse caso, se dedica a explicar sobre o gerador de tecnécio e sua aplicação na medicina. Com destaque ao processo desse elemento químico no diagnóstico médico e a importância de planejamento prévio devido ao seu tempo de meia-vida, conforme o seguinte recorte:

O diagnóstico médico é feito justamente a partir das radiações gama emitidas por esse isótopo, detectadas em um equipamento especial – contador de cintilação -, que proporciona a imagem do órgão afetado. A vantagem de se usar uma meia-vida considerada bastante curta (6,02 horas); assim, a emissão de radiação gama ocorre por um pequeno espaço de tempo, sem que haja danos significativos à saúde do paciente.

O gerador de tecnécio é feito sob encomenda, e o tempo em que começa a ser montado, o tempo em que será transportado de avião (no caso de ser fornecido a outro estado ou país), até o momento em que está marcado o exame precisam ser

calculados para que tudo se desenvolva satisfatoriamente. (LIVRO A, Tópico ‘gerador de tecnécio’, p. 276)

Em seguida é proposto uma atividade de trabalho em equipe, com o objetivo de conhecer os tipos de radiação utilizada e para que são indicados exames de imagem, tais como: radiografia com contraste, tomografia computadorizada por emissão de pósitrons (PET), dentre outras. O livro A propõe que os estudantes possam dividir os exames pelos grupos e depois compartilhem dos resultados da atividade, aproximando-se de abordagens CTS ao sugerir diálogos entre diferentes grupos, na medida que propõe uma visão mais ampla das aplicações da Radioatividade na sociedade (ACEVEDO DÍAZ, 1996).

Diversas são as aplicações industriais da Radioatividade, critério 1.d, o Livro A na seção ‘Curiosidade’ que apresenta “fatos intrigantes relacionados ao assunto que está sendo desenvolvido, eventos históricos ou discussões extras para o enriquecimento da aula” (p. 5), usa do texto ‘Aplicações pacíficas da radioatividade’ para exemplificar alguns usos industriais da Radioatividade, como

Estudar metabolismo das plantas, marcação de insetos, para: estudar comportamento de insetos e eliminação de pragas, esterilização de insetos machos, marcar um agrotóxico e entender seu ciclo na natureza, gamagrafia industrial, indicar nível de líquido em garrafas, esterilização de materiais da indústria farmacêutica e da saúde. (LIVRO A, Tópico ‘Curiosidade - Aplicações pacíficas da radioatividade’, p. 269)

Todas as aplicações tecnológicas destacadas são resgatadas na seção ‘Compreendendo o Mundo’ (p. 285) para introduzir o texto, que no primeiro parágrafo expõe as aplicações pacíficas da Radioatividade e finaliza enfatizando que, mesmo assim, não podem ser ignorados os riscos inerentes de se trabalhar com esse fenômeno. A compilação dessas informações em uma seção, além de ajudar os estudantes a compreenderem as aplicações da Radioatividade com a vida cotidiana, colaboram para articulação dos benefícios e riscos e, dessa forma, emitir “a sua opinião a partir de um sistema de valores e das informações fornecidas, dentro de um comprometimento social” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 102)

Livro B

O livro B, no subtópico ‘Reator nuclear’, introduz o texto apresentando o caráter contestável da produção de energia elétrica por meio das usinas nucleares (critério 1.a), quando:

A reação nuclear é uma das maneiras de se produzir energia. Seu uso causa inúmeras controvérsias, devido à quantidade de material radioativo que pode ser gerado, muitas vezes de difícil destinação. (LIVRO B, Tópico ‘Reator nuclear’, p. 257)

A discussão sobre a produção desses resíduos radioativos segue no subtópico ‘Lixo Nuclear’, no qual é informado que o lixo nuclear ou lixo atômico é proveniente de inúmeros processos do nosso cotidiano, por isso se faz necessário classificá-los para posterior tratamento de cada resíduo. Essa classificação se dá em função da meia-vida dos resíduos ou quanto ao local que são produzidos, conforme visto no trecho a seguir:

1. Rejeitos institucionais: são aqueles gerados em instalações onde o material radioativo é usado para pesquisa, análises clínicas e outras atividades em que o uso de radiação seja necessário.

2. Rejeitos do ciclo do combustível: são aqueles originados nas atividades em usinas nucleares. Já foi mencionada a poluição térmica causada pela água usada no resfriamento dos reatores em usinas nucleares. Também há grande preocupação, no entanto, com os rejeitos radioativos decorrentes do próprio funcionamento da usina. (LIVRO B, Tópico ‘Lixo Nuclear’, p. 258)

A apresentação de elementos envolvidos no processo de obtenção de energia elétrica por meio de usinas nucleares pode proporcionar a construção de argumentos pelos estudantes, que os ajudem a ponderar sobre as consequências ambientais do desenvolvimento tecnológico (SANTOS; SCHNETZLER, 2015).

Já no fim do capítulo, a energia nuclear é resgatada no contexto do Brasil, em especial, esta informação pode provocar uma reflexão sobre a oferta energética de diferentes tipos de fontes, como visto no recorte e no quadro (Figura 4) que acompanha esse texto:

A energia nuclear corresponde à menor parte da oferta energética brasileira (1,3%). Entretanto, essa fonte oferece grande quantidade de energia quando comparada às demais. (LIVRO B, Seção ‘Química e física - energia nuclear’, p. 268)

Figura 4 – Quadro diferenças de fontes e suas ofertas energéticas - Livro B

Material	Tipo de transformação	Poder calorífico (kJ/g)
urânio	fissão	$8,25 \times 10^7$
gás natural	combustão	54
gasolina	combustão	47
carvão mineral (hulha)	combustão	32
carvão vegetal	combustão	31
etanol	combustão	30

Fontes de pesquisa: USP. Disponível em: <http://www.usp.br/qambiental/combustao_energia.html>; Conselho Regional de Química – IV Região. Disponível em: <http://crq4.org.br/default.php?p=texto.php&tc=quimicaviva_energianuclear>. Acessos em: 23 mar. 2016.

Fonte: Livro B (2016, p. 268)

Ainda que não tenha sido proposto pelo Livro B, seria possível a adaptação desse material para a construção de problemas sociocientíficos ou fóruns e debates, se aproximando das propostas de Teixeira (2003) sobre a necessidade de múltiplas estratégias e recursos didáticos, para uma prática que se reforça os objetivos da abordagem CTS.

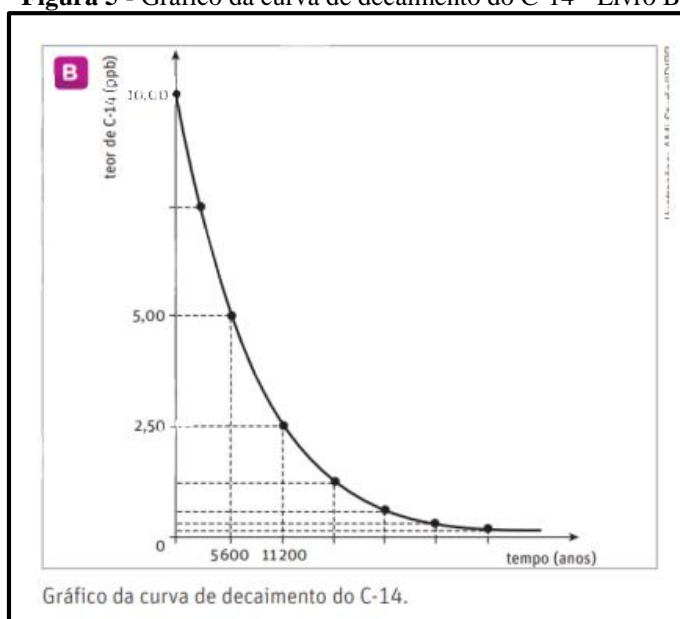
A segunda aplicação tecnológica observada no Livro B é introduzida pelo conteúdo de ‘séries radioativas’, seguida dos subtópicos de ‘transmutação artificial’, ‘meia-vida ou período de semidesintegração’ nos levando a aplicação da técnica de datação com o carbono-14 (critério 1.b), seguida da datação com o urânio e o potássio.

A datação pelo carbono-14, no Livro B, é fundamentada pela fotossíntese realizada pelas plantas, na qual elas incorporam o gás carbônico no processo de produção de energia para sua manutenção, incluindo seu único isótopo radioativo, o C-14. A explicação dada no trecho do livro é:

Nas cadeias alimentares, esses isótopos [do carbono] são transferidos aos outros seres, na mesma proporção em que estão na atmosfera ou nas plantas. A partir do momento em que um ser morre, deixa de incorporar átomos de carbono e, assim, o seu teor de C-14 começa a diminuir. Por conta disso, o C-14 é utilizado para datação de fósseis e de objetos antigos, como tecidos, utensílios de madeira, pergaminhos, etc. (LIVRO B, Tópico ‘datação com o carbono-14’, p. 251)

Esse texto é acompanhado de um gráfico de decaimento do C-14 em função do tempo (Figura 5), no qual a curva de decaimento em relação ao tempo é uma função exponencial, em que a atividade radioativa do C-14 tende a zero à medida que o tempo tende ao infinito.

Figura 5 - Gráfico da curva de decaimento do C-14 - Livro B



Fonte: Livro B (2016, p. 251)

Entre a datação com o C-14 e a datação com o urânio e o potássio, é apresentado como material complementar um texto que destaca a relação da Química e da Biologia desse tema, enfatizando sua descoberta na década de 1940 por Willard Libby, e retomando a explicação da fotossíntese e seu ciclo biológico.

Ainda que o livro busque, na linguagem escrita, estabelecer um caráter interdisciplinar dessa aplicação da Radioatividade, não se propõe uma atividade com essa natureza, podendo por exemplo ser explorado um projeto entre a Química (tempo de meia-vida), da Biologia (ciclo do carbono no processo de fotossíntese) e da matemática (construção de gráficos que envolvam curva de decaimento) para os estudantes em sala de aula, estabelecendo interfaces entre diferentes áreas do saber (ABREU; LOPES, 2019; BRASIL, 2017).

O texto sobre a datação com o urânio e o potássio elucida as limitações da datação com o C-14 à materiais de origem orgânica, reforçando a ciência enquanto construção humana e mutável (SOLOMON, 1988; STRIEDER, 2012) e justifica sua importância quando:

A medição de outros isótopos radioativos, como o urânio e o potássio, permite a datação de rochas. Isso é possível devido ao fato de os tempos de meia-vida desses isótopos naturais serem muito longos. [...]

Esse tipo de datação é importante, pois permite estimar a idade da Terra, uma vez que se acredita que os minérios de urânio existam desde a formação do planeta.

Nesse método, tritura-se a rocha ou o fóssil e mede-se a quantidade de argônio que é liberada. Pela relação entre o argônio e o potássio estima-se a idade das rochas e dos fósseis. (LIVRO B, Tópico ‘datação com o urânio e o potássio’, p. 252)

O valor dessa última técnica é retomado no Texto Complementar ‘A radioquímica e a idade da Terra’ (p. 264), organizada no pilar ‘visão crítica’, que segundo o livro busca “contribuir para que você seja capaz de entender a realidade que o cerca e refletir sobre seu papel nessa realidade, desenvolvendo, dessa maneira, sua visão crítica” (LIVRO B, p. 4), designando o texto com abordagem de ciência, tecnologia e sociedade. O texto retrata a notoriedade da técnica da datação do tempo geológico, com a utilização da Radioatividade para medir a idade de amostras de rochas, utilizada por Rutherford, em 1905, pondo um fim as especulações acerca da idade da Terra por teólogos, biólogos e geólogos da época, como também construiu de forma mais precisa a escala do tempo geológico.

Como é sugerido no pilar desse texto, é evidente a relação das dimensões da Ciência, Tecnologia e Sociedade. O desenvolvimento da técnica de datação das rochas (Tecnologia), impulsionou o desenvolvimento de teorias científicas influenciando o pensamento das pessoas para solução de problemas e mudanças de paradigmas (efeito da Ciência sobre a Sociedade) conforme um dos aspectos da abordagem CTS de Mckavanagh e Maher (1982), trazido por Santos e Schnetzler (2015).

A menção ao uso da Radioatividade na medicina (critério 1.c) se dá no subtópico ‘Medicina’ (p. 252), em que o livro foca em exemplificar as funções de alguns radioisótopos utilizados na medicina nuclear, por exemplo o uso sódio-24 no estudo de lesões vasculares e mapeamento do coração ou do iodo-131 para diagnosticar doenças da tireoide, corroborando com as sugestões de documentos oficiais para o ensino da Radioatividade (BRASIL, 2002).

No que se refere às aplicações tecnológicas da Radioatividade na indústria (critério 1.d), o Livro B, no subtópico ‘Agricultura, indústria e alimentação’, dedica um parágrafo para cada uma dessas aplicabilidades com base no conteúdo que vinha sendo trabalhado de séries radioativas, conforme trecho extraído do livro:

Como as radiações gama atravessam os materiais menos densos, elas podem ser utilizadas para esterilização de materiais cirúrgicos e alimentos. Devido a sua capacidade ionizante, porém, alguns alimentos, ao serem irradiados, se deterioram. Isso ocorre, por exemplo, com o leite e seus derivados.

Já na agricultura utiliza-se o P-32 como radiotraçador para verificar a absorção de fertilizantes pela planta. Essa técnica permite observar qual parte da planta utiliza o nutriente.

Na indústria, várias atividades utilizam radioisótopos, como a detecção de falhas em lâminas metálicas, a ionização de materiais pela radiação gama para formar radicais livres em reações de polimerização e a localização de pequenos vazamentos em tubulações de água. (LIVRO B, Tópica ‘agricultura, indústria e alimentação’, p. 252)

A menção dessas aplicações da Radioatividade nos diferentes ramos industriais, inclui no repertório dos estudantes sobre o desenvolvimento da capacidade para efetuar avaliações tecnológicas. Nessa linha, o professor de Química pode trabalhar discussões abrangentes dessas tecnologias no cotidiano, como proposto por Santos e Schnetzler (2015, p. 106) “estudar os direitos do consumidor, tanto no que diz respeito à legislação quanto às conquistas que ainda virão, como o acesso igualitário aos produtos da tecnologia química”.

Livro C

A transformação da energia nuclear em energia elétrica (critério 1.a) compõe duas seções no Livro C: oferta energética e impactos das usinas nucleares e usinas nucleares no Brasil. Para o primeiro momento, há uma breve introdução do fenômeno de fissão nuclear, situando o estudante sobre o potencial energético da fissão do ^{235}U para bombas atômicas ou, de forma controlada, em reatores nucleares (LIVRO C, p. 25).

A oferta energética e os impactos das usinas nucleares, apresentada pelo Livro C, dá ênfase nos valores numéricos que comparam o produto de diferentes matrizes, inseridos em contextos que ponderam os efeitos da construção de usinas nucleares, observados no trecho:

Durante muito tempo, diversos países, entre os quais os europeus, priorizavam as usinas termelétricas, que têm o grave inconveniente de poluir o ar e de contribuir para o agravamento do efeito estufa. Por isso, nas últimas décadas, muitos desses países têm investido em projetos de construção de reatores nucleares visando à produção de eletricidade.

A tecnologia nuclear, no que se refere à construção da usina e à obtenção do combustível, é extremamente cara. Por outro lado, a quantidade de energia que se pode obter nos processos nucleares é excepcionalmente maior do que a obtida em combustões comuns.

Quando 1g de ^{235}U sofre fissão, obtêm-se 20 milhões de kcal, enquanto 1g de petróleo fornece, aproximadamente, 11 kcal, e 1g de álcool comum, 7 kcal.

Apesar da quantidade de energia que fornecem, as usinas nucleares têm sido muito questionadas por causa do risco de acidentes, que, quando ocorrem, apresentam consequências muito sérias e podem continuar afetando o ambiente muitos anos após o acidente (LIVRO C, Tópico ‘Reatores nucleares: fontes de energia’, p. 33-34).

O contexto dado sobre os primeiros propósitos para a implementação da energia elétrica por meio de fontes nucleares, juntamente de um conjunto de informações dadas sobre possibilidades e riscos sobre uso da Radioatividade, colaboram para uma abordagem CTS no desenvolvimento do julgamento crítico e político. Isso porque Santos e Schnetzler (2015, p. 102) consideram dois objetivos para esse tipo de ensino: “ (i) o fornecimento de informações básicas para o indivíduo compreender e assim participar ativamente dos problemas relacionados à comunidade em que está inserido; (ii) o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão” partindo de um sistema de valores e das informações dispostas.

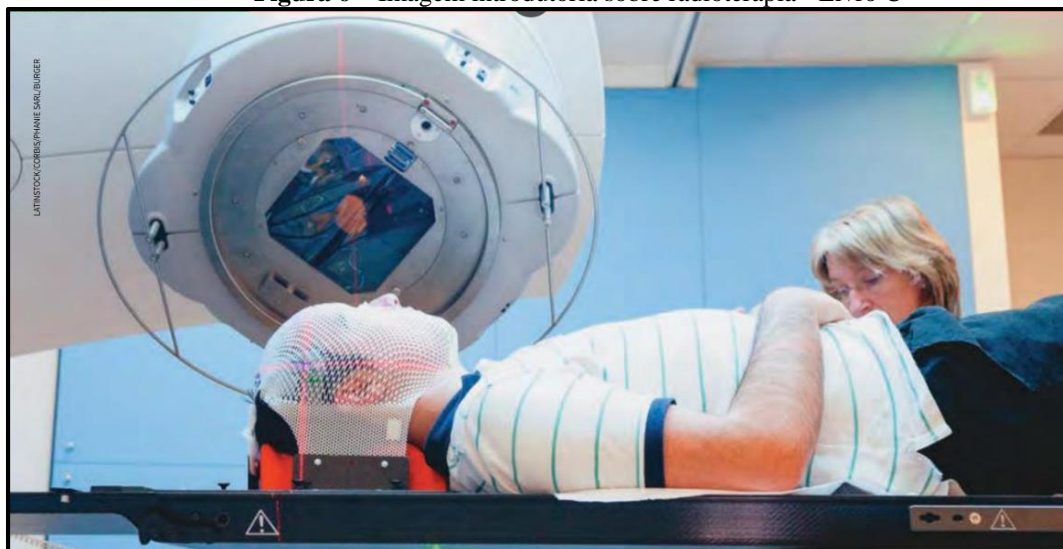
Dando continuidade, no tópico ‘usinas nucleares no Brasil’ o texto reforça as polêmicas que envolvem os debates entre os especialistas envolvidos no assunto. A pauta das discussões implica fatores: políticos, que tem marco o acordo nuclear Brasil-Alemanha em 1975; ambientais, pelo potencial hidrelétrico do Brasil; sociais, pela demanda energética necessária para abastecer as grandes cidades; e de segurança pública, referente aos atrasos do funcionamento das usinas Angra I e II decorrentes de ações judiciais, que cobravam um plano de emergência que viabilizasse a retirada da população em caso de acidente.

Assim como estipulado em documentos oficiais da educação (BRASIL, 1999; 2017), a importância de se trabalhar na realidade próxima do estudante se dá na sua participação com o contexto local, regional ou nacional, bem como mobiliza discussões ambientais, éticas, políticas e históricas (SANTOS; MORTIMER, 2002) constituindo um conjunto de elementos que se complementam visando concretizar objetivos propostos para o currículo CTS (FIRME, 2007), além de destacar o efeito da Sociedade sobre a Tecnologia, que envolve pressões dos órgãos públicos e de empresas privadas influenciando a direção da solução do problema (SANTOS; SCHNETZLER, 2015).

O Livro C, diferentemente dos demais, apresenta a técnica de datação (critério 1.b) no último tópico referente aos conteúdos de Radioatividade, intitulado ‘Outros usos da radioatividade’, falando um pouco sobre indústria, agricultura, conservação de alimentos e por fim geologia e arqueologia. A técnica é explicada por meio do ciclo dos isótopos do carbono na natureza, perpassando por toda a cadeia alimentar e apresentam a curva de decaimento do isótopo do C-14. Apesar da menção à técnica, observamos seu caráter puramente informativo, em que os aspectos relativos à Ciência não incluem sua natureza filosófica, sociológica, política etc (SANTOS; MORTIMER, 2002).

No capítulo 1, Estudo da radioatividade, suas aplicações e implicações ambientais, o Livro C apresenta a Figura 6, que introduz a temática com uma das aplicações mais importantes da Radioatividade, na saúde (critério 1.c), com a seguinte legenda:

Figura 6 – Imagem introdutória sobre radioterapia - Livro C



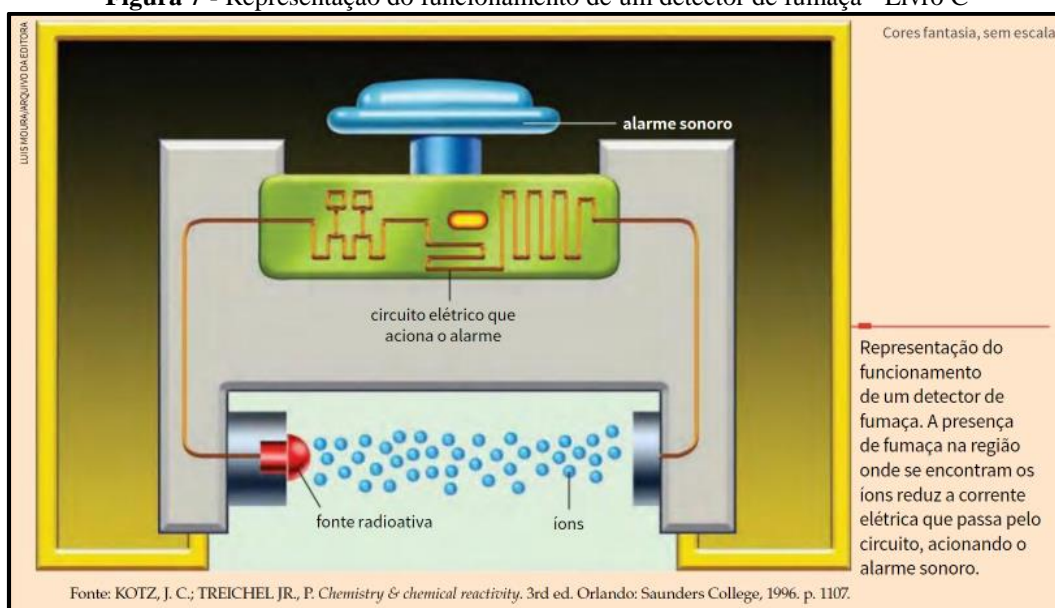
Fonte: Livro C (2016, p. 12)

A radioterapia é uma técnica utilizada para destruir células tumorais. Na radioterapia externa, a fonte da radiação é deslocada de seu compartimento de segurança, blindado, dentro do equipamento, e posicionada sobre um orifício que permite a passagem de um feixe de radiação concentrado sobre a região tratada. (LIVRO C, Introdução, p. 12)

O texto que sucede destaca que, embora a Radioatividade seja frequentemente associada a algum malefício, esse fenômeno, bastante comum, tem tido inúmeras aplicações na sociedade e nas ciências, cumprindo com os objetivos sugeridos pelos PCN em que o estudante deve compreender as transformações nucleares que dão origem à Radioatividade para reconhecer sua presença em sistemas tecnológicos (BRASIL, 2002).

Das coleções selecionadas, o Livro C é o que dedica mais espaço para discutir as aplicações industriais da Radioatividade. O primeiro Texto Complementar é apresentado na seção ‘Conexões’, onde “os conceitos químicos desenvolvidos no capítulo são relacionados aos de outras áreas da Ciência ou a situações do cotidiano” (LIVRO C, p. 4), destacando a relação da Química e da tecnologia nos detectores de fumaça, explicando seu funcionamento, observado na Figura 7 (p. 22).

Figura 7 - Representação do funcionamento de um detector de fumaça - Livro C



Fonte: Livro C (2016, p. 22)

Apesar do foco ser nas relações da Química com a Tecnologia, o texto traz alguns elementos que se insere em um quadro teórico CTS, isso porque o funcionamento técnico (Tecnologia) é observado na Figura 7, a química é explorada na explicação do uso do radioisótopo amerício-241 (Ciência) nesse equipamento e seu funcionamento colabora para prevenir incêndios domésticos e ‘denunciar’ fumantes que burlam regulamentos de determinados espaços (Sociedade). Ao final do texto é apresentado a referência do texto integral e duas questões que os estudantes são capazes de responder com base nos conteúdos trabalhados e das informações disponíveis no texto.

Para além disso, no final do capítulo, onde se discute os contextos de aplicação na indústria, agricultura, conservação de alimentos e geologia e arqueologia, com exceção do subtópico Indústria, os demais contêm a explicação do processo, seguido de um Texto Complementar que exemplifica a temática em um contexto aplicado e questões referentes à leitura prévia. Como exemplo, no subtópico Agricultura, é apresentada, entre outras coisas, o uso de isótopos radioativos para controle de insetos nos locais de plantio (Figura 8, p. 35).

Figura 8 – Excerto do tópico ‘Agricultura’ - Livro C**Agricultura**

A obtenção de variedades melhoradas de vegetais a partir de mutação natural pode requerer anos de produção e seleção. Com a irradiação de sementes e plantas, é possível aumentar em cerca de mil vezes a taxa de mutações genéticas. Dessa forma, podem-se obter plantas que produzam mais, amadureçam em períodos menores e sejam mais resistentes a doenças.

A erradicação de insetos que são considerados pragas agrícolas ou que transmitem doenças pode ser conseguida com a irradiação de machos. Após esse tratamento, eles se tornam estéreis e são liberados no local em que se deseja controlar o número desses insetos. Eles competem pelas fêmeas com os machos férteis, o que acaba reduzindo o número de descendentes. Após algumas gerações, é possível que o local fique livre deles.

Além disso, o uso de isótopos radioativos permite o estudo do crescimento, do metabolismo e da absorção de nutrientes, garantindo avanços tecnológicos na produção agrícola.

Fonte: Livro C (2016, p. 35)

Ainda, o subtópico Conservação de alimentos apresenta no Texto Complementar 'O que é irradiação de alimentos?', que é um meio de aumentar a vida útil e o tempo de prateleira de alguns produtos, sua influência nas características organolépticas, a perda nutricional e defende que essas alterações não são nocivas ou perigosas à saúde. Por fim, as atividades propostas estão inclinadas às questões políticas que circundam esse tema como a número 2, que questiona:

- 2) A irradiação de alimentos é regida por legislação. Faça uma pesquisa sobre o assunto e apresente sugestões de procedimentos que possam garantir à sociedade que a ingestão desse tipo de alimento não irá causar problemas à saúde das pessoas. (LIVRO C, Atividades, p. 37)

A presença desse tipo de questão para uma formação para o exercício da cidadania o estudante deve ser capaz de “desenvolver a capacidade discriminatória para decidir que informação e conhecimento são relevantes para resolver criticamente algum problema específico no campo sócio-tecnológico” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 77), além de privilegiar discussões de questões sociocientíficas.

Livro D

O Livro D foi organizado de modo que os capítulos carregam um tema geral e divide-se em temas específicos. Para o tema Radioatividade, o livro o contempla no capítulo 3, A Química na Medicina, no último tema 4, Medicina Nuclear (critério 1.c). Essa seção organizou os conteúdos em: Breve histórico sobre a descoberta da radioatividade, os principais tipos de radiação nuclear, efeitos biológicos das radiações, radioterapia, o acidente

com o céσιο-137, exames nos quais se utiliza radioatividade: tomografia e cintilografia, e a cinética do decaimento nuclear.

Ainda que o conteúdo se desenvolva em torno da temática medicina nuclear, no que se refere a aplicações diretas, o tópico ‘Radioterapia’ traz sobre o uso de isótopos radioativos incididos de forma externa e interna, como apresentado na Figura 9:

Figura 9 – Uso de isótopos radioativos na radioterapia – Livro D

- externa (teleterapia), em que a fonte de emissão de radiação é posicionada próximo da parte do corpo a ser tratada (veja a imagem a seguir). Nesse caso, fontes de radiação ionizante mais potentes são utilizadas;



Aparelho de radioterapia externa, no qual se utiliza raios X, raios γ e feixes de elétrons. O técnico que opera o aparelho fica na sala de controle.

- interna (braquiterapia), em que as fontes são implantadas com agulhas no paciente (veja a imagem a seguir) e a radiação é liberada diretamente na parte do corpo em que a doença se manifesta. Para fazer uso desse método, o paciente deve estar sob efeito de anestesia, mas o procedimento não é considerado cirúrgico.



Radiografia colorizada por computador de uma braquiterapia do câncer de próstata. Os pontos vermelhos, com cerca de 4 mm cada um, são as fontes de radiação implantadas na glândula do paciente.

Fonte: Livro D (2016, p. 166)

Outra aplicação ainda nessa temática, é apresentado em ‘Exames nos quais se utiliza radioatividade: tomografia e cintilografia’, em que o Livro D esclarece o princípio de ambos os exames. O livro traz que o princípio do PET, por exemplo, se baseia no fato de que a maior parte das células do tumor maligno apresenta metabolismo energético anormal, com consumo energético muito maior do que o das células saudáveis e, assim, consome maiores quantidades

de glicose em função do tempo, que favorece a detecção da ^{18}F -FDG em células tumorais pelo equipamento de PET. Enquanto a cintilografia consiste na imagem produzida pelos registros da Radioatividade, capturados por um detector sensível à radiação, emitida pelos radiofármacos administrados ao paciente.

Por fim, o Livro D traz duas imagens (bidimensional e tridimensional) geradas pelo exame de cintilografia, como também um quadro que mostra a relação de radioisótopos utilizados em diferentes exames cintilográficos, visto na Figura 10 (p. 169) a seguir:

Figura 10 – Quadro ‘Relação de radioisótopos utilizados em cintilografia’ - Livro D

Relação de radioisótopos utilizados em cintilografia			
Análise	Radioisótopo	Objetivo	Diagnóstico
Osso	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Avaliar a distribuição óssea em locais específicos.	Artrites, estresse ósseo, fratura oculta, câncer de osso.
Coração	^{201}Tl	Avaliar o fluxo sanguíneo das veias e artérias.	Risco de infartos, isquemias, visualização da mortalidade das paredes e medição do fluxo arterial.
Pulmão	^{133}Xe , ^{127}Xe , ^{81}Kr ou $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Avaliar atividade inflamatória pulmonar.	Embolia pulmonar, câncer e problemas relacionados.
Cérebro	^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ou ^{123}I	Avaliar a função cerebral por meio de medidas de fluxo sanguíneo.	Alzheimer, epilepsia, confirmação de morte cerebral, danos cerebrais, esquizofrenia, acidentes vasculares cerebrais e câncer.
Tireoide	^{123}I ou ^{131}I	Avaliar o funcionamento da glândula tireoide	Deficiência hormonal produzida pela tireoide, nódulos e câncer

Fonte consultada: ZIESSMAN, H. A. et al. *Medicina nuclear*. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 6-8.

Fonte: Livro D (2016, p. 169)

Observamos que para o Livro D, que não há separação entre tema e conteúdo, o que se busca sempre é a melhor articulação possível entre suas abordagens. Entretanto, ainda que seja contemplado algumas das aplicações da Radioatividade na medicina, a obra prioriza aspectos científicos e tecnológicos, indo de encontro às propostas de Santos (2001) quando sugere que materiais didáticos CTS apresentem, entre outras coisas, aspectos de balanço de ponto de vista, resolução de problemas e ações responsáveis.

Livro E

O Livro E, por tratar dos conteúdos referentes à Radioatividade no desenvolvimento dos modelos atômicos, não cumpre necessariamente com os critérios adotados por essa pesquisa. A única menção observada às aplicações tecnológicas da Radioatividade se encontra quando se introduz o modelo atômico de Thomson (p. 158), e o texto realça a impossibilidade de imaginar o mundo atual sem energia elétrica e, para suprir essa demanda, várias são as

fontes energéticas são utilizadas, dentre elas as reações atômicas envolvidas nas usinas nucleares (menção que se aproxima do critério 1.a).

Em síntese, o Quadro 10 a seguir apresenta a presença das aplicações tecnológicas da Radioatividade nas cinco obras analisadas:

Quadro 10 - Livros que citam aplicações tecnológicas da Radioatividade

Crítérios	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Crítério 1.a	X	X	X	-	X
Crítério 1.b	X	X	X	-	-
Crítério 1.c	X	X	X	X	-
Crítério 1.d	X	X	X	-	-

Fonte: Autor (2022)

Observamos que para o critério 1.a, se os livros citam a produção de energia elétrica como aplicação tecnológica da Radioatividade, quatro dos cinco livros a contemplam (Livros A, B, C e E). A autora do Livro A posiciona-se explicitamente sobre a cautela e as devidas ponderações quanto a adoção desse tipo de fonte energética. Tal fato é justificado pelos resíduos radioativos gerados e os acidentes envolvendo elementos radioativos marcados na história humana. O Livro B apresenta o caráter contestável da adoção desse tipo de procedimento, assim como o Livro A, pelo material radioativo produzido, entretanto pondera-se o custo-benefício comparado à outras matrizes energéticas. O Livro C traz essa aplicação da Radioatividade após a introdução do conceito de fissão nuclear e, assim como o Livro B, apresenta ponderações de custo-benefício da adoção dessa fonte energética e resgata o Brasil nesse contexto, com as usinas nucleares Angra I e II. Enquanto que o Livro E apenas menciona a possibilidade de produção de energia elétrica por meio das usinas nucleares.

Segundo os dados organizados no Quadro 10, o critério 1.b, se citam a datação de fósseis, rochas e restos arqueológicos mediante isótopos radioativos enquanto aplicação tecnológica da radioatividade, é contemplado por três dos cinco livros (Livros A, B e C). Os Livros A e C introduzem a datação fóssil pelo C-14, pelo conteúdo de tempo de meia-vida, enquanto o Livro C utiliza do ciclo do C na natureza para explicar o princípio dessa técnica e é a única obra a propor atividades vinculadas ao conteúdo trabalhado. Além disso, dos três livros analisados, o Livro B é o único que resgata a datação com urânio e potássio, destacando não só outras possibilidades de se trabalhar com elementos radioativos, mas respaldados pelas limitações da técnica de datação pelo C-14.

Quanto ao critério 1.c, se citam a aplicação de isótopos radioativos na medicina enquanto aplicação tecnológica da Radioatividade, é contemplado por quatro dos cinco livros

analisados (Livros A, B, C e D). Para tratar dessa aplicação, o Livro A apresenta o gerador de tecnécio, sua aplicação em exames de imagem e a importância dos conhecimentos científicos envolvidos nessa técnica, como a atenção para o tempo de meia-vida do tecnécio e sua eficácia enquanto elemento radioativo em decaimento. Os demais livros (B, C e D) escolhem explicar sobre os diferentes tipos de radiofármacos associados a diferentes exames de imagem, como o PET e outros tipos de cintilografia, e a radioterapia como possibilidade para destruir tumores ou impedir o crescimento desse tipo de célula, utilizando radiações ionizantes. Para esse critério o Livro A ganha destaque por ser o único a apresentar atividades relacionada à técnica trabalhada no texto e ao Livro C por ser o único a destacar a importância dos equipamentos de proteção individual por técnicos radiológicos, ainda que seja uma aplicação benigna da Radioatividade.

Por fim, o critério 1.d, se citam aplicações da Radioatividade na indústria, é contemplado por três dos cinco livros analisados (Livros A, B e C). Todos os livros que a consideram, demonstram a importância dessa técnica na indústria (para detectar danos e desgastes em maquinários, indicar nível de líquido em garrafas, localizar pequenos vazamentos em tubulações de água), na agricultura (para marcação de insetos, esterilização de insetos machos, marcação de agrotóxicos e fertilizantes), na esterilização de materiais da indústria farmacêutica e da saúde e para a irradiação de alimentos. O Livro C ainda ganha destaque por apresentar atividades relacionadas ao conteúdo trabalhado.

Ainda que essas aplicações tecnológicas da Radioatividade não sejam comuns à todas as obras analisadas, vemos que são citadas por pelo menos metade dos livros aprovados pelo PNLD 2018. Observamos também que a produção de energia elétrica por meio de matrizes radioativas e aplicações da Radioatividade na medicina são tratados com maior ênfase pelos livros, além de importantes podem ajudar os estudantes a construir uma visão integrada desses contextos na realidade nacional, ou até mesmo local.

Antes de seguir para os demais tópicos, é necessário esclarecer que os textos que estão registrados ao longo da análise não são necessariamente exclusivos por critério analisado, pois alguns textos tratam de diferentes aplicações em um mesmo recorte. O mesmo acontece com o planejamento das atividades. Enfatizamos essa colocação pois a presença de diferentes aspectos da perspectiva CTS nessas obras podem ser contemplados por um mesmo trecho citado ao longo do livro, dentro do recorte temático estabelecido.

5.1.2 Aspectos Socioeconômicos e Políticos Relacionados à Aplicações Tecnológicas da Radioatividade

Um dos aspectos fundantes do movimento CTS é o estudo das circunstâncias políticas, sociais e econômicas que influenciam o desenvolvimento científico-tecnológico e vice-versa (critério 2). Atualmente, a direção de políticas públicas que o CTS assume, busca promover a criação de mecanismos democráticos facilitadores da abertura de processos de tomada de decisão, e dá suporte a direção dos objetivos educacionais da abordagem CTS, ao passo que esta almeja a formação de cidadãos que consigam compreender e, sobretudo, intervir socialmente – e com critérios científicos – em questões socioeconômico-político e ético-moral (VON LINSINGEN, 2004). No caso do ensino da Radioatividade sob uma abordagem CTS, esses aspectos são essenciais; de certo, seu desenvolvimento e aplicações marcam alguns dos episódios mais polêmicos da história humana recente (GARCÍA-CARMONA; CRIADO, 2008).

A seguir, apresentamos a análise referente ao critério 2, disposto no Quadro 9 (p. 75):

Critério 2: Se [os livros didáticos] fazem alusão a influência da ciência e das tecnologias relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social e vice-versa.

Livro A

Encontramos na seção ‘Compreendendo o mundo’, o parecer da autora sobre a influência que aplicações tecnológicas da Radioatividade nas relações de poder existentes aos países que as dominam, no seguinte trecho:

Vimos que dominar a tecnologia do enriquecimento de urânio e possuir armas nucleares faz um país ser ‘levado a sério’. Em busca desse objetivo ou de outros menos evidentes, países como a Coreia do Norte e o Irã estão seguindo por esse caminho, mesmo sem o aval da Organização das Nações Unidas (ONU), deixando o mundo apreensivo.

Isso sem contar a possibilidade, ainda que remota, de um ataque terrorista com armas nucleares ou com materiais radioativos retirados de aparelhos destinados a aplicações pacíficas. (LIVRO A, Tópico ‘Compreendendo o mundo’, p. 285)

Nesse sentido, Santos e Schnetzler (2015) destacam que para um ensino de Química que contemple os princípios da abordagem CTS, se faz necessário focar sobre “as contradições sociais que a revolução química provocou em nossa sociedade, discutindo com

os alunos quem são os verdadeiros beneficiários da riqueza produzida, a exploração exercida pelos grupos dominantes e as consequências ambientais do desenvolvimento tecnológico.” (p. 106).

Livro B

Em nenhum momento no decorrer dos textos base e complementares do Livro B vemos alusão a influência da ciência e das tecnologias relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social e vice-versa.

Livro C

O impacto social e econômico referente à Radioatividade é apresentada na introdução do capítulo 1 do Livro C, referenciando os primórdios desse fenômeno e o fascínio que existia quando se expunha suas aplicações para benefício para a sociedade, visto em:

A divulgação da descoberta do rádio e de suas propriedades (as manchetes relativas a ele geralmente ocupavam a página de rosto dos jornais, tal como já ocorrera com os raios X, passassem a vê-la como um novo e encantador fenômeno. [...])
A partir de 1910, começaram a circular revistas e informativos científicos na Europa e nos Estados Unidos destinados particularmente a jovens. Nessas publicações, os grandes feitos com base no progresso científico eram explicados em detalhe e em linguagem acessível a esse público-alvo. A radioatividade ocupava espaço privilegiado em muitas de suas edições, tendo como foco o rádio e suas aplicações comerciais da época (medicina e manufatura de tintas luminosas) e possíveis novos usos (por exemplo, fonte de energia e combustível) (LIVRO C, Tópico ‘Para situá-lo’, p. 12-13).

Não muito diferente dos dias atuais, Silva e Simões Neto (2012) destacam o fascínio desse fenômeno pelo apelo em filmes, livros, desenhos e quadrinhos. Ao final da leitura são apresentadas atividades com base nas informações dispostas na introdução do capítulo, das quais a terceira diz respeito ao efeito da Tecnologia sobre a Sociedade relativas aos fenômenos radioativos, quando questiona:

3. O texto menciona que invenções como telefone, cinema, automóvel, avião, rádio, etc. Revolucionavam o modo de ver, pensar e viver o cotidiano. Você concorda com essa afirmação? Você acha que novas invenções continuam mudando o dia a dia das pessoas? (LIVRO C, ‘Atividades’, p. 13)

O livro propõe um paralelo entre o fascínio das descobertas científicas e tecnológicas na sociedade do passado, e fazem os estudantes refletirem sobre essa mesma dinâmica atualmente. Esse exercício confere um aspecto da abordagem CTS, já que “a tecnologia

disponível a um grupo humano influencia grandemente o estilo de vida desse grupo” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 69)

O contexto de influência política também moldou como a história da Radioatividade se deu, e conseqüentemente as intencionalidades dos líderes das nações quanto às suas aplicações. O Livro C expõe essa característica, ao citar a física austríaca Lise Meitner que, no período nazista deixou a Alemanha e foi para a Suécia, levando consigo informações sobre a fissão nuclear, por entender o potencial destrutivo da energia liberada pelo núcleo do urânio.

Seguido pelo tópico ‘Energia atômica e destruição’, o livro exemplifica as relações de poder e as influências políticas dos Estados Unidos no ataque às cidades de Hiroshima e Nagasaki (Figura 11), visto que os EUA já tinham conhecimento da potência da bomba atômica pela detonação na região do Novo México, em julho de 1945.

Figura 11 - Destruição causada pela bomba atômica em Hiroshima – Livro C



Fonte: Livro C (2016, p. 25)

Na seção ‘Conexões’, o texto ‘A bomba atômica e a Guerra Fria’, que, segundo o livro, relaciona as disciplinas de história e Química (tendo possibilidade de se trabalhar geografia, física e sociologia), traz o maior exemplo de conflito político-ideológico, que perdurou de 1947 a 1991, entre os Estados Unidos e a União Soviética. No texto é dito que:

Depois dos Estados Unidos, a União Soviética também obteve a tecnologia para construir bombas atômicas. Começou então um período da história do século XX que ficou conhecido como Guerra Fria e que se estendeu do final da Segunda Guerra Mundial até 1989, quando a União Soviética se desintegrou.

[...]

Gerações inteiras se criaram à sombra de batalhas nucleares globais que, acreditava-se firmemente, podiam estourar a qualquer momento, e devastar à humanidade (LIVRO C, 'A bomba atômica e a Guerra Fria', p. 26).

Essa discussão, fortemente política, é acompanhada de três questões ao final da leitura. Delas, a última faz com que os estudantes reflitam sobre as relações internacionais e as relações de poder, considerando o poder do domínio das tecnologias que utilizam da Radioatividade. A questão traz que:

3. Atualmente, a posse da bomba atômica não está mais restrita a um ou dois países do mundo.

a) Você sabe dizer o nome de outros países que possuem a bomba atômica? Caso não saiba, procure em livros de história ou em *sites* confiáveis, como de jornais ou universidades.

b) Em sua opinião, o planeta Terra sofre risco de destruição devido ao fato de vários países possuírem bombas atômicas? (LIVRO C, 'A bomba atômica e a Guerra Fria', p. 26).

No tópico 'Reatores nucleares: fonte de energia', o Livro C discorre sobre o impacto econômico e ambiental dos países na escolha da produção de energia elétrica, visto no seguinte recorte:

Durante muito tempo, diversos países, entre os quais os europeus, priorizavam as usinas termelétricas, que têm o grave inconveniente de poluir o ar e de contribuir para o agravamento do efeito estufa. Por isso, nas últimas décadas, muitos desses países têm investido em projetos de construção de reatores nucleares visando à produção de eletricidade.

A tecnologia nuclear, no que se refere à construção da usina e à obtenção do combustível, é extremamente cara. Por outro lado, a quantidade de energia que se pode obter nos processos nucleares é excepcionalmente maior do que a obtida em combustões comuns (LIVRO C, Tópico 'Reatores nucleares: fonte de energia', p. 33).

Além disso, no Brasil, é dito que as questões socioeconômicas e políticas sobre a adoção desse tipo de energia concentram-se em análises ambientais e de natureza estratégica. No quesito econômico os autores destacam que as usinas nucleares deveriam ter papel complementar ao das hidrelétricas, sem, no entanto, substituí-las. No quesito político, os autores resgatam os primeiros esforços da implementação desse tipo de tecnologia em território nacional, no trecho:

O acordo nuclear Brasil-Alemanha, assinado em 1975 pelo então presidente Ernesto Geisel, teve no meio científico muitos opositores, principalmente em razão de o acordo incluir a adoção de tecnologia estrangeira e também pelo tipo de reatores previstos (LIVRO C, Tópico 'Usinas nucleares no Brasil, p. 34).

Esse tipo de discussão é importante em uma abordagem CTS, para “preparar os estudantes para a filiação e participação nos sistemas políticos e socioeconômicos” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 77) e, assim, compreender o efeito da Sociedade sobre a Tecnologia, verificando as influências dos órgãos de esfera pública e privada na solução de problemas e promovendo mudanças tecnológicas.

Livro D

Para os trechos que contemplam a temática Radioatividade, no Livro D, não identificamos referência as influências da ciência e das tecnologias relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social nos textos.

Livro E

Não há menção das influências da ciência e das tecnologias relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social no material analisado do Livro E.

Apesar de breve a presença da influência da ciência e das aplicações tecnológicas da Radioatividade em contextos políticos, econômicos e sociais o Quadro 11 sintetiza a menção nas obras analisadas.

Quadro 11 - Livros que fazem alusão à influência da ciência e das tecnologias relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Critério 2	X	-	X	-	-

Fonte: Autor (2022)

Ainda que um dos aspectos básicos do movimento CTS seja o estudo das circunstâncias políticas, sociais e econômicas que influenciam o desenvolvimento científico-tecnológico, observamos que apenas dois dos cinco livros contemplam tais aspectos (Livros A e C). A relevância dessas discussões nos leva aos princípios do Movimento CTS, visto na tradição americana, que é marcada por reivindicações sociais frutos das consequências sociais e ambientais dos produtos científico-tecnológicos da época.

Além disso, fatores políticos, econômicos e sociais foram o que impulsionou a criação do PLACTS, ao considerar necessidades locais e regionais. A presença desse tipo de discussão nos LD sustentaria um dos principais objetivos da PLACTS que é buscar

influenciar os rumos da ciência e da tecnologia por meio política, a fim de desenvolver uma cultura de participação para mudanças sociais (STRIEDER, 2012).

Ambos os livros que contemplaram o critério 2, enfatizaram as relações de poder estabelecidas pelo domínio das tecnologias relativas à Radioatividade. O Livro A traz como exemplo a presença de armas nucleares pela Coreia do Norte e pelo Irã, mesmo sem o consentimento da ONU e dos países associados. O Livro C, de início, cita o encantamento pela Radioatividade no final do século XIX e a mudança no comportamento social provocada por tais descobertas científicas. Além disso, apresenta atividades que pode ajudar os estudantes a pensar criticamente sobre o fascínio por novas invenções, as quais podem tomar rumos diferentes no futuro.

As demais influências políticas, econômicas e sociais apontadas pelo Livro C, dizem respeito à Lise Meitner que escondeu suas descobertas relativas à investigação sobre fissão nuclear, por observar seu potencial destrutivo, principalmente pelo contexto nazista da época (p. 29); as relações de poder envolvidas no ataque dos Estados Unidos às cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki (p. 25); as ameaças de bombas nucleares entre Estados Unidos e União Soviética, durante o período da Guerra Fria (p. 26); e os fatores econômicos à adoção da energia nuclear como matriz energética pelos países Europeus e pelo Brasil (p. 34).

O destaque ao Livro C ainda se encontra nas atividades referentes ao Texto Complementar ‘A bomba atômica e a Guerra Fria’ (LIVRO C, p. 26). O livro já indica um potencial interdisciplinar quanto aos componentes curriculares História e Química, e reforça esse trabalho ao pedir que os estudantes façam uma pesquisa em fontes confiáveis sobre quais países atualmente ainda possuem armamento nuclear.

Em termos dos resultados desta pesquisa os estudantes poderão debater sobre o poder econômico dos países que possuem domínio da tecnologia de armamento nuclear, das suas relações com outros países que compartilham armas nucleares com a OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte), dos países que não declaram seu armamento e os que já o possuíram anteriormente.

5.1.3 História e Desenvolvimento da Radioatividade e Seu Papel na História da Humanidade

A integração da história da ciência em uma abordagem CTS permite mostrar a ciência como um processo de construção permanente, condicionada pelas circunstâncias e interesses de cada época (GARCÍA-CARMONA; CRIADO, 2008), que lhes conferem uma dimensão ampla com diversos aspectos a serem considerados. Por meio desse tipo de abordagem, os estudantes podem conhecer os desafios que os cientistas enfrentaram ao longo da história, como superaram essas dificuldades e que conclusões tiraram disso (GARCÍA-CARMONA; CRIADO, 2008). Além disso, a presença dessas narrativas, que tecem a história da ciência, evidenciam as diferentes características com que as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade se dão, rompendo com a imagem da ciência como uma atividade neutra, com método científico rígido e realizada somente por especialistas, mas estimula uma formação para a cidadania a partir do processo de tomada de decisão (SANTOS, 2006).

Assim, a seguir, apresentamos a análise referente ao critério 3, disposto no Quadro 9 (p. 75):

Critério 3: Se a ênfase é colocada no papel desempenhado pela Radioatividade, ao longo da história, na evolução do conhecimento e da cultura da humanidade. O critério se divide nas seguintes dimensões:

- a) Influência dos conhecimentos sobre Radioatividade no pensamento e na cultura.*
- b) Antecedentes e incidências dos fenômenos radioativos na história.*
- c) Construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade.*

Livro A

A respeito dos marcos históricos dos fenômenos radioativos na humanidade (critério 3.b), o Livro A destaca que a bomba atômica é uma aplicação bélica do fenômeno de fissão nuclear e explica o esquema de construção dessa arma, com foco na imensa quantidade de energia e as reações de fissão em cadeia. Em seguida, a obra traz um subtópico dedicado aos efeitos das bombas atômicas, no qual transcreve seus efeitos desde o início da explosão até as consequências após dois minutos, considerando sua alta velocidade de ação destrutiva (p. 282). Como exemplo, o Livro A cita o teste de explosão nuclear dos Estados Unidos no

deserto do Novo México (Figura 12) e os ataques que os EUA fizeram nas cidades de Hiroshima e Nagasaki no Japão, nos dias 6 e 9 de agosto de 1945, respectivamente.

Figura 12 – Teste de explosão nuclear no Novo México - Livro A



Fonte: Livro A (2017, p. 282)

Assim como discutido ao longo do tópico 2.3, as aplicações tecnológicas da Radioatividade são muitas vezes lembradas pelos desastres nucleares, como observado no Livro A, se tornando papel central do professor expandir o contexto histórico para as aplicações benígnas da Radioatividade, de modo que a história da Química não seja encarada de forma ingênua (PORTO, 2019; VASCONCELOS, 2016).

Sobre a construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade (critério 3.c), o Livro A inicialmente apresenta as comprovações experimentais da emissão de partículas e de radiação de núcleos instáveis:

Em 1900, independentemente, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) e o químico francês Pierre Curie (1859-1906) identificaram experimentalmente as partículas alfa (α) e beta (β) emitidas por um núcleo atômico instável. Nesse mesmo ano o físico francês Paul Ulrich Villard (1860-1934) identificou uma espécie de radiação eletromagnética, emitida por elementos radioativos, a qual denominou radiação gama (γ). (LIVRO A, Tópico ‘Emissões nucleares naturais, p. 262).

As descobertas que promoveram o desenvolvimento do conhecimento científico são retomadas com a conquista da radioatividade artificial, sintetizadas nos seguintes eventos científicos (Figura 13)

Figura 13 - Considerações sobre a radioatividade artificial – Livro A

- A primeira transmutação artificial foi realizada em 1919 por Rutherford, que conseguiu obter oxigênio artificial bombardeando átomos de nitrogênio com partículas ${}^4_2\alpha$. O símbolo < > indica instabilidade.

$${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\alpha \longrightarrow \langle {}^{18}_9\text{F} \rangle \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{p}$$
- A descoberta do nêutron por Sir James Chadwick (1891-1974), em 1932, ocorreu quando ele bombardeava placas de berílio com partículas ${}^4_2\alpha$.

$${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\alpha \longrightarrow {}^1_0\text{n} + {}^{12}_6\text{C}$$
- O casal de pesquisadores franceses Jean Frédéric Joliot-Curie (1900-1958) e Irène Joliot-Curie (1897-1956) produziu o primeiro isótopo radioativo artificial, o fósforo-30, bombardeando uma placa de alumínio-27 com partículas ${}^4_2\alpha$.

$${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\alpha \longrightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$$

O casal Joliot-Curie recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1935 pela descoberta da radioatividade artificial.
- Como o fósforo-30 desintegra-se por emissão de pósitrons, ${}^0_{+1}\beta$, transformando-se em silício-30, a descoberta do pósitron ocorreu em 1932 quando Carl David Anderson (1905-1991) estudava a reação que fornece esse isótopo.

$${}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\beta$$

Fonte: Livro A (2017, p. 275)

Ainda que se apresente sobre a construção e desenvolvimento do conhecimento relativos à Radioatividade, é preciso estimular uma visão que supere a ideia da atividade científica como linear e acumulativa, visto que o Movimento CTS surge exatamente da crítica ao modelo linear sobre a relação entre o desenvolvimento científico e tecnológico com o aumento de riquezas e bem-estar social (GARCÍA, 1996; VON LINSINGEN, 2004).

Livro B

Para os aspectos da influência da ciência atômica e nuclear no pensamento e na cultura (critério 3.a), o Livro B, na introdução do capítulo 13 ‘A radioatividade e as reações nucleares’, enfatiza a relação que o homem teve com a radiação desde as primeiras civilizações, valendo-se do calor do Sol, e com o desenvolvimento tecnológico seus usos se

expandiram para as áreas de medicina e comunicação, por exemplo, e como seu desenvolvimento se deu.

Além disso, ainda na introdução do capítulo, os autores colocam como consequência da evolução do pensar sobre as radiações, mudanças culturais, especificamente o uso de aparelhos de comunicação nos dias de hoje, visto no seguinte fragmento:

Apesar dos riscos que podem oferecer, porém, os diversos usos das radiações também têm facilitado muito a vida das pessoas, como é o caso dos telefones celulares, que, hoje em dia, têm desempenhado múltiplas funções e, assim, estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano (LIVRO B, Tópico ‘A radioatividade e as reações nucleares, p. 246).

E, após essa introdução propondo reflexões sobre o impacto das diferentes radiações na evolução de pensamento e cultura, os conteúdos se iniciam a partir da questão:

Levando em consideração esses prós e contras, você considera vantajoso o uso que tem sido feito das radiações. Por quê? (LIVRO B, Tópico ‘A radioatividade e as reações nucleares, p. 246)

Uma última alusão que o Livro B aponta sobre a influência desses fenômenos no pensamento e na história foi a descoberta de Rutherford, em 1905, sobre a datação de tempo geológico com a utilização da radioatividade para medir a idade de amostras de rochas, no Texto Complementar ‘A radioquímica e a idade da Terra’ (p.264) na seção ‘Ciência, tecnologia e sociedade’. Essa aplicação da Radioatividade foi o que respondeu ao grande questionamento sobre a idade da Terra que afligia físicos, geólogos e biólogos acerca da magnitude do tempo. A apresentação dessas descobertas contribui, em uma abordagem CTS, para “capacitar os estudantes a compreenderem o poder e a fragilidade de alguma teoria com respeito a sua capacidade de explicar e predizer” e, dessa forma, “preparar o indivíduo para agir de modo inteligente em uma sociedade do futuro” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 77).

Um incidente triste, pesado e agressivo trazido pelo Livro B, em um Texto Complementar ‘SAIBA MAIS – O equívoco da aplicação do rádio’, foi a utilização de uma tinta à base de rádio e fósforo usada após os eventos da Primeira Guerra Mundial, representando um dos primeiros incidentes radioativos na história (critério 3.b), mostrado na Figura 14:

Figura 14 – TC: O equívoco da aplicação do rádio - Livro B

SAIBA MAIS

O equívoco da aplicação do rádio

Durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), foi utilizada uma tinta à base de rádio e fósforo nos instrumentos de navegação aérea para permitir que fossem vistos em voos noturnos. Quando a guerra acabou, esta tecnologia foi usada em mostradores e ponteiros de relógios. As mulheres empregadas nesta tarefa costumavam passar as pontas dos pincéis na boca para afinar o traço e, sem saber, acabavam engolindo pequenas parcelas de rádio, comprometendo a sua saúde. Depois de dois anos, nove mulheres pintoras de mostrador morreram com uma grave e inexplicável anemia acompanhada por lesões na boca e mandíbula. Um dentista que tinha tratado uma das mulheres fez finalmente a conexão entre a inflamação do osso da mandíbula e a tinta dos relógios.

BUSSINGER, B. *Análise comparativa dos efeitos biológicos causados por radiações não ionizantes na faixa de telefonia celular*. 2007. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. Disponível em: <<http://ebfc.xpg.uol.com.br/Efeitos%20Biologicos.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

Fonte: Livro B (2016, p. 247)

O Livro B, no tópico ‘A descoberta da radioatividade e suas leis’ dá destaque à Becquerel, por perceber o fenômeno da radioatividade, e Marie Curie, por nomear o fenômeno, retratando brevemente um dos acontecimentos sobre a construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade (critério 3.c), que lhes rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1903.

No que diz respeito à essas últimas descobertas, ainda que não seja um erro factual, resgatamos um outro ponto de vista sobre os feitos de Becquerel e seu pouco esforço para adequar as teorias estabelecidas da época, desconsiderando o caráter criativo do trabalho experimental com resultados não esperados (MARTINS, 1990). Nessa linha, Porto (2019) destaca que um dos grandes problemas relacionados à história da ciência é a presença de erros fatuais, que geralmente são levados por simplificações da narrativa histórica, desconsiderando o contexto social, político, econômico e cultural de produção do conhecimento científico.

Livro C

O Livro C, no que diz respeito à influência da Radioatividade no pensamento e na cultura (critério 3.a), inicia o volume 3, ‘capítulo 1 – Estudo da radioatividade, suas aplicações e implicações ambientais’, com a admiração popular que se tinha com esse fenômeno, antes de se ter criado certa aversão em consequência dos desastres radioativos e nucleares. O deslumbre marcava uma época de diversos avanços científicos, tecnológicos e,

consequentemente sociais, nomeado de *belle époque* na Europa, quando a ciência ocupava lugar de destaque pelas invenções que se popularizaram, como o telefone, cinema, automóvel, dentre outras.

Essas descobertas explicam o papel dominante da Radioatividade desde suas primeiras descobertas, corroborando com a abordagem CTS na medida que capacitam os estudantes a compreenderem que a química não representa apenas materialismo, mas “que ela é produto do trabalho e imaginação de muitos homens e que a história da descoberta e do pensamento da química está intimamente ligada à história social da humanidade” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 79)

Nesse sentido, a terceira questão que acompanha o texto estimula os estudantes a pensar sobre as relações de novas descobertas científico-tecnológicas na atualidade, contemplando o critério 3.a, quando indaga:

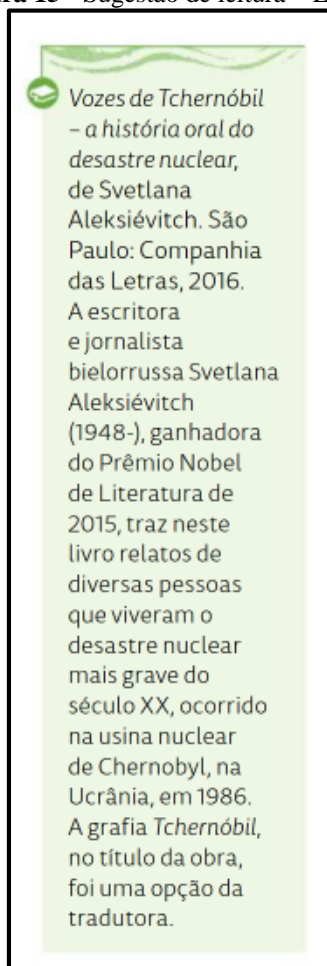
3. O texto menciona que invenções como telefone, cinema, automóvel, avião, rádio, etc. Revolucionavam o modo de ver, pensar e viver o cotidiano. Você concorda com essa afirmação? Você acha que novas invenções continuam mudando o dia a dia das pessoas? (LIVRO C, ‘Atividades’, p. 13)

Os incidentes dos fenômenos radioativos na história da humanidade (critério 3.b) são trazidos após a apresentação do conteúdo de ‘meia-vida’. São lançadas atividades, das quais a terceira utiliza um recorte de uma matéria sobre o maior acidente envolvendo material radioativo no Brasil, em 13 de setembro de 1987, em Goiânia (GO), para calcular quantos anos seriam necessários para que a massa de cloreto de cério-137 seja inferior a 1 g, sabendo que seu tempo de meia-vida é de 30 anos. A atividade ainda sugere que os estudantes façam uma pesquisa em *sites* e livros sobre qual símbolo deve ser utilizado para indicar que um produto é radioativo. O contexto utilizado pela atividade, considerando a abordagem CTS, ajuda o estudante a estabelecer relação entre os conhecimentos químicos com problemas complexos da vida real (SANTOS; SCHENETZLER, 2015), como foi o acidente citado.

Por fim, o Livro C ilustra efeitos da Radioatividade nas vítimas que sobreviveram ao ataque às cidades de Hiroshima e Nagasaki. Os efeitos da exposição a doses elevadas de radiação são retratados a curto prazo (como queda de cabelo, vômito, diarreias, hemorragias e febres) e a longo prazo (como a morte de organismos debilitados e gestação interrompida e morte do feto, para mulheres grávidas). O livro ainda traz como a sugestão em um box complementar, a leitura da obra ‘Vozes de Tchernóbil - a história oral do desastre nuclear’, de Svetlana Aleksievitch (Figura 15, p. 31), que é aclamada por trazer a narrativa de viúvas,

trabalhadores afetados, cientistas debilitados, soldados, pessoas comuns sobre o pior acidente nuclear da história da humanidade.

Figura 15 - Sugestão de leitura – Livro C



Fonte: Livro C (2016, p. 31)

Quanto à construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade (critério 3.c), no tópico ‘O que é radioatividade?’ os autores trazem uma definição com termos mais acessíveis, que vão sendo retomados conforme o conteúdo avança, como no tópico ‘Quais são as emissões naturais?’, por exemplo. A definição apresentada é a seguinte:

De modo simplificado, pode definir radioatividade como o fenômeno pelo qual os átomos de um elemento emitem “raios” invisíveis. Essa radiação pode ser constituída de partículas subatômicas (como prótons e nêutrons), de radiação eletromagnética ou de ambas (LIVRO C, Tópico ‘O que é radioatividade?’, p. 14).

Apesar dos termos simples, seria importante ainda nessa introdução trazer a característica de estabilidade e instabilidade nuclear, de modo que os estudantes não assumam que radiação e radioatividade sejam sinônimos. Até porque, pela obra estar no seu terceiro

volume, conclui-se que os estudantes já tenham tido contato com a definição de radiação nos conteúdos relativos a Radioatividade no 1º e 2º anos do Ensino Médio.

O mesmo tópico é acompanhado de um texto complementar ‘A descoberta da radioatividade: um grande avanço da Ciência’, na seção ‘Viagem no tempo’ (p. 14). Curioso que o texto parte da descoberta de Marie Curie e vai resgatando os trabalhos que vieram antes para se construírem as hipóteses e teorias sobre a Radioatividade como conhecemos atualmente, realçando a importância dessa premiada cientista, tal qual demonstrado no trecho:

No final do século XIX, a cientista polonesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934) realizava pesquisas com o objetivo de esclarecer algumas dúvidas sobre um tipo de radiação emitido por compostos de urânio e que era capaz de impressionar chapas fotográficas.

Esses “raios” tinham sido descobertos ocasionalmente dois anos antes por Henri Becquerel (1852-1908), quando o cientista trabalhava com um composto de urânio - o sulfato de potássio e urânio. (LIVRO C, Tópico ‘Viagem no tempo – A descoberta da radioatividade: um grande avanço da Ciência, p. 14).

Outro marco no desenvolvimento desses conhecimentos científicos na história, o Livro C refere-se a como o ser humano conseguiu ‘provocar’ processos de transmutação pelo bombardeamento de núcleos em aceleradores de partículas. Ainda no contexto das reações nucleares, os autores apresentam as descobertas de Irène e Frédéric Joliot-Curie que, em 1934, obtiveram o primeiro isótopo radioativo artificial, pelo bombardeamento do alumínio com partículas alfa e chegaram a um isótopo radioativo do fósforo.

Essa conquista é marcante na história pelo momento político da época, o qual a ideologia nazista predominava. A preocupação centrava-se no potencial dos fenômenos descobertos, pois o domínio dessa tecnologia poderia utilizar da energia liberada em uma reação em cadeia controlada para produção de energia, como também para a construção de bombas atômicas, por seu caráter explosivo.

A presença desse contexto confere com as propostas educacionais para o ensino da Radioatividade, quando é expresso que “a contextualização histórica não deve se ocupar apenas da menção a nomes de cientistas e datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses” (BRASIL, 2017, p. 550).

Por fim, o Livro C, traz uma notícia que circulou no final do século XX, sobre um dos fenômenos mais ambiciosos relacionados à ciência nuclear, que se mostrou sendo uma inverdade. A repercussão que se deu na época foi um possível resultado de que cientistas estadunidenses haviam conseguido realizar a fusão nuclear em temperatura ambiente, que

revolucionaria o processo de produção de energia elétrica a partir da energia liberada nas reações de fusão nuclear. O livro diz que:

Em 1989, a notícia, veiculada pela imprensa internacional, de que cientistas estadunidenses haviam conseguido realizar a fusão nuclear em temperatura ambiente – a chamada **fusão a frio**- causou grande impacto no mundo todo. Se, de fato, a fusão de núcleos leves de hidrogênio (que podem ser obtidos da água) ocorresse sem a necessidade de altíssimas temperaturas, teríamos realizado o sonho de obter energia a partir de uma fonte barata e abundante – a água -, o que até hoje não se viabilizou (LIVRO C, Tópico ‘A fusão nuclear e a bomba de hidrogênio’, p. 27).

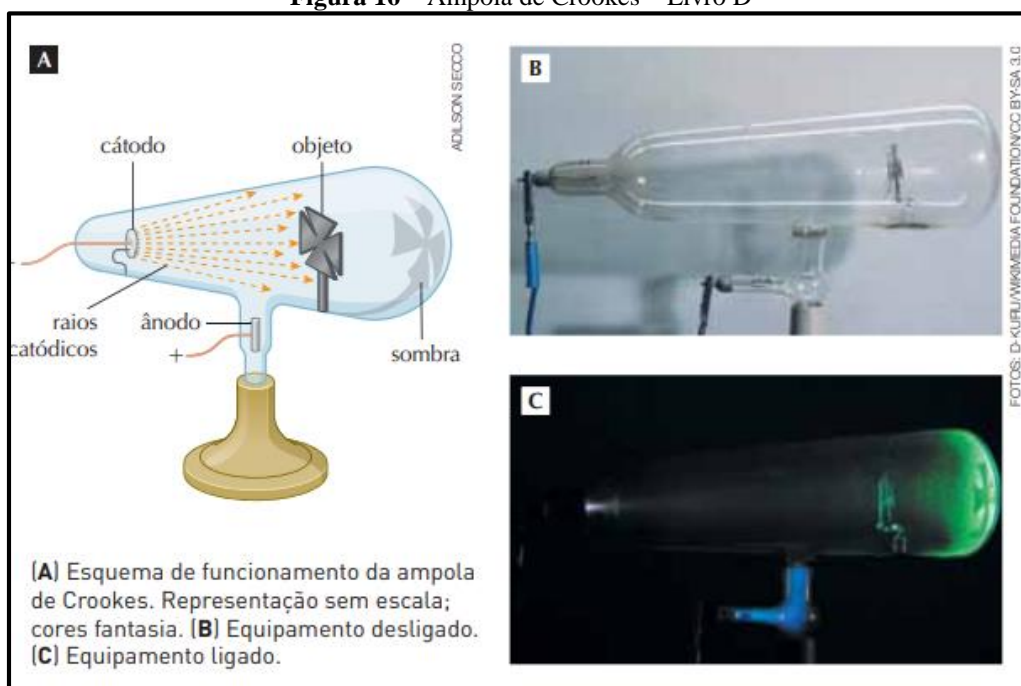
A apresentação dessa notícia estimula a ideia dos conhecimentos científicos como frutos do trabalho humano e, conseqüentemente, mutáveis (PORTO, 2019; SANTOS; MORTIMER, 2002). Nesse sentido, incentiva os estudantes a “contestarem proposições e pesquisarem criticamente fatos ‘conhecidos’, verdades ‘bem estabelecidas’ e valores ‘aceitos universalmente’.”, em uma formação para o exercício da cidadania (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 78)

Livro D

O Livro D, como apresenta os conteúdos referentes à Radioatividade por meio da temática da Medicina Nuclear, quando se trata sobre os antecedentes e as incidências dos fenômenos radioativos na história, é retratada em dois momentos nos tópicos ‘Breve histórico sobre a descoberta da radioatividade’ (p.159) e ‘O acidente com o cézio-137’ (p.167).

O primeiro, traça uma linha do tempo que data desde a descoberta de Benjamin Franklin (1706-1790) sobre relâmpagos serem descargas elétricas que atravessavam a atmosfera, que levou William Crookes (1832-1919) a utilizar carga elétrica no interior de um tubo de vidro contendo gás a pressões muito reduzidas, levando a descoberta dos raios catódicos. Anos depois, Wilhelm C. Röntgen (1845-1923), durante um experimento com um tubo de raios catódicos, “observou que uma tela revestida com uma substância fluorescente, posicionada a certa distância do aparelho, começou a brilhar” (Livro D, p. 159) mesmo quando havia objetos entre a tela e o tubo, que o levou a hipótese de um raio com natureza desconhecida, batizando-os de raios X (Figura 16, p. 159). Com isso, assim como nas demais obras analisadas é introduzido o papel de Becquerel e do casal Curie na história da ciência nuclear (critério 3.c).

Figura 16 – Ampola de Crookes – Livro D



Fonte: Livro D (2016, p. 159)

Da mesma forma que foi apresentado a descoberta da Radioatividade, a obra apresenta o acidente com o céσιο-137 (critério 3.b), em Goiânia (GO), como uma narrativa descrevendo os eventos e as consequências sofridas por aquela comunidade, que por desconhecimento manejaram com encantamento esse radioisótopo. Raras as figuras (17, p. 167) que acompanham o texto base representando o trabalho de descontaminação realizado e um jornal publicado em 11 de outubro de 1987. O tópico é apresentado entre os de ‘Radioterapia’ e ‘Exames nos quais se utiliza radioatividade: tomografia e cintilografia’.

Figura 17 – Registros sobre o acidente em Goiânia com o Cs-137 – Livro D



Fonte: Livro D (2016, p. 167)

Livro E

O Livro E, por apresentar os conteúdos referentes a Radioatividade pela história de evolução dos modelos atômicos, o recorte que introduz as descobertas referentes a esse fenômeno se dá no desenvolvimento do modelo atômico planetário, no qual a explicação parte da descoberta de Röntgen e, de modo breve, perpassa por Becquerel, Marie e Pierre Curie. Apesar dessas descobertas científicas que retratam a construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade da época (critério 3.c), os autores se esforçam para mostrar o caráter provisório e evolutivo da ciência. Após a apresentação desse apanhado de história sobre a Radioatividade, é dito que:

Nessa época, já sabia-se que o átomo não era exatamente como previa a teoria atômica de Dalton: uma esfera maciça e indivisível. Mas os novos modelos também não explicavam o fenômeno da radioatividade. Por isso, todos os cientistas envolvidos nesse campo sentiram-se ainda mais desafiados a aprofundar seus estudos. A meta a ser atingida era um modelo que finalmente desvendasse a estrutura da matéria. (LIVRO E, Tópico ‘A radioatividade e o átomo, p. 162)

Por fim, o Livro E dedica várias páginas (da 141 a 182) que reforçam a importância da história da ciência na construção do letramento científico e do caráter provisório e não neutro da ciência na linha do tempo do desenvolvimento dos modelos atômicos, que condiz com a natureza histórica da Ciência na abordagem CTS (SANTOS; MORTIMER, 2002), perpassando pelos conteúdos: 1. Evolução histórica do atomismo, 2. As leis das reações químicas na construção do modelo atômico, Lei da conservação das massas, Lei das proporções de massa, Lei das proporções múltiplas, 3. A elaboração do modelo atômico de Dalton, 4. O respeito à diversidade, 5. Modelo atômico de Thomson, O átomo com cargas elétricas, 6. Modelo atômico planetário e as partículas do átomo, A radioatividade e o átomo, os estudos de Nagaoka e de Rutherford, O experimento de Rutherford e seu modelo atômico, O átomo e suas partículas, Número atômico, Número de massa, Elemento químico e isótopos, 7. Modelo atômico de Bohr; que nos levam ao desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade.

Em resumo, o Quadro 12 apresenta uma síntese do critério 3, se a ênfase é colocada no papel desempenhado pela Radioatividade, ao longo da história, na evolução do conhecimento e da cultura da humanidade, nas cinco obras analisadas:

Quadro 12 - Livros que apresentam o papel da Radioatividade na história, na cultura e na evolução do conhecimento

Crítérios	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Crítério 3.a	-	X	X	-	-
Crítério 3.b	X	X	X	X	-
Crítério 3.c	X	X	X	X	X

Fonte: Autor (2022)

Um dos caminhos possíveis para se trabalhar a abordagem CTS no ensino de Química é a partir da história da ciência, tanto que é uma das sugestões de documentos oficiais da educação como os PCN, OCNEM e, mais recente, BNCC. A presença da história da ciência nos LD promove, entre outras coisas, a noção de que o conhecimento científico deve ser entendido como atividade humana (BRASIL, 2000). Isso porque, os conteúdos de ciências geralmente apresentam uma sucessão de fatos organizados de forma lógica e cronológica, omitindo interfaces que afetaram o desenvolvimento dos conhecimentos científicos (SAITO, 2010).

Para o primeiro critério (3.a - influência dos conhecimentos radioativos no pensamento e na cultura), apenas dois dos cinco livros o contemplam (Livros B e C). Ambos tomam caminhos diferentes para referenciar a relação da Radioatividade no pensamento e na cultura,

o Livro B menciona a relação ancestral do homem com a radiação da luz solar e como o desenvolvimento científico-tecnológico refinou o uso de outras radiações como é o caso dos aparelhos de comunicação que fazem parte da realidade de grande parte das pessoas no mundo todo.

Por outro lado, o Livro C traz o fascínio que se tinha no final do século XIX com as descobertas da Radioatividade, inclusive utilizando o termo como propaganda de diversos produtos cotidianos, como cremes e pomadas para agregar valor. As duas menções se encontram nas introduções dos capítulos referentes aos conteúdos de Radioatividade e utilizam de questões reflexivas para entendermos o caráter controverso da temática.

No que diz respeito à ênfase colocada nos antecedentes e incidências dos fenômenos radioativos na história da humanidade (critério 3.b), quatro dos cinco livros o contemplaram (Livros A, B, C e D). O Livro A, destacou os efeitos da bomba atômica, os ataques às cidades de Hiroshima e Nagasaki e o teste da bomba atômica realizada no estado do Novo México, pelos Estados Unidos. O Livro B foi exclusivo ao trazer o caso de tinta à base de rádio e fósforo usada para pintar ponteiros de relógios que deixou diversas mulheres lesionadas, visto que elas lambiam as cerdas dos pincéis com resíduos desses elementos radioativos.

Assim como o Livro A, o Livro B também trouxe o ataque às cidades japonesas. Além disso, um trecho de matéria do acidente em Goiânia-GO com Césio-137 nas atividades do capítulo e ainda sugeriram a leitura do livro ‘Vozes de Tchernóbil - a história oral do desastre nuclear’ no qual a autora traz o relato de cidadãos comuns, bombeiros e médicos que sofreram com a omissão e consequências do desastre radioativo. Por fim, o Livro D dedicou um espaço para enfatizar o acidente brasileiro com o Cs-137, que é considerado o maior acidente radiológico do mundo fora das usinas nucleares.

Para concluir, o critério 3.c, se a ênfase é colocada na construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade, os cinco livros o contemplaram (Livros A, B, C, D e E). Foi comum a todos, trazer a descoberta da Radioatividade como marco de desenvolvimento do conhecimento científico. Para além disso, o Livro A e o Livro B destacam a aplicação benigna (produção de energia elétrica) e bélica (bomba atômica) do domínio tecnológico da energia liberada durante a fissão nuclear. Ainda, Livro A e o Livro C falam sobre as comprovações experimentais das emissões de radiação α , β e γ e suas características.

Os últimos destaques sobre a construção e desenvolvimento desses conhecimentos são trazidos pelo Livro C, com a transmutação nuclear em aceleradores de partículas, a síntese do primeiro isótopo radioativo artificial por Irène e Frédéric Joliot-Curie e a falsa notícia veiculada em 1989, que cientistas estadunidenses conseguiram realizar a fusão a frio, ou seja,

em temperatura ambiente teriam juntado pares de átomos leves liberando muita energia.

Curiosamente, a BBC publicou no dia 13 de dezembro de 2022, a matéria ‘Fusão nuclear: como cientistas alcançaram ‘Santo Graal’ da energia limpa’⁵ que, ainda na primeira linha, diz “Cientistas americanos anunciaram que conseguiram produzir mais energia do que a empregada em um experimento de fusão nuclear” (BBC, 2022). O experimento, realizado em um laboratório na Califórnia, consistiu em colocar uma pequena quantidade de hidrogênio em uma minúscula cápsula e usaram um laser de 192 feixes. Uma das conclusões do estudo, ainda que não tenham incluído a energia necessária para o funcionamento do laser, foi que o experimento obteve mais energia do que o laser produzia, aumentando as expectativas dos cientistas para que esse processo seja uma fonte energética limpa para o mundo, em um futuro não tão distante.

5.1.4 Impacto de Aplicações da Radioatividade no Meio Ambiente

Um dos maiores problemas ambientais atualmente é a poluição do ar e as mudanças climáticas (DEUTSHCE WELLE, 2016). Por conta disso, muitos países europeus adotaram as usinas nucleares no lugar das termoelétricas, o que gerou outro grande problema ambiental, o controle e armazenamento de resíduos radioativos (critério 4). Pensando no ensino da Química para uma educação científica, por meio de abordagens CTS, as questões ambientais se tornam fundamentais na medida que os estudantes enquanto agentes atuantes na sociedade devem ser capazes de refletir sobre matrizes energéticas e a relação de custo-benefício a curto e longo prazo.

Assim, a seguir, apresentamos a análise referente ao critério 4, disposto no Quadro 9 (p. 75):

Critério 4: Se [os livros didáticos] incluem os problemas ambientais relacionados com resíduos radioativos e/ou possíveis acidentes nucleares.

⁵ Vide: <

Livro A

O Livro A aponta como prioridade os impactos ambientais relativos ao tratamento de resíduos radioativos, na introdução do capítulo 11 ‘Leis da radioatividade e energia nuclear’ é apresentado na seção ‘FOI NOTÍCIA!’, um trecho de uma matéria publicada pelo *site* do Senado Federal brasileiro que denuncia o tratamento desse tipo de resíduo, visto na Figura 18:

Figura 18 – TC:A destinação de lixo nuclear preocupa participantes de seminário no Senado – Livro A

Destinação de lixo nuclear preocupa participantes de seminário no Senado

A questão da destinação final do lixo nuclear no Brasil, que até hoje não foi resolvida, foi o principal tema em debate, na manhã desta terça-feira (27/10/2015). [...]

Conforme o físico Luiz Pinguelli Rosa, professor emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro e ex-presidente da Eletrobras, ainda não há no mundo uma solução definitiva para esse material, nem garantia total de segurança para o meio ambiente e para a população.

‘No Brasil, esse material está armazenado no terreno dos reatores nucleares em Angra dos Reis. O problema é que é uma área com propensão a desabamentos’, observou.

Os rejeitos de baixa e média radioatividade são guardados em depósitos provisórios ou permanentes. O grande problema está no lixo de alta radioatividade, como restos do combustível que move as usinas. Esse material, que leva milhares de anos para ter sua radioatividade reduzida, é armazenado provisoriamente em piscinas especiais localizadas próximas ao reator.”

TORRES, Ribas Tércio. Disponível em: <www12.senado.leg.br/noticias/materias/2015/10/27/destinacao-de-lixo-nuclear-preocupa-participantes-de-seminario-no-senado>. Acesso em: 2 nov. 2015.

Você acabou de ler matérias sobre a falta de segurança de usinas nucleares e o destino do lixo atômico. Você sabe quais as consequências de um acidente nuclear como os de Chernobyl e Fukushima?

Fonte: Livro A (2017, p. 261)

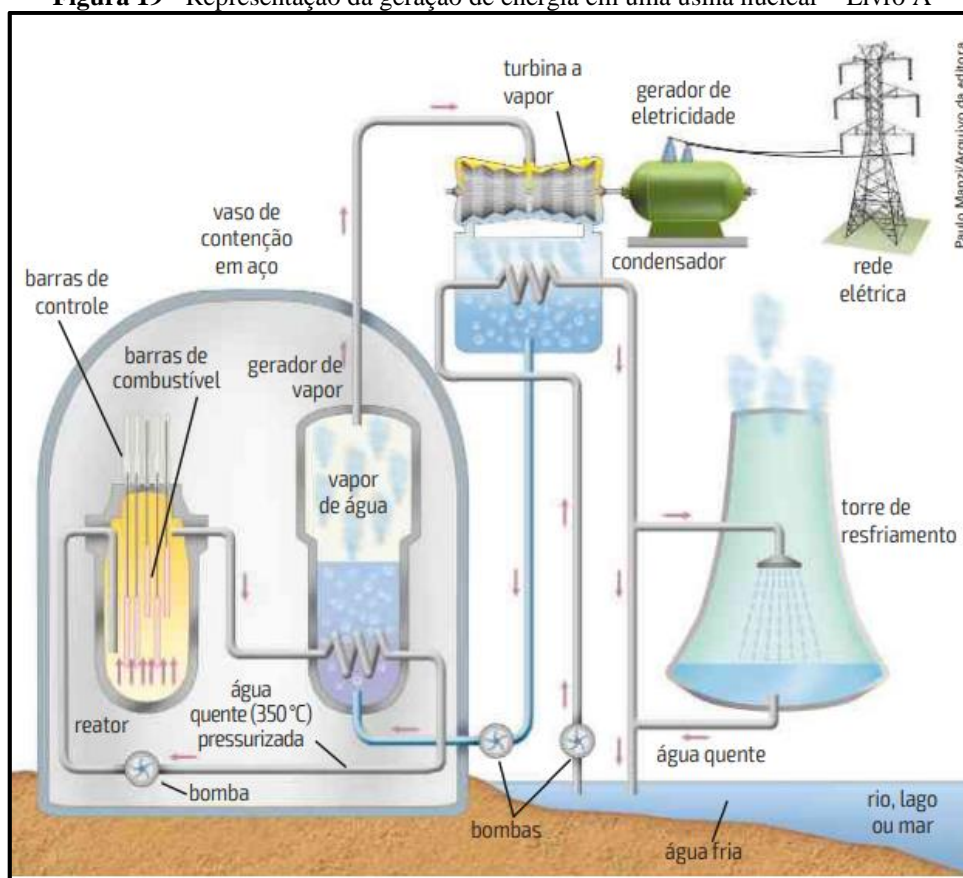
A questão que acompanha o texto e introduz os conteúdos relativos à Radioatividade, é fundamental considerando a abordagem CTS, pois, ao longo do conteúdo, a consolidação para o exercício da cidadania se dará ao “aumentar o conhecimento dos estudantes em relação ao seu meio ambiente e desenvolver neles a capacidade de dependerem do seu próprio pensamento, quando aplicarem o que aprenderem em situações não-familiares” (SANTOS; SCHNETZLER, p. 77)

Na seção ‘Saúde e Sociedade’, o Livro A apresenta um Texto Complementar relatando sobre o acidente de Goiânia, como ocorreu o processo de contaminação pela comunidade local, os sintomas sentidos pelos contaminados e as ações públicas realizadas. É trazido a nível de menção sobre o ambiente divulgadas pela Secretaria do Estado da Saúde de Goiás, no trecho:

E, por fim, no *site* da Secretaria de Estado da Saúde de Goiás conta que foram identificados e isolados sete focos principais de radiação na região onde houve a contaminação de pessoas e do ambiente e onde havia altas taxas de exposição. (LIVRO A, Tópico ‘Saúde e sociedade – O acidente de Goiânia’, p. 272)

No subtópico ‘Usina nuclear’, pertencente ao conteúdo de ‘Fissão nuclear’, a autora explica o processo de geração de energia em uma usina nuclear, assistida por uma imagem ilustrativa (Figura 19, p. 280) que traz direções e simboliza as partes constituintes desse espaço, no final resgata-se os problemas associados a este tipo de matriz energética, como a possibilidade de acidentes e os produtos residuais radioativos, uma vez que o combustível deve ser trocado a cada três ou cinco anos.

Figura 19 - Representação da geração de energia em uma usina nuclear – Livro A



Fonte: Livro A (2017, p. 280)

Na seção ‘RETOMANDO A NOTÍCIA’, a autora retoma os trechos de notícias postos na introdução do capítulo (p. 261), de modo a ajudar os estudantes a refletirem e responderem a questão apresentada, depois de discutir os conteúdos de: 1. Emissões nucleares e naturais, Radiações ionizantes e a vida, O contador de Geiger-Muller, 2. Leis de Soddy, 3. Período de meia-vida, Datação pelo carbono-14, 4. Séries ou famílias radioativas, 5. Aceleradores de partículas, 6. Radioatividade artificial, 7. Fissão nuclear, Reação em cadeia e Usina nuclear. O texto vai apresentar os erros técnicos, os desastres naturais e os desafios em cumprir as regras

de segurança previstas em caso de acidente. Em relação ao impacto ambiental decorrente dos acidentes de Chernobyl e Fukushima é apresentado que:

Os quase 50 mil moradores da cidade de Pripjat, vizinha à usina, na Ucrânia, tiveram que deixar suas casas. O local permanece inabitável.

O acidente de Fukushima ocorreu em 11 de março de 2011, quando o Japão foi atingido por um terremoto de magnitude 9,0 na escala Richter, seguido de um *tsunami* com ondas acima de 10 metros.

[...] A temperatura no interior do reator [de Fukushima] ultrapassou a marca de 2800 °C, suficiente para fundir os cilindros de óxido de urânio (combustível nuclear). Essa temperatura fundiu as paredes de aço que protegiam o reator e deixou que uma quantidade imensa de elementos radioativos e seus produtos de decaimento vazassem para o ambiente (LIVRO A, Tópico 'RETOMANDO A NOTÍCIA', p. 281).

No tópico 'A bomba atômica' (p. 282), o Livro A descreve as etapas da ação destrutiva de uma bomba atômica, e exemplifica o ataque que ocorreu nas cidades de Hiroshima e de Nagasaki, no Japão, pelos Estados Unidos. A dimensão da destruição da bomba atômica é tamanha, que após 6 segundos, a esfera de fogo atinge o solo, iniciando uma onda de choque que se propaga com deslocamento de ar comparável ao de um furacão.

Por fim, na seção 'Compreendendo o mundo' que conclui as discussões acerca da Radioatividade nessa obra, é feito um apanhado de aplicações benéficas e dos riscos ao se utilizar tecnologias que utilizem desse fenômeno. Na relação dos impactos ambientais com a Radioatividade, o texto resgata a ausência do envoltório de contenção na usina de Chernobyl e a negligência do Instituto Goiano de Radioterapia que abandonou uma fonte de césio-137 no prédio vazio.

Os efeitos da Química, nesse caso do fenômeno da Radioatividade, no meio ambiente é um dos pontos centrais para se pensar em uma abordagem CTS. Por isso, o compilado de eventos que estabelecem essa relação no Livro A contribui "para uma melhor compreensão e apropriação de significados a respeito das relações entre ser humano e ambiente, numa perspectiva local, mas sem perder de vista seus significados numa visão global" (SANTOS; MALDANER; MACHADO, 2019, p. 119), que denunciam modelos insustentáveis de sociedade.

Livro B

O Livro B, no subtópico 'Reator nuclear' (p. 257), pertencente ao tópico 'Fissão nuclear', inicia dizendo que as reações nucleares são uma maneira de se produzir energia, mas

seu uso causa controvérsias devido à quantidade de material radioativo gerado e sua difícil destinação.

Ainda sobre o reator nuclear, especificamente sobre o processo de produção de energia elétrica, o texto enuncia outro problema ambiental associado à essa técnica, a destinação da água utilizada para resfriar o reator. Isso acontece porque mesmo a água não sofrendo nenhum tipo de contaminação por Radioatividade, a elevação das temperaturas do rio, lago ou mar provoca uma diminuição da solubilidade do oxigênio na água e, portanto, compromete toda a vida daquele ecossistema.

Na mesma página, há uma coluna com um Texto Complementar intitulado ‘O acidente de Fukushima’ (p. 257), na seção ‘SAIBA MAIS’, que, além do relato do acidente, é mencionado, no último parágrafo, o impacto ambiental no local, que segundo especialistas não atingiu danos irreparáveis ao meio ambiente.

Outro subtópico do conteúdo de ‘Fissão nuclear’, ‘Lixo nuclear’ traz um apanhado de informações sobre classificação para pós tratamento desse material, que segundo o Livro B é um dos grandes problemas ao adotar fontes energéticas nucleares, destacado no recorte:

Podemos classificar os rejeitos radioativos de diferentes maneiras. O objetivo da classificação é auxiliar no posterior tratamento de cada um desses resíduos.

Quanto ao local onde são produzidos, podemos classificá-los em dois grupos básicos.

1. **Rejeitos institucionais:** são aqueles gerados em instalações onde o material radioativo é usado para pesquisa, análises clínicas e outras atividades em que o uso de radiação seja necessário.
2. **Rejeitos do ciclo do combustível:** são aqueles originados nas atividades em usinas nucleares. [...]

Os rejeitos também podem ser classificados em função da meia-vida que apresentam (tempo necessário para que a quantidade do radioisótopo se reduza à metade). (LIVRO B, Tópico ‘Lixo Nuclear’, ‘p. 258)

O Livro B estabelece a relação do impacto da Radioatividade com o meio ambiente principalmente pelos processos referentes aos reatores nucleares, o caso dos rejeitos radioativos e o aquecimento das fontes de água próxima. Nesse cenário, o balanço de pontos de vista é importante por ir de encontro ao “processo de dominação do homem pelos ideais de lucro a qualquer preço, não contribuindo para a busca de um desenvolvimento sustentável” (SANTOS; MORTIMER, 2002, p. 9), que colabora para o estudante pensar sobre a interação da Radioatividade com a matéria e os organismos vivos e suas consequências para o ambiente. Situar tais informações no contexto social é conscientizar o cidadão da responsabilidade que tem ao apoiar determinadas aplicações tecnológicas da Radioatividade no seu conforto da vida cotidiana.

Livro C

O Livro C trata do impacto ambiental como consequência dos fenômenos radioativos no subtópico ‘Energia atômica e destruição’ (p. 25), do conteúdo de ‘Fissão nuclear’. O acontecimento foi o ataque dos Estados Unidos no Japão, em 1945. No texto é dito que a bomba de Hiroshima causou a morte imediata de 70 mil pessoas e devastou completamente 9 km², em alguns segundos, sem contar com os efeitos tardios.

Quanto aos reatores nucleares como fontes de energia, o Livro C destaca os efeitos da água utilizada para resfriar o reator, que contribui com o aumento da temperatura da fonte de água do meio ambiente próximo desses espaços, reduzindo a solubilidade dos gases na água, prejudicando o ecossistema.

Pelas riquezas naturais do Brasil, a produção de energia elétrica é bastante discutida e, por conta disso, a implementação de usinas nucleares gerou muitas polêmicas que fez levantar questões de natureza ambiental e estratégica. No âmbito ambiental, é destacado os atrasos decorrentes de ações judiciais que cobravam um plano de emergência que viabilizasse a retirada da população em caso de acidente, bem como é frisado os recursos de segurança presente em Angra, como o edifício de contenção em torno do reator, mesmo sistema utilizado em *Three Mile Island* (EUA) que conteve parte da fonte radioativa.

Ainda que breve, o Livro C utilizou da Radioatividade enquanto tema químico social e, a partir dele “pode-se ensinar os conceitos químicos necessários para o cidadão ser capaz de julgar, compreendendo sobretudo a responsabilidade social” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015) que tem com o meio ambiente. Logo, o estudante, ao final da abordagem CTS pensada por esses temas, desenvolveria a capacidade de tomar decisão criticamente, compreendendo a natureza do processo de construção do conhecimento científico e sua realidade social para que possa transformá-la de forma sustentável.

Livro D

Em nenhum momento, no decorrer dos textos base e complementares do Livro D vemos menção a se os problemas ambientais estão relacionados com resíduos radioativos e/ou possíveis acidentes em centrais nucleares.

Livro E

Por fim, a única menção do Livro E sobre os impactos ambientais foi em contexto nacional. O acidente com o césio-137, contando com o relato do primeiro contato dos sucateiros com o material radioativo e os efeitos após intervenção dos órgãos de fiscalização desse domínio, no trecho:

[...] Os trabalhos de descontaminação dos locais afetados produziram mais de treze toneladas de lixo contaminado com césio-137 – roupas, plantas, materiais de construção e diversos utensílios. Esse material permanecerá por muitos anos armazenado e inacessível. Segundo a Comissão de Energia Nuclear (CNEN), das 112.800 pessoas que foram monitoradas, 129 tiveram contaminação corporal interna e externa; dessas, 49 foram internadas, 21 precisam de tratamento médico intensivo e 4 morreram. (LIVRO E, Tópico ‘O acidente com o césio-137’, p. 167)

Em resumo, o Quadro 13, a seguir, apresenta uma síntese da presença de problemas ambientais relacionados com resíduos radioativos e/ou possíveis acidentes em centrais nucleares, pelos livros analisados.

Quadro 13 - Livros que apresentam problemas ambientais relacionados com resíduos radioativos e acidentes em centrais nucleares

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Critério 4	X	X	X	-	X

Fonte: Autor (2022)

Um dos cenários que levou ao surgimento do Movimento CTS foram reivindicações pelas consequências ambientais do desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia, enquanto dimensões neutras que só trariam bem-estar social (GARCÍA, 1996; VON LINSINGEN, 2004). No âmbito do ensino, a dimensão ambiental é intrínseca às abordagens CTS, e por alguns pesquisadores evidenciada no acrônimo CTSA. Além disso, para a temática Radioatividade, é comum a associação desse fenômeno com os incidentes negativos, como bombas atômicas e os acidentes em usinas nucleares pelo povo. Todas essas características, podem justificar a presença desse critério em quatro das cinco obras (Livros A, B, C e E).

Observamos que os Livros A, B e C trazem como preocupação central a produção de resíduos radioativos, pelas usinas nucleares. Além do mais, a adoção da energia nuclear leva os Livros B e C a dar destaque a poluição térmica de rios e mares, com a água utilizada para resfriar o reator nuclear, já que o aumento da temperatura nesses ecossistemas dificulta a solubilidade do oxigênio.

Menção ao impacto ambiental causado pelo ataque às cidades de Hiroshima e Nagasaki é notada pelos Livros A e C, enquanto que os acidentes relativos a centrais nucleares (como Fukushima, no Japão; Chernobyl, na Ucrânia; e *Three Mile Island*, nos Estados Unidos) são retratados nos Livros A e B. Não menos importante, o acidente com o Cs-137 em Goiânia, que representa o Brasil no quesito acidentes radioativos, é trazido pelos Livros A e E. O Livro C, direcionando sua atenção à prevenção de riscos de acidentes de natureza radioativa, destaca as várias restrições judiciais nas Usinas de Angra I e II, no Rio de Janeiro, precedente as suas respectivas inaugurações, de modo a evitar consequências para a população local.

Por fim, entendemos que apesar dos vários contextos sobre os problemas ambientais relativos as aplicações tecnológicas da sociedade, a ausência no Livro D se dá pela abordagem temática se restringir à Medicina Nuclear.

5.1.5 Desenvolvimento dos Conhecimentos Científicos Sobre Radioatividade Como Produto do Trabalho Coletivo e que Reconheça o Papel da Mulher na Ciência

Ao longo da história, realizar pesquisa científica representa um espaço elitista. Ainda que políticas públicas nacionais, como o sistema de cotas e bolsas de auxílio, tentem oferecer novas oportunidades para que pessoas de diferentes realidades venham a ocupar esses espaços, estamos distantes do ideal. Segundo a matéria ‘Elite da pesquisa científica no Brasil é masculina’⁶, do Estadão, na área das ciências exatas, mulheres são menos de 10% de bolsistas do CNPq nos níveis mais altos. Constatando que na área de Química, mulheres são 29% bolsistas, esse percentual cai para 15% quando olhamos para os níveis mais altos. Ao considerarmos os objetivos da abordagem CTS, mostrar a ciência como construção humana inclui representá-la como fruto do trabalho coletivo e destacar o papel da mulher, enquanto garantir suas contribuições e romper com a ideia da exclusividade de gêneros em espaços acadêmicos (GÁRCIA-CARMONA; CRIADO, 2008).

Assim, a seguir, apresentamos a análise referente ao critério 5, disposto no Quadro 9 (p. 75):

⁶ Vide: < <https://arte.estadao.com.br/focas/capitu/materia/elite-da-pesquisa-cientifica-no-brasil-e-masculina> > Acesso em: 28 de dezembro de 2022.

Critério 5: Se [o livro didático] mostra o desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre Radioatividade como um produto do trabalho coletivo, em que as realizações e os descobrimentos se devem à colaboração de cientistas independentemente de seus gêneros (contribuições da mulher na ciência nuclear, trabalho em equipe, etc.).

Nesse sentido, se consideram as seguintes categorias:

- a) Mulheres na ciência nuclear.*
- b) Trabalho em equipe.*

Livro A

O Livro A, ao representar o desenvolvimento dos conhecimentos científicos como produto coletivo (critério 5.a) traz as contribuições do trabalho conjunto do casal Irène e Frédéric Joliot-Curie, visto nos seguintes recortes:

O casal de pesquisadores franceses Jean Frédéric Joliot-Curie (1900-1958) e Irène Joliot-Curie (1897-1956) produziu o primeiro isótopo radioativo artificial, o fósforo-30, bombardeando uma placa de alumínio-27 com partículas alfa. (LIVRO A, Tópico 'Radioatividade artificial', p. 275)

Não muito diferente, ao considerar que o desenvolvimento desses conhecimentos científicos pelas mulheres ao longo da história (critério 5.b), é mencionado as descobertas de Irène Joliot-Curie (1897-1956), juntamente de seu parceiro, produzindo o primeiro isótopo radioativo artificial, o fósforo-30, que os levou a conquista do Prêmio Nobel de Química em 1935. Tais aspectos podem ser destacados pelo professor para discutir sobre a importância da inclusão das mulheres na atividade de pesquisa em ciências.

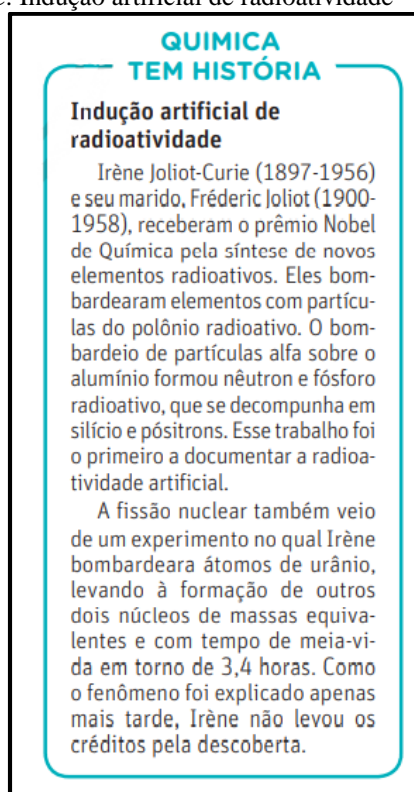
Livro B

O Livro B dá destaque ao trabalho coletivo para o desenvolvimento de conhecimentos científicos relativos à Radioatividade (critério 5.a), retratando os trabalhos do casal Curie (Marie e Pierre) e da sua filha e esposo (Irène e Jean Frédéric Joliot-Curie), no tópico 'Radiações da pechblenda' (p. 247) e no Texto Complementar 'Indução artificial de radioatividade' (p. 250), respectivamente. As partes que refletem ambas as situações são expressas na transcrição e na Figura 20 (p. 250), a seguir:

O que mais chamou a atenção dos cientistas da época, principalmente do casal Curie, foi a intensidade da radiação natural, até então atribuída somente ao elemento urânio, presente na pechblenda. Esse mineral, cuja base de constituição é formada por óxidos de urânio, emitia uma radiação natural muito mais intensa do que a esperada pela quantidade desse radioisótopo.

A partir dessa observação, o casal Curie iniciou seus árduos trabalhos de separação dos constituintes do mineral com vistas à busca de outros elementos que poderiam estar contribuindo com a radiação observada. (LIVRO B, Tópico ‘Radiações da pechblenda’, p. 247)

Figura 20 – TC: Indução artificial de radioatividade – Livro B



Fonte: Livro B (2016, p. 250)

Outros personagens apontados pelo trabalho coletivo foi Glenn Theodore Seaborg (1912-1999), Edwin Mattison McMillan (1907-1991) e Philip Hauge Abelson (1913-2004) na descoberta dos elementos transurânicos, na seção ‘SAIBA MAIS’ com o TC ‘elementos transurânicos’:

As pesquisas de Seaborg sobre os elementos transurânicos culminaram com o recebimento do prêmio Nobel de Química de 1951, juntamente com o físico da UCB Edwin M. McMillan (1907-1991). Este e Philip H. Abelson, em 1940, foram os primeiros a provar a existência de um elemento transurânico, por eles denominado de netúnio. [...] Seaborg [...] conseguiu isolar e identificar o plutônio e outros quatro elementos. Após ganhar o prêmio Nobel, ele ainda esteve envolvido na descoberta de mais cinco elementos (LIVRO B, Tópico ‘SAIBA MAIS – elementos transurânicos’, p. 254).

Para o segundo critério, o papel das mulheres com pesquisas sobre Radioatividade (critério 5.b), o Livro B, além dos feitos da Irène Joliot-Curie, apresentado como material complementar na seção ‘Química tem história’ (p. 250), dá ênfase às descobertas de Marie Curie (p. 246-247), que incluíram a denominação do termo ‘Radioatividade’, pesquisas sobre radioatividade espontânea, que a fez receber o prêmio Nobel de Física de 1903, juntamente de seu marido Pierre Curie e Antoine-Henri Becquerel; e a descoberta e isolamento dos elementos rádio e polônio, ganhando seu segundo Nobel, agora de Química em 1911. O livro ainda destaca que Marie Curie passa a ser a primeira mulher a receber um prêmio Nobel e a primeira pessoa a receber dois prêmios em áreas científicas distintas.

Livro C

O Livro C começa com a apresentação da ciência como fruto do trabalho coletivo (critério 5.a) pelo Texto Complementar ‘A descoberta da radioatividade: um grande avanço da Ciência’ (p. 14), da seção ‘Viagem no tempo’, no qual é feito um apanhado das pesquisas que levaram a descoberta do fenômeno da Radioatividade mencionando Röntgen, Becquerel, Marie e Pierre Curie.

Outra menção ao trabalho conjunto de cientistas, se encontra no tópico ‘As transformações radioativas e a Química’ (p. 17), com o trabalho realizado por Rutherford e seu aluno Soddy, quando afirmaram que um átomo ao emitir naturalmente partículas (α e β) originava um novo elemento, declaração que enfrentou muita resistência por ir de encontro a ideia do átomo indivisível.

Um terceiro exemplo foi o trabalho do casal Joliot-Curie, que revolucionou a percepção do fenômeno da Radioatividade, quando, em 1934, obtiveram o primeiro isótopo artificial radioativo ao bombardearem o alumínio com partículas α gerando um isótopo radioativo do fósforo (LIVRO C, p. 23).

Um recorte que demonstra com clareza a importância do coletivo para o desenvolvimento científico é retratado no tópico ‘Fissão nuclear e bomba atômica’:

Por meio do bombardeamento do urânio com nêutrons, cientistas tentavam obter elementos artificiais com Z maior do que 92, os chamados transurânicos. Foi dessa forma que, em 1938, os químicos Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassmann (1902-1980) conseguiram fissionar (isto é, “quebrar”) o urânio-235 (^{235}U). Como interpretar esse fato?

Otto Robert Frisch (1904-1979) e Lise Meitner (1878-1968), ao interpretarem os experimentos de Hahn e Strassmann, concluíram que, se um núcleo de massa atômica elevada sofre fissão, obtêm-se átomos de massa mediana e enorme quantidade de energia (LIVRO C, Tópico ‘Fissão nuclear e bomba atômica’, p. 24).

Até mesmo na desinformação, o Livro C retratou o trabalho científico enquanto fruto do coletivo com a suposta fusão a frio realizada por cientistas estadunidenses no final do século passado:

Em 1989, a notícia, veiculada pela imprensa internacional, de que cientistas estadunidenses haviam conseguido realizar a fusão nuclear em temperatura ambiente – a chamada fusão a frio – causou grande impacto no mundo todo, [...] o que até hoje não se viabilizou (LIVRO C, Tópico ‘A fusão nuclear’, p. 27).

Quanto as contribuições das cientistas mulheres na história da Radioatividade (critério 5.b), o Livro C cita Marie Curie, no Texto Complementar ‘A descoberta da radioatividade: um grande avanço da Ciência’, da seção ‘Viagem no tempo’ (p. 14), que curiosamente começa o texto trazendo seus feitos e retrocede os eventos e as descobertas que a ajudaram a chegar nas conclusões sobre elementos Radioativos. O primeiro parágrafo expõe que:

No final do século XIX, a cientista polonesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934) realizava pesquisas com o objetivo de esclarecer algumas dúvidas sobre um tipo de radiação emitido por compostos de urânio e que era capaz de impressionar chapas fotográficas. (LIVRO C, Tópico ‘Viagem no tempo – A descoberta da radioatividade: um grande avanço da Ciência’, p. 14)

Como já mencionado, o Livro C alude aos feitos da Irène Joliot-Curie (com seu marido), no tópico ‘Radioatividade artificial’ (p. 23) e da física austríaca Lise Meitner que, juntamente de Otto Robert Frisch, interpretaram os experimentos sobre o bombardeamento do urânio-235 com nêutrons. Para além da sua contribuição científica, Lise ainda é notória pelos desafios históricos que ocorriam naquele período, como sua fuga da Alemanha para Suécia, levando informações sobre a fissão nuclear, no período nazista.

No critério 5.b, o Livro C ganha destaque por dedicar algumas páginas da obra com o texto ‘Mulheres na ciência’ (p. 28) e algumas atividades reflexivas e de pesquisa, na seção ‘Conexões’. A ênfase é dada à história de vida de Marie Sklodowska Curie, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner, que não tiveram o reconhecimento necessário na época por questões de gênero.

Os autores sinalizam que Marie, por exemplo, apesar de ter sido uma aluna brilhante e ter se formado aos 16 anos em primeiro lugar em todas as matérias, não poderia continuar seus estudos pela proibição do governo russo sobre mulheres nas universidades. Irène, no período nazista, atuou na resistência francesa e guardou suas pesquisas sobre fissão nuclear nos cofres da Academia Francesa de Ciência, temendo seu uso bélico pelos militares. Enquanto Lise Meitner, realizava seus experimentos na sala reformada da antiga carpintaria

do Instituto de Química de Berlim, pelo fato de mulheres não poderem acessar o andar superior do edifício de Química. Era, até mesmo, proibida de utilizar o toailete do edifício de Química e se utilizava das instalações de um hotel na mesma rua. Além de não ser reconhecida pelos frutos de uma vida dedicada à Ciência, visto da Figura 21 (p. 29):

Figura 21 – TC: Mulheres na ciência - Livro C



Dez anos depois, Lise era diretora de um Centro de Física Radioativa em Berlim. [...] Com 60 anos, decifrou a experiência do século explicando que, inacreditavelmente, o núcleo de um átomo podia ser seccionado e liberar enormes quantidades de energia. Seu parceiro alemão recebeu o Prêmio Nobel pela experiência de fissão que ela iniciara e explicara.

McGRAYNE, Sharon B. *Mulheres que ganharam o prêmio Nobel em Ciências: suas vidas, lutas e notáveis descobertas*. São Paulo: Marco Zero, 1994.

Fonte: Livro C (2016, p. 29)

O texto ‘Mulheres na Ciência’ ainda anexa um trecho de uma matéria publicado pela revista *Época*, em 2015, intitulada ‘A maioria das mulheres cientistas desiste de suas carreiras – e a culpa é nossa’. A publicação revela que:

Desde que foi criado, em 1901, o prêmio Nobel já foi entregue a mais de 900 pessoas e instituições notáveis nas seguintes áreas: Física, Química, Medicina (ou Fisiologia), Economia, Literatura e Paz. Mas a desproporção é grande: apenas cerca de 6% dos ganhadores são mulheres. E, além disso, o Nobel da Paz e o de Literatura é que tiveram o maior número de vencedoras mulheres. Conclui-se que poucas mulheres cientistas chegam ao topo. Um conjunto de fatores colabora para isso (LIVRO C, Tópico ‘Mulheres na Ciência’, p. 29).

Essa discussão contemporânea é dada à luz de uma análise realizada pela Elsevier – grande editora de periódicos científicos- na Alemanha, que segundo o autor também contempla a realidade brasileira. Algumas conclusões observadas foram:

As cientistas [assim como em outras profissões] têm de resistir ao sexismo do ambiente de trabalho e precisam equilibrar suas carreiras com a responsabilidade de criar de filhos e cuidar da casa.

[...]

O problema não está apenas em casa. Há também questões relativas à dinâmica entre orientadores e suas orientandas. [...] Ao longo dos anos de formação, as mulheres são desencorajadas a seguir carreiras ou linhas de pesquisa identificadas como masculinas (LIVRO C, Tópico ‘Mulheres na Ciência’, p. 29-30).

Ao final da leitura são sugeridas sete questões relativas ao texto e ao tema abordado. Para além das informações lá dispostas, duas questões se destacam por provocar os estudantes a olharem para essa realidade no cotidiano, sendo as questões três e cinco, respectivamente:

3. Sexismo é a discriminação baseada no sexo da pessoa. Você já testemunhou algum episódio em que houve manifestação de sexismo explícito ou velada contra uma mulher (de qualquer idade)? Relate o episódio.

5. Como a discriminação contra as mulheres poderia ser eliminada das relações familiares e de trabalho? Discuta com os colegas e proponha soluções que poderiam ser adotadas não só pelos cidadãos, em sua vida diária, mas também pelas empresas privadas e pelo poder público. (LIVRO C, Tópico ‘Mulheres na Ciência’, p. 30)

Livro D

O Livro D, no tópico ‘Breve histórico sobre a descoberta da radioatividade’ (p. 161) cita os feitos de Marie e Pierre Curie (Figura 22) para a história da ciência nuclear, como, em razão de seus estudos, foi possível identificar a emissão espontânea do átomo dos elementos químicos tório, polônio e rádio (estes últimos dois sendo isolados, pelo casal, do minério da pechblenda). Sendo essa a única menção sobre as contribuições das mulheres no trabalho científico sobre a Radioatividade (critério 3.b).

Figura 22 – Pierre e Marie Curie no laboratório - Livro D

Fonte: Livro D (2016, p. 161)

Nesse mesmo tópico, o desenvolvimento dos conhecimentos científicos relativos à Radioatividade (critério 3.a) é representado pela parceira de Soddy e Rutherford, no início do século XX, com a teoria de desintegração atômica para explicar a natureza da radioatividade (p. 161), bem como uma publicação realizada por Rutherford e Royds sobre a composição dessas emissões, observada no fragmento:

Em 1909, Rutherford, em colaboração com o químico inglês Thomas Royds (1884-1955), publicou um artigo em que se confirmava a identidade das partículas alfa: um conjunto de 2 prótons e 2 nêutrons, isto é, núcleos dos átomos de hélio (LIVRO D, Tópico ‘Os principais tipos de radiação nuclear’, p. 162).

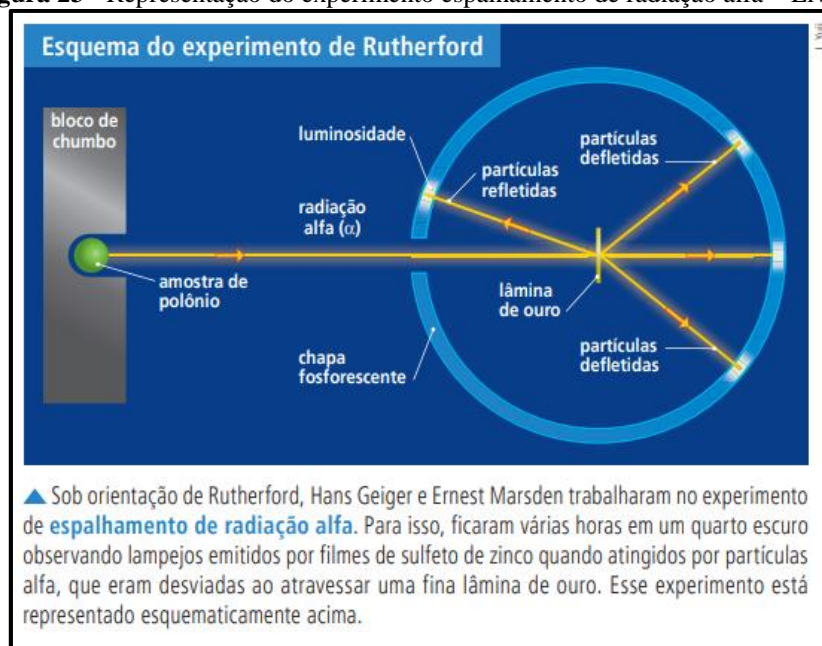
Livro E

Ao estruturar uma linha temporal dos fatos históricos para o desenvolvimento dos modelos atômicos, com seus respectivos cientistas e descobertas, o Livro E, explicitamente referencia o casal Curie como representantes do trabalho científico enquanto produto do coletivo (critério 5.a), no tópico ‘A radioatividade e o átomo’ (p. 161). Dentre suas contribuições, os autores citam o valor da identificação dos elementos radioativos rádio (Ra) e polônio (Po), em seus estudos com minérios que emitiam radiação. E ainda frisa que eles não puderam explicar a origem da radiação emitida por esses elementos, se tornando meta dos cientistas da época estruturar um modelo que desvendasse a estrutura da matéria.

A única menção do Livro E, ao papel das mulheres no desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre a Radioatividade (critério 5.b), é dada à Marie Curie por isolar os elementos Ra e Po.

Dentro da temática explorada, a outra menção relativa ao trabalho conjunto (critério 5.a) se refere às investigações de Marsden, Geiger e Rutherford sobre a interação da Radioatividade com diferentes metais e a presença de partículas alfa que retornavam, enquanto a maioria atravessava o material, conforme demonstrado na Figura 23 (p. 163):

Figura 23 - Representação do experimento espalhamento de radiação alfa – Livro E



Fonte: Livro E (2016, p. 163)

Em resumo, o Quadro 14 a seguir apresenta uma síntese da presença das aplicações tecnológicas da Radioatividade nas cinco obras analisadas:

Quadro 14 - Livros que mostram o desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre radioatividade como produto do trabalho coletivo e que reconheça o papel da mulher na ciência

Critérios	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Critério 5.a	X	X	X	X	X
Critério 5.b	X	X	X	X	X

Fonte: Própria (2022)

Um dos objetivos básicos da abordagem CTS é mostrar ciência como uma construção humana, que é o produto do trabalho coletivo (GÁRCIA-CARMONA; CRIADO, 2008). Além disso, também é necessário destacar o papel da mulher no desenvolvimento científico, pois, além reconhecer suas contribuições, contribui para romper com a crença da ciência como uma carreira reservada exclusivamente aos homens (RESQUETTI, 2013; SILVA; RIBEIRO, 2014). Nesse sentido, a nítida presença da ciência como trabalho do coletivo, livre de obstáculos por questões de gênero, nos livros didáticos, ajuda os estudantes a entenderem a construção do conhecimento científico como um espaço que eles possam fazer parte. Essa

postura valida o papel da escola como espaço democrático e promove uma reparação histórica com os espaços que as mulheres poderiam ocupar (SILVA; RIBEIRO, 2014).

Antes de seguir para as considerações gerais sobre o papel da mulher e da ciência como fruto do trabalho coletivo, destacamos que a Radioatividade é privilegiada por possuir uma figura feminina representante. Sua menção já era esperada na nossa análise. Seria ingênuo pensar na qualidade das obras, exclusivamente, por mencionar Marie Curie, quando se pensarmos em outras áreas de pesquisa científica como a cinética química, que não possui essa representatividade, e, portanto, em uma possível análise similar dos livros didáticos, não seria contemplado esse critério.

Observamos que os cinco livros (Livros A, B C, D e E) mostram o desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre Radioatividade como produto do trabalho coletivo (critério 5.a). De modo geral, os livros mencionam pelo menos quatro figuras presentes em diferentes contextos na história da Radioatividade.

As descobertas relacionadas à Radioatividade mencionadas são: a identificação experimental de partículas α e β emitidas por um núcleo atômico instável (Livro A), a síntese do primeiro isótopo artificial radioativo (P-30), que rendeu o Prêmio Nobel de Química em 1935, pelo casal Irène e Jean Frédéric Joliot-Curie (Livros A, B e C), a descoberta da Radioatividade por Marie e Pierre Curie e Antoine Becquerel, que lhes rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1903 (Livros B, C, D e E), a descoberta dos elementos transurânicos por Seaborg, McMillan e Abelson, que lhes rendeu o Prêmio Nobel de Química em 1951 (Livro B), a teoria de Rutherford e Soddy sobre a desintegração atômica para explicar a natureza da Radioatividade (Livros C e D), a fissão do urânio-235 realizado químicos Hahn e Strassmann (Livro C) e a interpretação desse fenômeno gerando átomos de massa mediana e enorme quantidade de energia por Frisch e Meitner (Livro C), o trabalho conjunto de Rutherford e Soddy sobre a composição da radiação alfa (Livro D) e, por fim, o experimento de Marsden, Geiger e Rutherford sobre a interação da Radioatividade com diferentes metais (Livro E).

Além do caráter provisório e incerto das teorias científicas, Solomon (1988) aponta para entendê-las como fruto do trabalho coletivo. Isso porque, a participação cidadã se dá, também, por se entender enquanto sujeito que vive em sociedade disposto a ser um agente de mudança social, assim, a natureza da ciência pode ser entendida como “uma busca de conhecimentos dentro de uma perspectiva social” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 69).

Sobre o papel das mulheres no desenvolvimento de conhecimentos científicos relativos à Radioatividade (critério 5.b), os cinco livros o contemplam (Livros A, B, C, D e E). A mulher que mais representa esse contexto é Marie Curie, referenciada por quatro livros

(Livros B, C, D e E), e lembrada por dois livros (Livros B e C), por ser a primeira mulher a receber um Nobel (Prêmio Nobel de Física em 1903) e por ser a única pessoa a receber dois prêmios em áreas científicas distintas (Prêmio Nobel de Química em 1911). Seguida de sua filha Irène Joliot-Curie, também citada por quatro livros (Livros A, B, C e D), e, por fim, a física austríaca Lise Meitner, mencionada por apenas um livro (Livro C).

Algumas considerações acerca da inserção e participação das mulheres no campo científico segundo o trabalho de Silva e Ribeiro (2014), incluem as lutas do feminismo contemporâneo. Isso porque, até os dias de hoje nota-se que as mulheres não avançam na carreira científica na mesma proporção que os homens, bem como os “compromissos em tempo integral para o trabalho, produtividade em pesquisa, relações academicamente competitivas e a valorização de características masculinas [...] restringem a participação da mulher nesse contexto” (SILVA; RIBEIRO, p. 451). Por isso, a notoriedade do trabalho conquistado por essas cientistas citadas nas respectivas épocas deve ser retratada nos Livros Didáticos de Química.

Para o critério 5.b, o Livro C ganha destaque por dedicar algumas páginas da obra com o texto ‘Mulheres na Ciência’, trazendo um pouco do contexto, das dificuldades e das injustiças que Marie Curie, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner passaram em suas respectivas épocas, por serem mulheres. Além dessa retomada histórica, o texto ainda denuncia que, no presente, continuamos longe de manter um ambiente ideal que promova mulheres cientistas, seja por sexismo ou pela acumulo de responsabilidades entre carreira e responsabilidades com a família, que foi social e historicamente construído.

5.1.6 Benefícios *versus* Malefícios das aplicações da Radioatividade: Uma Análise Comparativa

Como mencionado no referencial teórico, abordagens CTS tentam promover nos estudantes uma série de atitudes e valores, que lhes permitem ser críticos e responsáveis em situações de controvérsia, relacionadas com a desenvolvimento científico-tecnológico (GARCÍA-CARMONA; CRIADO, 2008; SANTOS; MÓL, 2006; SANTOS; MORTIMER, 2002). Portanto, entendemos como necessário o exercício de comparar as vantagens e desvantagens dos usos da Radioatividade nas suas aplicações na Sociedade.

Assim, a seguir, apresentamos a análise referente ao critério 6, disposto no Quadro 9 (p. 75):

Critério 6: Se [os livros didáticos] comparam os benefícios (aplicações médicas, energéticas e outras) e os danos (usos bélicos e possíveis acidentes em usinas nucleares) que ocorreram, para a humanidade e ao meio ambiente, a partir das aplicações da Radioatividade.

Livro A

A última unidade do Livro A (Unidade 5 - Atividade nuclear), apresenta o capítulo 11 que se dedica aos conteúdos referentes à Radioatividade. De início, a autora justifica sua intencionalidade ao colocar esses conteúdos no final da obra, sendo “para poder compreender melhor os efeitos das radiações ionizantes na formação de radicais livres e sobre as moléculas de DNA” (LIVRO A, p.260). E, após mencionar um paralelo entre aplicações bélicas da Radioatividade e suas aplicações benéficas, a autora corrobora com um dos objetivos de abordagens CTS para o ensino de Ciências, quando diz:

Ter uma noção mais clara de todos os riscos e possibilidades da atividade nuclear é fundamental para o desenvolvimento da cidadania (LIVRO A, Apresentação da Unidade 5 – Atividade nuclear, p. 260).

A partir dessa introdução, o Livro A organiza uma dinâmica de apontar seções que apresentam aplicações benéficas e seções que apresentam sobre os desastres ou os debates controversos acerca desse tema. Por exemplo, ainda nas primeiras páginas é apresentado na seção ‘FOI NOTÍCIA!’, dois textos disponibilizados pelo portal do Senado sobre segurança nas usinas nucleares e destinação do lixo nuclear, ao final da leitura a autora questiona:

Você acabou de ler matérias sobre a falta de segurança de usinas nucleares e o destino do lixo atômico. Você sabe quais as consequências de um acidente nuclear como os de Chernobyl e Fukushima? (LIVRO A, Tópico ‘capítulo 11 (introdução) – Leis da radioatividade e energia nuclear’, p. 261).

Com a apresentação dos conteúdos de emissões nucleares naturais, leis de Soddy e período de meia-vida, o livro apresenta um Texto Complementar intitulado ‘Aplicações pacíficas da radioatividade’ (p. 269), na seção ‘Curiosidade’, criando uma dinâmica de comparação entre as vantagens e desvantagens de se utilizar tecnologias de aplicação da Radioatividade. O texto mencionado cita entre as aplicações pacíficas da Radioatividade: estudar metabolismo das plantas, marcação de insetos (para estudar comportamento de insetos e eliminação de pragas, esterilização de insetos machos), marcar um agrotóxico e entender seu

ciclo na natureza, gamagrafia industrial, indicar nível de líquido em garrafas, esterilização de materiais da indústria farmacêutica e da saúde, bem como contextualiza tais aplicações.

Obedecendo a organização vista, é apresentado o TC ‘O acidente de Goiânia’ (p. 272), na seção ‘Saúde e sociedade’, relatando o desastre que envolveu a população de Goiânia ao entrarem em contato com uma bomba de césio-137, deixada pelo Instituto Goiano de Radioterapia (IGR), que abandonaram o prédio em 1985 após uma ação de despejo. Seguindo a mesma lógica, na seção ‘De onde vem... para onde vai?’, no TC ‘Gerador de tecnécio’ (p. 276) é declarada a importância desse dispositivo para o diagnóstico de diversas doenças. Para serem retomadas as notícias do portal do Senado, relatando as sequelas deixadas por ambos os acidentes, em Chernobyl e em Fukushima (p. 281).

Por fim, o último TC apresentado finalizando as propostas do capítulo, na seção ‘Compreendendo o mundo’ (p. 285) retomam os relatos sobre as aplicações benéficas e danosas da Radioatividade, incorporado de uma porção de questões que a autora faz em relação aos eventos apresentados, que reforça o papel de refletir sobre a temática e a importância dela no contexto do ensino da Química. A Figura 24, a seguir, retrata esse cenário dos dois grifos nossos:

Figura 25 – TC: Compreendendo o mundo - Livro A

Compreendendo o Mundo

O tema desta Unidade foi atividade nuclear. Vimos que as aplicações pacíficas relacionadas a esse fenômeno são muito diversificadas e importantes, e vão da área médica à agricultura, da pesquisa com radioisótopos à síntese de nanopartículas, da indústria de alimentos à construção civil, da indústria farmacêutica à produção de energia elétrica. Tantas aplicações e possibilidades não podem ser ignoradas, como também não podem ser ignorados os riscos inerentes de se trabalhar com a radioatividade.

Vimos que dominar a tecnologia do enriquecimento de urânio e possuir armas nucleares faz um país ser "levado a sério". Em busca desse objetivo ou de outros menos evidentes, países como a Coreia do Norte e o Irã estão seguindo por esse caminho, mesmo sem o aval da Organização das Nações Unidas (ONU), deixando o mundo apreensivo.

Isso sem contar a possibilidade, ainda que remota, de um ataque terrorista com armas nucleares ou com materiais radioativos retirados de aparelhos destinados a aplicações pacíficas, ou ainda de novos acidentes por falhas nos sistemas de segurança das usinas de energia.

O acidente de Chernobyl, por exemplo, só ocorreu porque as normas de segurança foram sendo desrespeitadas uma a uma sequencialmente, até que o fenômeno fugiu do controle. Na realidade, a falha de segurança de Chernobyl começou no projeto da usina: não havia envoltório de contenção de radioatividade como há em todas as usinas do Ocidente, inclusive nas do Brasil.

E se houvesse, teria feito alguma diferença?

Sim, provavelmente o vazamento de radioatividade teria ficado restrito à área da usina, como ocorreu no acidente na usina nuclear de Three-Mile Island, na Pensilvânia, Estados Unidos, em 1979 (sete anos antes do de Chernobyl).

Por falha no sistema de refrigeração de um dos reatores, o calor gerado nas reações de fissão fez a água pressurizada inundar a área do reator, provocando um enorme vazamento de radioatividade. Mas como essa usina tinha o envoltório de contenção (cúpula) composto de camadas de aço e cimento, para proteção tanto interna como externa, a maior parte da radiação que vazou ficou retida no local. Além disso, como a área do envoltório de contenção é restrita, nenhum operador foi afetado, e ninguém morreu no acidente, embora o núcleo do reator tenha fundido (exatamente como o de Chernobyl) e a usina americana continue até hoje inoperável.

De fato, falhas acontecem, sejam de procedimento humano, sejam de equipamentos. As consequências de falhas, quando se lida com radioatividade, podem ser fatais; então, não podemos nem devemos "ficar tranquilos".

É preciso conscientização, informação, vigilância, educação e preparo para prever os problemas, não deixar que aconteçam, e para agir corretamente se acontecerem, de modo que se consiga reduzir os danos.

O acidente de Goiânia também só ocorreu por falta de cuidado e de informação. Uma fonte de césio-137 não pode ser abandonada em um prédio vazio, como se fosse uma sucata qualquer.

Vários acidentes semelhantes já ocorreram no mundo todo por causa desse "desleixo" dos responsáveis. A situação pode se agravar na medida em que aumentam as aplicações pacíficas de isótopos radioativos. São mais e mais aparelhos sendo fabricados, aparelhos que se tornam obsoletos muito antes que a atividade do isótopo que ele contém comece a diminuir, ou seja, o volume de sucata radioativa tende a se tornar cada vez maior. Precisamos prever um destino certo para isso ou vamos ter problemas.

O que também colaborou de forma decisiva para o acidente de Goiânia foi a falta de informação das pessoas, desde o sucateiro que levou a bomba do prédio abandonado, o dono do ferro-velho que a violou e de todos que manipularam inocentemente o césio-137.

Se essas pessoas, ou pelo menos alguma delas, tivessem noção do material com o qual estavam lidando, isso não teria acontecido.

Esse episódio fica então como resposta para os alunos que perguntam: – Por que eu tenho que estudar radioatividade? O que isso tem a ver com o meu dia a dia? Onde eu vou usar esse conhecimento? (etc., etc., etc.)

Se Devair tivesse tido a oportunidade de estudar radioatividade, hoje ele estaria vivo.



Manifestação pública contra o uso da energia nuclear. Paris, França, 2014.

Entendemos que essa dinâmica adotada pelo Livro A é importante para uma abordagem CTS, porque é necessário que os cidadãos conheçam os diferentes usos da Radioatividade no seu dia a dia, bem como se posicionem criticamente com relação aos efeitos ambientais do emprego da Química e quanto às decisões referentes aos investimentos nessa área, a fim de buscar soluções para os problemas sociais que podem ser resolvidos com a ajuda do seu desenvolvimento. E, nesse sentido, “formar uma pessoa que tome decisão, que avalie o papel das decisões humanas na determinação da sobrevivência e da vida da sociedade futura (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 77).

Livro B

O Livro B, introduz o capítulo 13 ‘A radioatividade e as reações nucleares’, apresentando vantagens e desvantagens sobre o uso de diferentes tipos de radiação. Como desvantagens citam a morte de Marie Curie, pioneira em pesquisas no campo da Radioatividade e a fabricação de armamentos nucleares, enquanto as vantagens mencionadas são suas aplicações na medicina e na comunicação, como nos aparelhos celulares. Após esse apanhado, a leitura termina com o seguinte questionamento:

Levando em consideração esses prós e contras, você considera vantajoso o uso que tem sido feito das radiações. Por quê? (LIVRO B, Tópico ‘capítulo 13 - A radioatividade e as reações nucleares’, p. 246).

Esse tipo de questionamento é importante, considerando a abordagem CTS, pois o estudante reflete sobre a inter-relação da informação Química e do contexto social, já que “para o cidadão participar da sociedade precisa não só compreender a Química, mas a sociedade em que está inserido” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 102).

Outra menção a natureza controversa da utilização das tecnologias que envolvem os fenômenos radioativos, é encontrada no tópico ‘Reator nuclear’ (p. 257), quando é dito que:

A reação nuclear é uma das maneiras de se produzir energia. Seu uso causa inúmeras controvérsias, devido à quantidade de material radioativo que pode ser gerado, muitas vezes de difícil destinação (LIVRO B, Tópico ‘Reator nuclear’, p. 257).

Da mesma forma, no tópico ‘Lixo nuclear’ (p. 258), os autores se preocuparam em não promover uma ideia estigmatizada da origem dos rejeitos radioativos, é tratado que:

Devemos ter em mente, no entanto, que nem todo rejeito radioativo é proveniente de usinas nucleares.

A radiação é usada em inúmeros processos de nosso cotidiano, como a conservação de alimentos, a esterilização de material cirúrgico, os exames clínicos (diagnóstico de doenças), o tratamento de câncer e muitas outras aplicações.

Ao mesmo tempo que o uso da radiação gera benefícios para a humanidade, gera também rejeitos radioativos. Para o tratamento adequado de todo esse material, devemos discriminar a origem e o tipo de cada um deles quando descartados (LIVRO B, Tópico ‘Lixo nuclear’, p. 258).

Por fim, o Livro B finaliza o capítulo com o TC ‘Energia nuclear’ (p. 267), na seção ‘Química e Física’. Nele se é discutido as fontes de energia (renováveis e não renováveis) utilizadas pelo Brasil. No tocante à produção de energia elétrica por meio das usinas nucleares é dito que:

A energia nuclear corresponde à menor parte da oferta energética brasileira (1,3%). Entretanto, essa fonte oferece grande quantidade de energia quando comparada às demais (LIVRO B, Tópico ‘Química e física - energia nuclear’, p. 267-268).

Além disso, é apresentada um conjunto de atividades após a leitura do TC ‘Energia nuclear’. De um total de sete questões, três possibilitam discutir as vantagens e desvantagens, por meio de pesquisa em fontes confiáveis, do uso de matrizes nucleares para produção de energia elétrica, visto as especificidades, a dimensão territorial e a heterogeneidade do Brasil, exposto na Figura 25 (p. 268):

Figura 25 - Questões sobre energia nuclear – Livro B

5. Em sua opinião, por que a energia nuclear não é muito explorada no Brasil?
6. Observando a matriz elétrica brasileira mostrada no gráfico acima, quais fontes renováveis de energia deveriam ser ampliadas?
7. Apesar de a quantidade de energia gerada nos processos de fissão nuclear ser uma grande vantagem no uso dessa fonte energética, também existem desvantagens em sua utilização. Entre elas está o lixo radioativo produzido durante o processo de obtenção de energia, além do risco de exposição da população a radiações de alto poder de penetração em caso de acidentes.
Outras fontes energéticas também apresentam vantagens e desvantagens. Para saber mais sobre o assunto, faça uma pesquisa e elabore um quadro mostrando as vantagens e desvantagens do uso das fontes energéticas citadas nesta atividade.

Fonte: Livro B (p. 268)

A apresentação dessas informações corrobora com a abordagem CTS, na medida que é necessário compreender os processos Químicos, nesse caso relativo à Radioatividade, com a vida cotidiana. Isso porque, segundo Santos e Schnetzler (2015, p. 49) “a Química no Ensino não pode ser ensinada como um fim em si mesma, senão estaremos fugindo do fim maior da Educação Básica, que é assegurar ao indivíduo a formação que o habilitará a participar como cidadão na via em sociedade”, ou seja, uma formação cidadã em geral e não especialista como

previsto outrora e isso implica, em um ensino contextualizado que forme cidadãos alfabetizados científica e tecnologicamente.

Livro C

O Livro C, na introdução do capítulo 1 ‘Estudo da radioatividade, suas aplicações e implicações ambientais’, apresenta um paralelo entre diferentes aplicações tecnológicas da Radioatividade, que vão ser retratadas ao longo do conteúdo, visto no fragmento:

Embora a radioatividade seja frequentemente associada a algum malefício (bombas atômicas, contaminação radioativa, lixo radioativo), esse fenômeno, bastante comum, tem tido inúmeras aplicações na sociedade e nas ciências. (LIVRO C, Tópico ‘Para situá-lo’, p. 12)

Em seguida, é dado recortes do artigo ‘O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX’ (p. 13), que retrata o fascínio que se viveu com as descobertas relativas à Radioativa nos Estados Unidos e na Europa, caracterizando o período da *belle époque*. Nos quais são apresentadas três questões, dentre elas, a primeira tem potencial de promover, por meio de pesquisas em fontes confiáveis, as primeiras ideias do caráter controverso da Radioatividade no cotidiano, a provocação é:

1) Há diferenças entre um material radioativo e um material que foi irradiado? Explique (LIVRO C, ‘Atividades’, p. 13).

Um compilado de informações que ajudam a comparar as vantagens e desvantagens do uso de reatores nucleares como fonte de energia, é trazida pelo Livro C, ao apresentar argumentos que perpassam pela oferta energética de diferentes fontes, geração de resíduos e riscos de acidentes, considerado no seguinte excerto:

Durante muito tempo, diversos países, entre os quais os europeus, priorizavam as usinas termelétricas, que têm o grave inconveniente de poluir o ar e de contribuir para o agravamento do efeito estufa. Por isso, nas últimas décadas, muitos desses países têm investido em projetos de construção de reatores nucleares visando à produção de eletricidade.

A tecnologia nuclear, no que se refere à construção da usina e à obtenção do combustível, é extremamente cara. Por outro lado, a quantidade de energia que se pode obter nos processos nucleares é excepcionalmente maior do que a obtida em combustões comuns.

Quando 1g de ^{235}U sofre fissão, obtêm-se 20 milhões de kcal, enquanto 1g de petróleo fornece, aproximadamente, 11 kcal, e 1g de álcool comum, 7 kcal.” (p.33)

Apesar da quantidade de energia que fornecem, as usinas nucleares têm sido muito questionadas por causa do risco de acidentes, que, quando ocorrem, apresentam consequências muito sérias e podem continuar afetando o ambiente muitos anos após o acidente.

Outra questão importante a levar em conta é que a maioria das usinas nucleares utiliza água para o resfriamento do reator. Se a água, depois de aquecida, for lançada

ao meio ambiente, apesar de não estar contaminada, afetará a sobrevivência de algumas espécies. Isso porque a elevação de temperatura da água reduz a solubilidade dos gases em água, como o oxigênio, prejudicando todo o ecossistema (LIVRO C, Tópico ‘Reatores nucleares: fontes de energia’, p. 33-34).

Por fim, o Livro C também dedica um espaço para trazer as ideias controversas sobre a adoção de centrais nucleares no Brasil, que envolvem diversos aspectos de natureza política e ambiental, visto na passagem:

A implantação da primeira usina nuclear em território nacional gerou muita polêmica e essa questão continua alimentando debates acalorados entre os vários especialistas envolvidos no assunto. De qualquer forma, a análise de questões ambientais e de natureza estratégica centraliza os argumentos a respeito do tema.

Por exemplo: boa parte do potencial hidrelétrico do país encontra-se na Amazônia. Por essa região estar distante dos grandes centros, os custos da energia proveniente de fontes hídricas são altos. Além disso, a construção de hidrelétricas acarreta impactos ambientais de grandes proporções.

As condições bastante privilegiadas quanto às possibilidades de produção de energia elétrica, em relação ao contexto mundial, explicam por que muitos especialistas em energia consideram que, no Brasil, as usinas nucleares deveriam ter papel complementar ao das hidrelétricas, sem, no entanto, substituí-las. Já as usinas termelétricas atenderiam à demanda por energia quando, nos períodos de seca, diminuísse a produção das hidrelétricas.

[...] Em conjunto, as três unidades serão capazes de gerar metade da energia elétrica consumida no estado do Rio de Janeiro (LIVRO C, Tópico ‘Usinas nucleares no Brasil’, p. 34).

O balanço de pontos de vista acerca, principalmente, da adoção de matrizes energéticas nucleares é essencial na abordagem CTS, pois considerando que a cidadania se refere à participação dos indivíduos na sociedade, torna-se evidente que, para o cidadão efetivar sua participação comunitária, “é necessário que ele disponha de informações que estão diretamente vinculadas aos problemas sociais que afetam o cidadão, os quais exigem um posicionamento quanto ao encaminhamento de suas soluções” (SANTOS; SCHNETZLER, p. 46), já que a ênfase curricular CTS é tratar “das inter-relações entre explicação científica, planejamento tecnológico e solução de problemas, e tomada de decisão sobre temas práticos de importância social (SANTOS; MORTIMER, 2002, p. 3)

Livro D

O Livro D, por organização da obra, restringe as aplicações da Radioatividade ao contexto da medicina nuclear. Com isso, a alusão do caráter controverso que a Radioatividade possa apresentar, é apresentada em uma orientação disposta nos livros dedicados ao professor (manual do professor), o qual sugere que o professor retome os efeitos da Radioatividade no ser humano e seu potencial enquanto produto do refinamento tecnológico. Dentro da proposta

do critério 6, a Figura 26 apresenta a sugestão sinalizada pelo Livro D (Tópico ‘Radioterapia’, p. 166):

Figura 26 - Orientações para o professor – Livro D

Retome as discussões da questão “Se a radioatividade pode ocasionar o surgimento de câncer, como então ela é utilizada na radioterapia?”, proposta no início do capítulo para levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos.

Fonte: Livro D (p. 166)

Ainda que breve, essa orientação chama atenção por estabelecer relação com o conteúdo apresentado anteriormente. Nesse caso, assim como prevê a abordagem CTS, “o ensino para o cidadão precisa levar em conta os conhecimentos prévios dos alunos, [...] na qual se solicita a opinião dos alunos a respeito do problema que o tema apresenta” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 120), para o conteúdo trabalhado essas informações incluem necessariamente o conhecimento químico para o encaminhamento de soluções.

Livro E

No Livro E, por organizar os conteúdos relativos à Radioatividade no contexto da história e evolução dos modelos atômicos, não observamos comparações entre os benefícios (aplicações médicas, energéticas e outras) e prejudiciais (usos bélicos e possíveis acidentes em centrais nucleares), que ocorreram para a humanidade e ao meio ambiente, a partir das aplicações da Radioatividade.

Em resumo, o Quadro 15, a seguir, apresenta uma síntese do critério 6, se os livros comparam os benefícios (aplicações médicas, energéticas e outras) e os danos (usos bélicos e possíveis acidentes em centrais nucleares), que ocorreram para a humanidade e ao meio ambiente, a partir das aplicações da Radioatividade, nas cinco obras analisadas:

Quadro 15 - Livros que comparam os benefícios e danos das aplicações da Radioatividade para a humanidade e ao meio ambiente

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Critério 6	X	X	X	X	-

Fonte: Autor (2022)

A busca por uma cultura de participação para mudanças sociais, a partir do olhar de abordagens CTS no ensino de Ciências, se dá pelo desenvolvimento de atitudes e valores que promovam uma formação crítica e responsável para o exercício da cidadania (STRIEDER,

2012). Nesse sentido, as abordagens CTS são reconhecidas pela mobilização de conhecimentos científicos, tecnológicos e sociais por meio de temas que perpassem por questões ambientais, éticas, políticas, dentre outras (SANTOS; MORTIMER, 2002). Portanto, o estímulo nos livros didáticos da promoção de reflexões e ideias de caráter controverso para a temática Radioatividade se tornam uma possibilidade para a formação de estudantes para o exercício da cidadania, à medida que eles constroem argumentos plurais acerca do tema.

Pelas marcações do Quadro 15, observamos que quatro dos cinco livros (Livros, A, B, C e D) contemplam o critério 6. Para criar esse panorama de situações controversas acerca do fenômeno de Radioatividade, os livros utilizaram de: contextos de diversas aplicações e riscos dos usos cotidianos da Radioatividade (Livros A e B), matrizes energéticas nucleares e o material radioativo gerado (Livros A, B e C), centrais nucleares no Brasil (Livros B e C) e riscos de exposição radioativa e aplicações radioativas na medicina (Livro D).

Com todas as abordagens empregadas pelos livros para organizar os conteúdos relativos à Radioatividade, notamos que o uso de questões reflexivas foi uma estratégia utilizada por três das quatro obras (Livros B, C e D), para provocar os estudantes a buscarem pensar e pesquisar sobre as vantagens e riscos relacionados aos usos tecnológicos desse fenômeno. Destacamos como exemplos:

- Livro B – Depois de mencionar riscos e vantagens da Radioatividade e de outras radiações, pergunta-se “Levando em consideração esses prós e contras, você considera vantajoso o uso que tem sido feito das radiações. Por quê?” (LIVRO B, Tópico ‘capítulo 13 – A radioatividade e as reações nucleares’, p. 246).
- Livro C – Depois de situar os estudantes que há diferentes aplicações tecnológicas da Radioatividade, é proposto a realização de pesquisa em fontes confiáveis para responder “Há diferenças entre um material radioativo e um material que foi irradiado?” (LIVRO D, ‘Atividades’, p. 13).
- Livro D – Para introduzir o tópico ‘Radioterapia’, os autores sugerem, no manual do professor, que se pergunte aos estudantes “Se a radioatividade pode ocasionar o surgimento de câncer, como então ela é utilizada na radioterapia? (LIVRO D, Tópico ‘Radioterapia’, p. 166).

Além disso, a proposta de se trazer as usinas nucleares do Brasil (Livros B e C) ou o acidente em Goiânia com o Césio-137 (Livro A) é uma forma de aproximar os estudantes das questões relativas à Radioatividade, uma vez que as discussões acerca dessas usinas podem estar mais presentes nos Estados Unidos, França e China que possuem a maioria de unidades

em operação ou, até mesmo, da Bélgica e Alemanha que vem apresentando, nos últimos anos, planos de abandonar a energia nuclear (DEUTSCH WELLE, 2018).

Como conclusão das análises referentes ao primeiro objetivo específico (analisar os contextos de aplicação da Radioatividade nos LDQ aprovados no PNLD 2018 sob a ótica da abordagem CTS), entendemos que a adoção dos temas químicos sociais, promove um ensino dos conceitos químicos necessários para o cidadão ser capaz de julgar, compreendendo sobretudo a responsabilidade social que tem como tal. Assim, dispondo dos Livros Didáticos de Química como fonte de informação, os estudantes precisam: ser informados sobre as aplicações tecnológicas da Radioatividade (na produção de energia elétrica, na medicina e na indústria), compreender o papel desse fenômeno na política, na economia e no comportamento social, entender seu papel na história, na evolução do conhecimento e da cultura, considerar o impacto da Radioatividade em problemas ambientais, ter a noção do desenvolvimento do conhecimento científico enquanto produto do trabalho coletivo e com igualdade de gênero, para, assim, serem capazes de comparar as vantagens e os riscos das aplicações tecnológicas da Radioatividade. Situar tais informações no contexto social é conscientizar o cidadão da sua responsabilidade enquanto agente atuante na sociedade.

Dentre os contextos de aplicação da Radioatividade no cotidiano, um assunto fundamental que não foi discutido nos livros didáticos diz respeito ao processo de desativação de usinas nucleares. Além de mobilizar conhecimentos da Química, os interesses políticos e econômicos de desativação dessas usinas, juntamente com planos estratégicos de outras fontes de energia que cumpram com as demandas locais e ambientais, viabilizariam formas de pensar sobre energias para um futuro sustentável, validando o ensino da Química norteado pela abordagem CTS.

A presença dessas informações nos LD destaca o papel e expansão do Plano Nacional do Livro Didático que colaboram para a difusão de novas propostas para o ensino de Química. Entretanto, o papel de outros recursos didáticos é fundamental para práticas balizadas pela abordagem CTS, como visto ao longo das discussões do tópico 2.2.2 Os Recursos Didáticos na Abordagem CTS. Logo, a próxima análise busca investigar sobre os textos complementares sugeridos nas obras aprovadas pelo PNLD 2018, considerando a exigência da sociedade atual em ter sujeitos que compreendam mensagens veiculadas em diferentes fontes de divulgação e que possuem diversos gêneros textuais, balizados pelos critérios que devam atender materiais didáticos CTS (SANTOS, 2001), que incluem aspectos de responsabilidade, influências mútuas CTS, relações com as questões sociais, balanço de

pontos de vista, tomada de decisão e resolução de problemas, ação responsável e integração de um ponto de vista.

5.2 ANÁLISE DOS TEXTOS COMPLEMENTARES SUGERIDOS NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA (PNLD 2018): INDICADORES PARA UMA ABORDAGEM CTS

A presença do livro didático de Química e seu papel na seleção e organização do conteúdo a ser ensinado pelos professores revela uma atenção necessária para os recursos complementares sugeridos por essas obras, em especial os textos complementares.

Desse modo, buscamos no decorrer deste tópico contemplar a análise do segundo objetivo específico da pesquisa: Identificar e analisar os textos complementares, sugeridos nos cinco Livros Didáticos de Química para a temática Radioatividade, que cumprem com os critérios de materiais didáticos/curriculares CTS, segundo Santos (2001), que incluem: Responsabilidade, Influências mútuas CTS, relações com as questões sociais, balanço de pontos de vista, tomada de decisões e resolução de problemas, ação responsável e integração de um ponto de vista.

No total, identificamos trinta e dois (32) textos complementares sugeridos ao longo dos cinco Livros Didáticos para tratar de conteúdos relativos à temática Radioatividade. A distribuição desses textos nas obras analisadas está disposta no Quadro 16.

Quadro 16 - Quantidade de textos complementares sugeridos ao longo dos livros didáticos de Química (PNLD 2018)

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
Quantidade de textos complementares	7	9	13	1	2

Fonte: Autor (2022)

Assim como para a primeira análise, deixamos claro que os textos e seus respectivos planejamento de atividades, não são necessariamente exclusivos por critério analisado, pois os contextos, as características e as abordagens que eles apresentam não são distintas e autônomas, mas, em geral, aparecem associadas entre si. Isso posto, nos subtópicos a seguir, serão apresentados quais textos complementares contemplam cada critério CTS e quais trechos dos livros o representam.

5.2.1 Responsabilidade

Após a leitura dos cinco LD referente à Radioatividade foi observado que apenas cinco⁷ dos trinta e dois textos complementares incluem aspectos relativos à responsabilidade humana sobre a natureza, de forma a integrar os conteúdos químicos escolares dispostos nesta temática. Dentre os cinco, três pertencem ao Livro A, um ao Livro B e um ao Livro C, conforme exemplo do trecho do Livro A (Figura 18), a seguir:

Figura 18 – TC: A destinação de lixo nuclear preocupa participantes de seminário no Senado – Livro A

Destinação de lixo nuclear preocupa participantes de seminário no Senado

A questão da destinação final do lixo nuclear no Brasil, que até hoje não foi resolvida, foi o principal tema em debate, na manhã desta terça-feira (27/10/2015). [...]

Conforme o físico Luiz Pinguelli Rosa, professor emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro e ex-presidente da Eletrobras, ainda não há no mundo uma solução definitiva para esse material, nem garantia total de segurança para o meio ambiente e para a população.

'No Brasil, esse material está armazenado no terreno dos reatores nucleares em Angra dos Reis. O problema é que é uma área com propensão a desabamentos', observou.

Os rejeitos de baixa e média radioatividade são guardados em depósitos provisórios ou permanentes. O grande problema está no lixo de alta radioatividade, como restos do combustível que move as usinas. Esse material, que leva milhares de anos para ter sua radioatividade reduzida, é armazenado provisoriamente em piscinas especiais localizadas próximas ao reator."

TORRES, Ribas Tércio. Disponível em: <www12.senado.leg.br/noticias/materias/2015/10/27/destinacao-de-lixo-nuclear-preocupa-participantes-de-seminario-no-senado>. Acesso em: 2 nov. 2015.

Você acabou de ler matérias sobre a falta de segurança de usinas nucleares e o destino do lixo atômico. Você sabe quais as consequências de um acidente nuclear como os de Chernobyl e Fukushima?

Fonte: Livro A (2017, p. 261)

Neste trecho observamos que ações responsáveis podem ser apresentadas por meio de denúncia. Este trecho relata o receio de um especialista sobre a destinação do lixo nuclear no Brasil, fato que se agrava ao lembrarmos dos atrasos para inauguração das usinas Angra I e II por ações judiciais que exigiam um plano de segurança em caso de acidente. A presença de discussões sobre a responsabilidade humana em materiais didáticos CTS, diante de fenômenos naturais que podem trazer desastres ambientais e sociais, é importante porque pode despertar nos alunos a compreensão de que eles são membros e agentes sociais ativos da sociedade e do ecossistema natural, do qual fazem parte (SANTOS, 2001).

⁷ Ver os textos complementares II, IV, VII, XVI e XXIV indicados no Apêndice A.

Na mesma linha, o Livro B promove a reflexão sobre a responsabilidade humana na relação com o bem-estar e a natureza, utilizando do cenário da produção de energia elétrica por meio de matrizes nucleares, visto na Figura 27:

Figura 27 - Questão do TC: (Química e física) Energia nuclear – Livro B

7. Apesar de a quantidade de energia gerada nos processos de fissão nuclear ser uma grande vantagem no uso dessa fonte energética, também existem desvantagens em sua utilização. Entre elas está o lixo radioativo produzido durante o processo de obtenção de energia, além do risco de exposição da população a radiações de alto poder de penetração em caso de acidentes.

Outras fontes energéticas também apresentam vantagens e desvantagens. Para saber mais sobre o assunto, faça uma pesquisa e elabore um quadro mostrando as vantagens e desvantagens do uso das fontes energéticas citadas nesta atividade.

Fonte: Livro B (2016, p. 268)

A questão diz respeito à atividade relacionada ao TC ‘Energia nuclear’ indicado pela seção ‘Química e Física’, que busca, a partir de pesquisa e da construção de um quadro mostrando vantagens e desvantagens relacionadas à adoção de determinada fonte energética, aproximar o estudante das discussões acerca desse tema e, assim, estimular sua compreensão para o desenvolvimento de uma visão articulada do ser humano em seu meio natural, como agente construtor e transformador (BRASIL, 1999) contribuindo para a busca de um desenvolvimento sustentável (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Se esse critério busca desenvolver os deveres do ser humano nas suas inter-relações e com o meio ambiente, podemos considerar que as duas passagens se preocuparam em aproximar esse compromisso cidadão com a realidade dos estudantes, na medida que ambas retratam usos da Radioatividade em um cenário brasileiro.

Por fim, o Livro C utiliza um TC, recorte de uma notícia publicada no jornal Estadão sobre o livro ‘Hiroshima’ de John Hersey (Figura 28), e pede para que o estudante discorra sobre uma frase de Albert Einstein sobre o aspecto de responsabilidade que adotamos.

Figura 28 – Atividade sobre responsabilidade humana – Livro C

4. O fragmento abaixo faz parte de um livro-reportagem escrito pelo jornalista americano John Hersey em 1946. O livro *Hiroshima* é composto basicamente de entrevistas com seis sobreviventes da bomba atômica, que relatam suas lembranças do acontecimento.

O jovem cirurgião trabalhava sem método, tratando primeiro dos que estavam mais próximos, e logo constatou que o corredor se apinhava cada vez mais. Em meio às escoriações e aos cortes apresentados pela maioria das vítimas que se encontravam no hospital, começou a deparar-se com queimaduras pavorosas. Compreendeu então que feridos de fora chegavam sem parar. E eram tantos que ele resolveu deixar de lado os casos de menor gravidade [...]. Em pouco tempo, havia pacientes deitados e agachados nas enfermarias, nos laboratórios, nos quartos e demais dependências, nos corredores, nas escadas, no saguão, no pórtico, nos degraus do pórtico, na entrada de veículos, no pátio, nas ruas vizinhas. [...] Um número enorme de estudantes procurara o hospital. Numa cidade de 245 mil habitantes, cerca de 100 mil haviam morrido ou iriam morrer em breve; outros 100 mil estavam feridos. Pelo menos 10 mil feridos se arrastaram até o melhor hospital de Hiroshima, que não tinha condições de abrigá-los, pois contava apenas 600 leitos e já estavam ocupados. A multidão que se aglomerava no interior do hospital chorava.

AGÊNCIA Estado, 9 set. 2002. Disponível em: <<http://cultura.estadao.com.br/noticias/geral,leia-trecho-de-hiroshima-de-john-hersey,20020909p2550>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

- c) Escreva um parágrafo relacionando o texto acima com esta frase do físico alemão Albert Einstein (1879-1955):

“o acidente de adquirir autoridade por meio do estudo do reino natural deu-me uma terrível e fascinante responsabilidade sobre o reino social”.

Fonte: Livro C (2016, p. 40)

Esse exercício, possibilita os estudantes pensar sobre os impactos do uso de tecnologias que dominam a Radioatividade, ao mesmo tempo que desenvolve a compreensão do estudante enquanto sujeitos responsáveis na sociedade e na natureza. Corroborando com nossa fala, Santos e colaboradores (2019) ainda destacam que os educadores, norteados pela abordagem CTS, devem propiciar a interpretação de questões socioambientais problematizadoras que elucidem “as necessidades e desejos na nossa sociedade de consumo, a insustentabilidade de um modelo de ‘desenvolvimento’ que gera uma legião de excluídos, e os conflitos e confrontos que envolvam poderosos interesses em jogos econômicos” (p. 118), para uma formação crítico cidadã.

5.2.2 Influências Mútuas CTS

Em relação as influências mútuas CTS, foi identificado quatro TC no Livro A, três no Livro B, cinco no Livro C e um no Livro D, totalizando treze⁸ dentre os trinte e dois disponíveis ao longo da temática Radioatividade nos cinco livros analisados.

⁸ Ver os textos complementares: III, V, VI, VII, X, XI, XV, XVII, XVIII, XXI, XXV, XXVI e XXX indicados no Apêndice A.

Segundo Santos (2001), os materiais didáticos CTS, incluímos neste caso os TC analisados, obedecem a esse critério por demonstrar relações de interdependência entre a Tecnologia, Ciência e Sociedade. Corroborando com Firme (2007) na exposição destas relações, enfatiza-se a ciência e a tecnologia como campos distintos que se influenciam entre si na construção dos conhecimentos, promovendo modificações na forma de vida da sociedade como também sofrem influências desta, o que pode ser notado nos trechos de TC dos Livros A, B, C e D.

Observamos que para todas as obras, as inter-relações entre CTS são apresentadas por aplicações tecnológicas da Radioatividade nos textos complementares. O Livro A, por exemplo, apresenta o TC ‘Gerador de tecnécio’, da seção ‘De ondem vem... para onde vai?’, visto na Figura (29), a seguir:

Figura 29 – TC: (De onde vem... para onde vai?) Gerador de tecnécio - Livro A

De onde vem...
para onde vai?

Gerador de tecnécio

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) atualmente fabrica e exporta para vários países o gerador de tecnécio, utilizado no diagnóstico de diversas doenças, principalmente as relacionadas ao músculo cardíaco.

O tecnécio foi descoberto em 1937 pelo físico italiano Emilio Gino Segrè (1905-1989) ao bombardear o molibdênio metálico com dêuterons acelerados.

$${}_{42}^{98}\text{Mo} + {}_1^2\text{D} \longrightarrow {}_{43}^{97}\text{Tc} + {}_0^1\text{n}$$

O isótopo do tecnécio utilizado em diagnósticos, porém, é obtido pelo decaimento do molibdênio-99, por emissão de partícula beta.

$${}_{42}^{99}\text{Mo} \longrightarrow {}_{43}^{99\text{m}}\text{Tc} + {}_{-1}^0\beta$$

O molibdênio-99, por sua vez, é produzido na fissão (quebra do núcleo) do urânio-235.

O tecnécio-99 é utilizado porque apresenta a propriedade de permanecer por algum tempo num estado denominado metastável, simbolizado pela letra **m**: ${}_{43}^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Um núcleo metastável é aquele que permanece num estado excitado por período de tempo de pelo menos um nanossegundo, 10^{-9} s.

Trata-se de um fenômeno semelhante ao que ocorre na eletrosfera quando os elétrons são excitados e emitem ondas eletromagnéticas para voltar a um estado de menor energia. O núcleo do tecnécio-99, para passar de um estado excitado (e instável) para outro menos energético, emite ondas eletromagnéticas com comprimento de onda da

ordem de 10^{-12} m, ou seja, radiação gama.

$${}_{43}^{99\text{m}}\text{Tc} \longrightarrow {}_{43}^{99}\text{Tc} + {}_0^0\gamma$$

O diagnóstico médico é feito justamente a partir das radiações gama emitidas por esse isótopo, detectadas em um equipamento especial – contador de cintilação –, que proporciona a imagem do órgão afetado. A vantagem de se usar o tecnécio-99 em diagnósticos é que ele apresenta uma meia-vida considerada bastante curta (6,02 horas); assim, a emissão de radiação gama ocorre por um pequeno espaço de tempo, sem que haja danos significativos à saúde do paciente.

O gerador de tecnécio é feito sob encomenda, e o tempo em que ele começa a ser montado, o tempo em que será transportado de avião (no caso de ser fornecido a outro estado ou país), até o momento em que está marcado o exame precisam ser calculados para que tudo se desenvolva satisfatoriamente.

Para analisar as condições do coração, o médico injeta íon estanho II, $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$, na veia do paciente e alguns minutos depois administra uma injeção do íon pertecnetato disperso em solução fisiológica. Na presença do íon $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$, o íon ${}_{43}^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ liga-se às hemácias do sangue. Como a função do coração é bombear o sangue pelo organismo, ele se torna visível num equipamento sensível aos raios gama (aparelho de cintilografia). As imagens permitem avaliar a extensão do dano provocado, por exemplo, por um ataque cardíaco.




Figura 29/1/2017

Gerador de tecnécio fabricado pelo Ipen.

Fonte: Livro A (2017, p. 276)

Neste texto, observamos que os aspectos Ciência, Tecnologia, Sociedade são sistematizados a partir da produção do tecnécio pelo bombardeamento do molibdênio

metálico com dêuterons acelerados ou pelo decaimento do molibdênio-99 (C), detecção das radiações desse elemento por contadores de cintilação gerando a impressão do exame de imagem (T), sendo utilizado na área da medicina para analisar as condições de órgãos, como o coração ou na detecção de tumores (S).

Ainda que identificados a Ciência, Tecnologia e a Sociedade no texto, para a mobilização desses aspectos, orientado pela abordagem CTS, se faz necessário explicitar o caráter provisório e incerto das teorias científicas, que a tecnologia seja entendida como aplicação de diferentes formas de conhecimento para atender as demandas sociais e o poder da sociedade nos debates e decisões sobre projetos de natureza científica e tecnológica (SOLOMON, 1988).

De modo similar, os Livros B e D citam a utilização da técnica de datação por carbono-14, como mostrado na Figura 30:

Figura 30 – TC: A química do tempo: carbono-14 – Livro D

A química do tempo: carbono-14

A técnica de datação através do carbono-14

Em certos casos, a idade de um dado material pode ser determinada com base na taxa de decaimento de um isótopo radioativo. O melhor exemplo da aplicação desse tipo de fenômeno é a datação de materiais através da medida do decaimento do carbono-14. A técnica do radiocarbono é hoje largamente utilizada em arqueologia e antropologia, para a determinação da idade aproximada dos mais diversos artefatos.

A técnica de datação através da medida do decaimento radioativo do carbono-14 foi desenvolvida por Willard Frank Libby (1908-1980), em 1946, o que lhe valeu o Prêmio Nobel de Química de 1960.

A maior parte do carbono presente na Terra é composta de uma mistura de dois isótopos estáveis: 98,9% de carbono-12 e 1,1% de carbono-13. Contudo, amostras naturais de carbono sempre contêm traços de um terceiro isótopo, o carbono-14, radioativo, o qual emite radiação β^- e possui um tempo de meia-vida de 5.730 anos. O carbono-14 está presente na Terra numa proporção de um para cada 10^{12} átomos, sendo que 1 g de carbono apresenta aproximadamente 14 dpm (desintegrações por minuto), uma quantidade ínfima de radiação, que, contudo, pode ser facilmente detectada utilizando-se técnicas modernas.

Libby desenvolveu a técnica de datação através do carbono-14 utilizando contadores Geiger muito sensíveis, que ele mesmo desenvolveu, nos quais media-se a radiação β^- emitida pela amostra, requerendo-se quantidades relativamente grandes da mesma. Contudo, na versão moderna da técnica, utiliza-se um espectrômetro de massas como equipamento, no qual os átomos de carbono são convertidos em íons C^- , mediante bombardeio da amostra com átomos de césio. Os números de átomos de carbono com as diversas massas são assim determinados, obtendo-se a relação $\frac{^{14}C}{^{12}C}$, que diminui com o tempo. Utilizando-se o espectrômetro de massas, necessita-se de poucos miligramas de amostra para efetuar-se uma análise. [...]

Fonte: Livro D (2016, p. 171)

Nesse texto observamos que as influências mútuas CTS se apresentam com os conhecimentos mobilizados na medição dos valores de C14 e o conceito de meia-vida de radioisótopos (C), como produto da técnica de datação pelo radioisótopo do C14 (T) que promove o estudo de vestígios de matéria orgânica que estruturam a história da humanidade (S). Nesse sentido, por mais que a dimensão da ciência apresente sua natureza enquanto investigação científica e a tecnologia enquanto estudo da técnica, o contexto de aplicação na sociedade sinaliza os aspectos históricos da ciência e essencialmente prático da tecnologia

relacionados as mudanças no mundo (FIRME, 2012). Do mesmo modo, o Livro C traz o seguinte texto (Figura 31):

Figura 31 – TC: Química e tecnologia - Detector de fumaça - Livro C

Conexões

Química e tecnologia - Detector de fumaça

Detectores de fumaça são muito utilizados para prevenir incêndios e outros acidentes graves provocados pelo aumento da temperatura. Esse dispositivo também "denuncia" fumantes que burlam os regulamentos que proíbem o fumo em determinados lugares.

Como funciona um detector de fumaça?

Um dispositivo bastante usado baseia-se na desintegração de um isótopo radioativo – o amerício-241. Esse isótopo tem meia-vida de 432 anos e decai por emissão de partículas α , conforme a equação:

$${}_{85}^{241}\text{Am} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{83}^{237}\text{Np}$$

Observe na representação do detector de fumaça que entre as placas de detecção há uma fonte radioativa (amerício-241). Como as partículas α têm grande poder de ionização, basta que ocorra uma pequena emissão dessas partículas para que o gás entre as placas de detecção tenha seus elétrons removidos e se ionizem. Essa ionização permite que o circuito elétrico se feche e por ele circule uma corrente elétrica de baixa intensidade. Se houver fumaça nesse local, os íons se unirão às partículas de fumaça, reduzindo a intensidade de corrente elétrica, e o alarme será acionado.



Detector de fumaça doméstico. Um alarme sonoro é disparado em caso de presença de fumaça no ambiente.

Fonte: Livro C (2016, p. 22)

O texto ‘Química e tecnologia - Detector de fumaça’, da seção ‘Conexões’, apresenta que a função desse equipamento é prevenir incêndios e ‘denunciar’ fumantes que burlam espaços que proíbem seu uso (S), e a partir disso representa o papel do radioisótopo amerício-241 e justifica seu uso nesse equipamento, pelo seu tempo de meia-vida e tipo de emissão (C), e elucidam o papel que a fumaça têm no funcionamento desse equipamento (T). Ainda que as relações estabelecidas pelo texto não contemplem diretamente temas transversais como a política, meio ambiente e a ética, os diferentes elementos apresentados podem contribuir para a construção de uma sequência didática que amplie a discussão que supera o ensino da Química estritamente ligado ao desenvolvimento dos conceitos científicos (SANTOS; MORTIMER, 2002).

A apresentação dessas aplicações tecnológicas da Radioatividade nos textos complementares foca o ensino no conteúdo CTS e o conteúdo de ciências enriquece a aprendizagem (AIKENHEAD, 1994), ainda que, por vezes, seja priorizado algum aspecto CTS em detrimento do outro. As diferentes abordagens dos textos propiciam a contextualização do conteúdo químico com o cotidiano do estudante, o ajudando a desenvolver adaptabilidade e flexibilidade ao utilizar desses conhecimentos em situações não-


familiares ou na resolução de problemas complexos da vida real (SANTOS; SCHNETZLER, 2015).

5.2.3 Relações com as Questões Sociais

Os textos que trazem relações com as questões sociais totalizam treze⁹ dos trinta e dois sugeridos pelos cinco livros analisados. O Livro A sugere três TC, o Livro B quatro e o Livro C contém seis. Alguns momentos que podemos identificar a utilização de questões sociais, podem ser observados nos seguintes fragmentos:

Figura 32 – TC: Retomando a notícia (a reportagem da página 261) - Livro A

RETOMANDO A NOTÍCIA



A reportagem da página 261 fala sobre a falta de segurança de usinas nucleares e sobre o destino incerto do lixo atômico. Você sabe quais as consequências de um acidente nuclear como os de Chernobyl e Fukushima?

O acidente nuclear de Chernobyl ocorreu em 26 de abril de 1986, no reator 4, durante um teste de rotina. Várias regras de segurança foram desrespeitadas e a reação em cadeia atingiu níveis incontroláveis. O sistema de circulação de água do sistema primário, responsável pelo resfriamento do núcleo do reator, foi interrompido, gerando um superaquecimento do reator, que criou uma verdadeira bola de fogo dentro do edifício da planta, resultando em uma explosão que destruiu sua cobertura (explosão térmica e não nuclear), matando 31 pessoas e provocando a evacuação de mais de 130 000 habitantes da região. Depois do acidente surgiram vários casos de câncer, principalmente na glândula tireoide de crianças. Chernobyl liberou para a atmosfera 400 vezes mais material radioativo do que a bomba atômica de Hiroshima.

Os quase 50 mil moradores da cidade de Pripjat, vizinha à usina, na Ucrânia, tiveram que deixar suas casas. O local permanece inabitável.

O acidente de Fukushima ocorreu em 11 de março de 2011, quando o Japão foi atingido por um terremoto de magnitude 9,0 na escala Richter, seguido de um tsunami com ondas acima de 10 metros.

Os reatores de Fukushima são do tipo BWR (Boiling Water Reactor, ou reatores de água pressurizada).

Nos reatores BWR a água é o líquido refrigerador e também moderador, mas não está sob pressão, e ferve no reator. O vapor obtido passa diretamente da parte superior do reator para os turbogeradores.

O terremoto destruiu o acesso da usina às fontes externas de energia elétrica que mantinham o

sistema de refrigeração dos reatores em funcionamento. Imediatamente os geradores de emergência (que ficavam no subsolo, protegidos de desabamentos) foram acionados, e o controle foi retomado. Uma hora depois chegou o tsunami. A água invadiu a usina e danificou os geradores, desligando o sistema de refrigeração. A usina ainda contava com baterias de backup com 8 horas de duração, mas esse tempo não foi suficiente para o conserto dos geradores e, assim que a energia das baterias acabou, a temperatura dentro dos reatores começou a subir.

A 1200 °C ocorreu a reação do zircônio (que reveste as barras de combustível nuclear) com a água. Essa reação produziu gás hidrogênio.

$$\text{Zr (s)} + 2 \text{H}_2\text{O (v)} \rightarrow \text{ZrO}_2 \text{ (s)} + 2 \text{H}_2 \text{ (g)}$$

O H₂(g) provocou a explosão do prédio da usina.

Os técnicos continuaram tentando resfriar o reator bombeando água do mar com ácido bórico (que tem a propriedade de capturar nêutrons, moderando a reação de fissão), mas a situação ficou fora de controle. A temperatura no interior do reator ultrapassou a marca de 2 800 °C, suficiente para fundir os cilindros de óxido de urânio (combustível nuclear). Essa temperatura fundiu as paredes de aço que protegiam o reator e deixou que uma quantidade imensa de elementos radioativos e seus produtos de decaimento vazassem para o ambiente.

Fonte: Livro A (2017, p. 281)

⁹ Ver os textos complementares I, VI, VII, VIII, XIII, XV, XVI, XVII, XXII, XIII, XXV, XXVI e XXVIII indicados no Apêndice A.

O Livro A, retomando a notícia que introduziu o capítulo sobre o destino do lixo nuclear e a falta de segurança de usinas nucleares, agora discorre sobre as consequências dos acidentes em Fukushima e Chernobyl. De maneira similar, o Livro D, na seção ‘Saiba mais’, apresenta o TC ‘O acidente de Fukushima’ (p. 257) para o conteúdo sobre o funcionamento do reator nuclear.

Para os dois casos, podemos ver que a relação dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos com a sociedade é retratado por meio do impacto que ambos os eventos tiveram com as pessoas e com a natureza. Considerando os objetivos da abordagem CTS, Santos e Schnetzler (2015) aponta que a utilização de temas que carregam contradições sociais é importante no ensino de Química, pois exige dos estudantes posicionamento crítico, nesse caso, quanto às consequências ambientais sobre o uso de tecnologias relativas à Radioatividade.

Para Santos e Mortimer (2002) as discussões das questões sociais englobariam aspectos políticos, econômicos, históricos, filosóficos dentre outros que possibilitam ao estudante uma compreensão melhor dos mecanismos de poder dentro de instâncias sociais. Desse modo, um dos contextos sociais escolhidos pelo Livro C, foi sobre o papel da mulher na ciência, visto no fragmento a seguir:

Marie Curie nasceu na Varsóvia, na Polônia, na época dominada pela Rússia e pela Alemanha e dividida entre esses dois países. [...] Naquele tempo não se conheciam os efeitos do manuseio de materiais radioativos sobre a saúde, e uma leucemia provavelmente causada pela radiação levou Marie Curie à morte, em 1934 – seus cadernos permanecem radioativos até hoje.

Irène Joliot-Curie, filha de Marie e Pierre Curie, recebeu o Nobel de Química em 1935 pela descoberta da radiação artificial. Ela e o marido, também cientista, tiveram papel importante não apenas na ciência, mas político: durante a Segunda Guerra Mundial, atuaram na resistência francesa contra a ocupação nazista e na proteção de cientistas. Além disso, temendo que conhecimentos sobre a fissão nuclear tivesse uso militar, durante a guerra deixaram de fazer publicações sobre o assunto e guardaram todos os dados sobre fissão nuclear nos cofres da Academia Francesa de Ciência, de onde só foram retirados em 1949. Como acontecera com sua mãe, o trabalho com o polônio custou a saúde de Irène, e ela morreu de leucemia em 1956. (LIVRO C, Tópico ‘Mulheres na Ciência’, p. 28)

Nessa breve apresentação sobre alguns feitos de Marie Curie e sua filha Irène Joliot-Curie, os autores fortalecem o papel da mulher na construção e desenvolvimento do conhecimento científico, espaço predominantemente dominado por homens (SILVA; RIBEIRO, 2014). Além disso, balizado pelos objetivos da abordagem CTS e considerando o contexto histórico apresentado, o professor será capaz de mobilizar os aspectos políticos e os

interesses econômicos e científicos da época, evidenciando o poder de influência dessas questões no desenvolvimento científico e tecnológico (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Em conclusão, uma das possibilidades de se trabalhar com a abordagem CTS, no ensino de Química, é a mobilização de conteúdos científicos por meio de temáticas que envolvem questões sociais. Nos LDQ analisados, observamos várias abordagens como acidentes em usinas nucleares e o papel da mulher na ciência, como citado anteriormente, mas também dispõem de textos que discutem sobre lixo nuclear, geoprocessamento, radioquímica, descoberta da Radioatividade etc. Esse material, ao ser trabalhado evidenciando as relações dos desenvolvimentos tecnológicos e científicos com a sociedade, leva os estudantes a compreenderem a relação da Química com outras áreas do conhecimento, promovendo uma formação cidadã que saiba fazer o julgamento crítico e político das situações reais (SANTOS; SCHNETZLER, 2015).

5.2.4 Balanço de Pontos de Vista

Diferentes olhares sobre uma mesma questão possuem papel central na abordagem CTS. ¹⁰Seis TC com essas características ao longo dos cinco livros analisados, sendo um TC indicado no Livro A, dois no Livro B e três no Livro C. Uma amostra do balanço de pontos de vista sobre as medidas de segurança em Chernobyl, pode ser visto pelo Livro A, a seguir:

O acidente de Chernobyl, por exemplo, só ocorreu porque as normas de segurança foram sendo desrespeitadas uma a uma sequencialmente, até que o fenômeno fugiu do controle. Na realidade, a falha de segurança de Chernobyl começou no projeto da usina: não havia envoltório de contenção de radioatividade como há em todas as usinas do Ocidente, inclusive nas do Brasil.

E se houvesse, teria feito alguma diferença?

Sim, provavelmente o vazamento de radioatividade teria ficado restrito à área da usina, como ocorreu no acidente na usina nuclear *Three-Mile Island*, na Pensilvânia, Estados Unidos, em 1979 (sete anos antes de Chernobyl) (Compreendendo o mundo, Livro A, p. 285).

O olhar da autora sobre o acidente em Chernobyl diz respeito a um conjunto de medidas de segurança que não foram seguidas e cumpridas satisfatoriamente, desde o planejamento do projeto. De modo complementar, no decorrer do texto, a autora expõe sua opinião acerca do uso das tecnologias que utilizam da Radioatividade, quando enfatiza que “é

¹⁰ Ver os textos complementares VII, XV, XVI, XXIII, XXVI e XXIX indicados no Apêndice A.

preciso conscientização, informação, vigilância, educação e preparo para prever os problemas, não deixar que aconteçam, e para agir corretamente se acontecerem, de modo que se consiga reduzir os danos” (LIVRO A, p. 285). Assim, o balanço entre as vantagens e desvantagens do uso dessas tecnologias se faz necessária, considerando a abordagem CTS, visto que dentre um dos objetivos do ensino de Química para formar o cidadão inclui “avaliar as implicações sociais decorrentes das aplicações tecnológicas da Química” (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 104).

Um outro texto que representa o balanço de pontos de vista, é o TC ‘A radioquímica e a idade da Terra’ (p. 264) apresentado pelo Livro B:

Qual a idade da Terra? [...] Para os teólogos, a criação do mundo, em coerência com a Bíblia, ocorrera há cerca de 6000 anos. [...] O distanciamento desses dogmas religiosos começaria apenas com a Revolução Científica, iniciada no século XVI. [...] Avanços nos estudos de fósseis, entre fins do século XVIII e início do século XIX, levaram vários cientistas a concluir que a idade da Terra deveria ser de uma ordem muito maior do que a de milhares de anos. [...] A ideia de Rutherford de utilizar átomos radioativos como marcadores de relógios naturais foi capaz de responder aos grandes questionamentos de físicos, geólogos e biólogos acerca da magnitude do tempo (LIVRO B, Tópico ‘A radioquímica e a idade da Terra’, p. 264).

Os diferentes pontos de vista apontados pelo texto dizem respeito as especulações sobre a idade da Terra, por um lado os teólogos, que possuíam grande influência na época, estimavam 6000 anos, por outro, com o desenvolvimento dos conhecimentos científicos acerca da Radioatividade, constatou-se que esse valor seria muito maior. Além de curiosa, a temática desse TC, a abordagem histórica adotada pode propiciar aos estudantes “reflexões a respeito de como os cientistas trabalham, suas motivações, suas interações com a comunidade científica e com a sociedade em geral” (PORTO, 2019, p. 150), além de contribuir para visões adequadas sobre o trabalho científico (SANTOS; SCHNETZLER, 2015; SOLOMON, 1988).

As diferentes ideias que cercam a irradiação de alimentos são apresentas no texto ‘O que é irradiação de alimentos?’ (p. 36-37) pelo Livro C. Inicialmente, os autores afirmam que “A irradiação é um dos processos utilizados pela indústria de alimentos para aumentar a vida útil e o tempo de prateleira dos produtos” (LIVRO C, p. 36) e ilustram seu funcionamento técnico, seguido de algumas considerações acerca dos valores nutricionais e da aceitação da sociedade quanto a esses produtos, visto na Figura 33:

Figura 33 – TC: O que é irradiação de alimentos? - Livro C

[...]

O Brasil faz pesquisas sobre alimentos irradiados desde 1975. Gradativamente, o leque de alimentos que poderiam ser irradiados foi aumentando. Entre os mais comumente irradiados estão a carne de vaca, porco e aves, nozes, batata, trigo, farinha de trigo, frutas, verduras e variados tipos de chás, ervas e condimentos. No Brasil irradiam-se principalmente cebolas, batatas, peixes, trigo e farinhas, papaia, morango, arroz e carne de porco.

[...]

Como nos demais métodos de conservação de alimentos (pasteurização e congelamento, por exemplo), a irradiação ocasiona perdas de macro e micronutrientes, bem como variações na cor, sabor, textura e odor. Muitas vitaminas são praticamente extintas do alimento: até 90% da vitamina A na carne de frango, 86% da vitamina B em aveia e 70% da vitamina C em suco de frutas. À medida que o tempo de estocagem aumenta, outros nutrientes são perdidos: proteínas são desnaturadas e as vitaminas A, B12, C, E e K, sofrem alterações semelhantes às do processo térmico (pasteurização).

No entanto, o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) defende que, apesar da perda nutricional, as alterações químicas não são nocivas ou perigosas. Em entrevista ao site da Unicamp, um físico do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) da Universidade atribui o receio que a população tem de consumir esses alimentos à constituição de um "imaginário negativo" ligado à questão nuclear. A não aceitação por parte das pessoas decorre, entre outros fatores, da relação que se faz entre irradiação e radioatividade. Segundo ele, a contaminação radioativa pressupõe o contato físico com uma fonte radioativa, enquanto a irradiação é a energia emitida de uma fonte de radiação. Dessa forma, os alimentos irradiados não se tornam radioativos, pois não contêm a fonte de radiação (apenas recebem a energia).

[...]



Comparação entre alimentos não irradiados (acima) e irradiados (abaixo).

CINTRA, Lúcia. O que é irradiação de alimentos? Superintendente, 13 dez. 2013. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/blog/skias-verdes/o-que-e-irradicao-de-alimentos/>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

Fonte: LIVRO C (2016, p. 37)

O principal conflito de ideias que o TC apresenta é, em parte, a técnica de irradiação de alimentos, que surge como uma opção para aumentar o tempo de prateleira de alguns alimentos (por matar fungos, bactérias patogênicas, insetos, leveduras, além de retardar o envelhecimento e o brotamento). Por outro, a variação de algumas propriedades organolépticas, juntamente da perda de alguns nutrientes e a aceitação do produto pelas pessoas pelo ‘imaginário negativo’ sobre essa técnica, ainda que para a irradiação de alimentos no Brasil exista regulamentação desde 1973, pela ANVISA, que inclui, entre outras coisas, a indicação de produto tratado por radiação ionizante. Esses pontos trazidos no texto, balizado pela abordagem CTS, propicia o desenvolvimento da capacidade discriminatória para a escolha de alimentos, por exemplo.

Nesse sentido, os textos complementares que apresentam o balanço de pontos de vista, cumprindo os objetivos de uma abordagem CTS, é relevante à medida que resgatam diferentes entendimentos sobre uma mesma questão, sem necessariamente se esforçar por esconder a perspectiva do autor (SANTOS, 2001). Essas várias concepções sobre uma mesma temática vão de encontro a ideia hegemônica de ciência, isto é, reforça sua não neutralidade e afasta a crença do progresso humano como resultado fundamentalmente do progresso científico (SANTOS; MORTIMER, 2002; SOLOMON, 1998).

5.2.5 Tomada de Decisões e Resolução de Problemas

Para Santos (2001) os materiais que empenham os alunos na procura de soluções para problemas e para competências de tomada de decisão correspondem aos princípios de uma abordagem CTS. Contudo, entre os cinco livros analisados, encontramos seis¹¹ TC que propõem atividades que podem promover o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão, sendo uma proposta pelo Livro B e cinco pelo livro C. A menção desse critério pelo Livro B pode ser vista na atividade proposta pelo TC ‘Energia nuclear’:

Figura 34 – TC: Energia nuclear – Livro B

Energia nuclear

O Brasil obtém energia de diversas fontes. A matriz energética representa a quantidade de energia disponível para uso industrial, doméstico, agrícola, etc.

O quadro abaixo apresenta as principais fontes de energia no Brasil em 2015. Observe que as fontes renováveis, isto é, que podem ser repostas, não se esgotam com o passar do tempo e contribuem com 39,4% da energia do país. A média mundial de uso de fonte renovável é 13%.

A energia nuclear corresponde à menor parte da oferta energética brasileira (1,3%). Entretanto, essa fonte oferece grande quantidade de energia quando comparada às demais. Para entender essa diferença, veja a tabela ao lado, que compara diversas fontes de energia quanto ao seu poder calorífico (isto é, a quantidade de energia liberada na transformação).

Observe que a energia obtida pela combustão de gás natural, gasolina, carvão (hulha), carvão vegetal e etanol é menor do que a obtida pela fissão do urânio.

Material	Tipo de transformação	Poder calorífico (kJ/g)
urânio	fissão	$8,25 \times 10^7$
gás natural	combustão	54
gasolina	combustão	47
carvão mineral (hulha)	combustão	32
carvão vegetal	combustão	31
etanol	combustão	30

Fontes de pesquisa: USP. Disponível em: <http://www.usp.br/qambiental/combustao_energia.html>; Conselho Regional de Química – IV Região. Disponível em: <http://crq4.org.br/default.php?p=texto.php&tc=quimicaviva_energianuclear>. Acessos em: 23 mar. 2016.

5. Em sua opinião, por que a energia nuclear não é muito explorada no Brasil?

Fonte: Livro B (2016, p. 267-268)

Esses recortes do TC ‘Energia nuclear’ trazem como aparato as fontes energéticas renováveis (biomassa, hidráulica e eletricidade, lenha e carvão vegetal, eólica e outras fontes renováveis) e não renováveis (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral, urânio e outras fontes não renováveis) no Brasil. Além disso, o texto enfatiza a energia nuclear como a que corresponde à menor parcela da nossa oferta energética, porém, destaca o poder calorífico dessa fonte em relação a outras. Após a apresentação desse aparato, o estudante é levado a questão citada. Para respondê-la, o aluno deverá utilizar das discussões sociais relevantes e utilizar das suas concepções éticas, ambientais, políticas etc; para assumir um posicionamento crítico quanto a sua solução, representando sua capacidade de tomada de decisão para participar da sociedade (SANTOS; SCHNETZLER, 2015).

¹¹ Ver os textos complementares XVI, XVII, XXII, XXIII, XXV e XXVI indicados no Apêndice A.

O Livro C assume outra organização ao propor suas atividades que levem o aluno a uma tomada de decisão na resolução de problemas. Na introdução do capítulo, é exemplificado algumas aplicações da Radioatividade na medicina e apresentado o TC ‘O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX, recorte do artigo publicado na QNEsc. Em seguida, pergunta-se ao aluno:

1) Há diferenças entre um material radioativo e um material que foi irradiado? Justifique. (LIVRO C, Tópico ‘Para situá-lo’, p. 13).

Nesse caso, a pergunta apresenta duas funções principais: i) ajudar o professor a buscar os conhecimentos prévios dos estudantes, ii) propiciar os alunos a refletirem sobre o fenômeno da Radioatividade e a técnica de irradiação de alimentos. Os conteúdos referentes ao estudo da Radioatividade, suas aplicações e implicações ambientais são trabalhados ao longo do capítulo que retoma a discussão da irradiação de alimentos, considerando suas vantagens, desvantagens, processo técnico do equipamento e considerações acerca desses produtos pelos consumidores brasileiros.

Dessa forma, a presença de problemas da vida real que estimule a tomada de decisão é fundamental na abordagem CTS para a formação para o exercício da cidadania, "na proporção em que o cidadão deve buscar soluções genuínas para sua problemática e que as soluções dos problemas da vida real não possuem respostas prontas e acabadas" (SANTOS; SCHNETZLER, 2015, p. 120). Assim, esses mesmos autores elencam algumas das características para a solução desse tipo de situação, as quais incluem: definição imperfeita do problema, alternativas múltiplas, multidisciplinar, custos/benefícios, julgamento posterior, conhecimento construído e descoberta.

5.2.6 Ação Responsável

A ação responsável é vista quando o material encoraja os alunos para que se envolvam em ações sociais ou pessoais, depois de ponderarem as consequências de valores e efeitos projetados por vários cenários e opções alternativas (SANTOS, 2001). Uma leitura possível de ser realizada sobre a ação responsável se dá como um produto de estratégias que promovam o balanço de pontos de vista, tomada de decisões e resolução de problemas.

A ação responsável ainda se aproxima das características da tradição americana do movimento CTS que possui um caráter prático, marcada por diversas reivindicações sociais

preocupadas pelas consequências sociais e ambientais dos produtos tecnológicos (BAZZO, 1998).

Esse critério foi identificado em quatro¹² dos trinta e dois textos complementares, ao longo dos cinco livros analisados. Dessa vez, um TC é sugerido pelo Livro A, enquanto que os demais (3) são propostos pelo Livro C. Como único representante do Livro A, trazemos a figura que acompanha o texto ‘Compreendendo o mundo’ (apresentado outrora na Figura 24, p. 134):

¹² Ver os textos complementares VII, XXIII, XXV e XXVI indicados no Apêndice A.

Figura 24 – TC: ‘Compreendendo o mundo’ - Livro A

Compreendendo o Mundo

O tema desta Unidade foi atividade nuclear. Vimos que as aplicações pacíficas relacionadas a esse fenômeno são muito diversificadas e importantes, e vão da área médica à agricultura, da pesquisa com radioisótopos à síntese de nanopartículas, da indústria de alimentos à construção civil, da indústria farmacêutica à produção de energia elétrica. Tantas aplicações e possibilidades não podem ser ignoradas, como também não podem ser ignorados os riscos inerentes de se trabalhar com a radioatividade.

Vimos que dominar a tecnologia do enriquecimento de urânio e possuir armas nucleares faz um país ser “levado a sério”. Em busca desse objetivo ou de outros menos evidentes, países como a Coreia do Norte e o Irã estão seguindo por esse caminho, mesmo sem o aval da Organização das Nações Unidas (ONU), deixando o mundo apreensivo.

Isso sem contar a possibilidade, ainda que remota, de um ataque terrorista com armas nucleares ou com materiais radioativos retirados de aparelhos destinados a aplicações pacíficas, ou ainda de novos acidentes por falhas nos sistemas de segurança das usinas de energia.

O acidente de Chernobyl, por exemplo, só ocorreu porque as normas de segurança foram sendo desrespeitadas uma a uma sequencialmente, até que o fenômeno fugiu do controle. Na realidade, a falha de segurança de Chernobyl começou no projeto da usina: não havia envoltório de contenção de radioatividade como há em todas as usinas do Ocidente, inclusive nas do Brasil.

E se houvesse, teria feito alguma diferença?

Sim, provavelmente o vazamento de radioatividade teria ficado restrito à área da usina, como ocorreu no acidente na usina nuclear de Three-Mile Island, na Pensilvânia, Estados Unidos, em 1979 (sete anos antes do de Chernobyl).

Por falha no sistema de refrigeração de um dos reatores, o calor gerado nas reações de fissão fez a água pressurizada inundar a área do reator, provocando um enorme vazamento de radioatividade. Mas como essa usina tinha o envoltório de contenção (cúpula) composto de camadas de aço e cimento, para proteção tanto interna como externa, a maior parte da radiação que vazou ficou retida no local. Além disso, como a área do envoltório de contenção é restrita, nenhum operador foi afetado, e ninguém morreu no acidente, embora o núcleo do reator tenha fundido (exatamente como o de Chernobyl) e a usina americana continue até hoje inoperável.

De fato, falhas acontecem, sejam de procedimento humano, sejam de equipamentos. As consequências de falhas, quando se lida com radioatividade, podem ser fatais; então, não podemos nem devemos “ficar tranquilos”.

É preciso conscientização, informação, vigilância, educação e preparo para prever os problemas, não deixar que aconteçam, e para agir corretamente se acontecerem, de modo que se consiga reduzir os danos.

O acidente de Goiânia também só ocorreu por falta de cuidado e de informação. Uma fonte de célio-137 não pode ser abandonada em um prédio vazio, como se fosse uma sucata qualquer.

Vários acidentes semelhantes já ocorreram no mundo todo por causa desse “desleixo” dos responsáveis. A situação pode se agravar na medida em que aumentam as aplicações pacíficas de isótopos radioativos. São mais e mais aparelhos sendo fabricados, aparelhos que se tornam obsoletos muito antes que a atividade do isótopo que ele contém comece a diminuir, ou seja, o volume de sucata radioativa tende a se tornar cada vez maior. Precisamos prever um destino certo para isso ou vamos ter problemas.

O que também colaborou de forma decisiva para o acidente de Goiânia foi a falta de informação das pessoas, desde o sucateiro que levou a bomba do prédio abandonado, o dono do ferro-velho que a violou e de todos que manipularam inocentemente o célio-137.

Se essas pessoas, ou pelo menos alguma delas, tivessem noção do material com o qual estavam lidando, isso não teria acontecido.

Esse episódio fica então como resposta para os alunos que perguntam: – Por que eu tenho que estudar radioatividade? O que isso tem a ver com o meu dia a dia? Onde eu vou usar esse conhecimento? (etc., etc., etc.)

Se Devair tivesse tido a oportunidade de estudar radioatividade, hoje ele estaria vivo.



Manifestação pública contra o uso da energia nuclear. Paris, França, 2014.

Destacamos três momentos nesse texto que podem corresponder aos valores, múltiplos cenários e opções alternativas que levem a uma ação responsável. O primeiro momento indica aplicações benígnas da Radioatividade (medicina, agricultura, pesquisa com radioisótopos para síntese de nanopartículas, indústria de alimentos, farmacêutica, construção civil e produção de energia elétrica) para a sociedade, seguido dos riscos inerentes de se trabalhar com a Radioatividade e os acidentes que marcaram a história da humanidade (sucata radioativa produzida pelo aumento de aplicações pacíficas desse fenômeno e o acidente de Goiânia com o céscio-137, respectivamente) e a importância dos conhecimentos científicos relativos a Radioatividade na educação básica para formação de agentes capazes de avaliar e resolver problemas complexos da vida real. Ao final da leitura, esse TC apresenta a figura da manifestação pública contra o uso da energia nuclear em Paris, França, no ano de 2014.

Entendemos que esse conjunto de informações estimula o efeito da ação responsável em ações sociais e/ou pessoais, por considerar o aspecto da abordagem CTS sobre o efeito da Sociedade sobre a Tecnologia, que é esclarecido por Santos e Schnetzler (2015) pela influência das pressões de órgãos públicos e privados na solução de problemas reais e, conseqüentemente, promovendo mudanças tecnológicas. Essa consideração é reiterada quando Strieder (2012), a partir do olhar de abordagens CTS, enfatiza que a busca por uma cultura de participação para mudanças sociais se dá pelo desenvolvimento de atitudes e valores que promovam uma formação crítica e responsável para o exercício da cidadania.

O representante desse critério pelo Livro C é o Texto Complementar ‘Vírus Zika’ apresentado a seguir (Figura 35):

Figura 35 – TC: Vírus Zika – Livro C

Vírus Zika

Usar a radiação nuclear para eliminar ou reduzir a população do mosquito *Aedes aegypti*, que transmite o vírus Zika, será um dos temas centrais que o diretor-geral da Agência Internacional de Energia Atômica da Organização das Nações Unidas (AIEA), Yukiya Amano, apresentará a vários países em viagem pelas Américas que começa na segunda-feira [25/01/2016].

O vírus Zika está relacionado ao aumento de casos de microcefalia em bebês na América Latina.

“A tecnologia para a esterilização de insetos é muito eficaz na redução ou erradicação da população de mosquitos e outros portadores de doenças”, explicou Amano em entrevista na véspera de partir para o Panamá, primeira escala da visita de duas semanas pela região da América Central e México.

[...]

A esterilização nuclear de insetos já teve êxito contra a mosca tsé-tsé, na África, que transmite a chamada “doença do sono” em humanos e afeta também o gado.

O diretor da agência da ONU lembrou, no entanto, que a entidade ainda trabalha na aplicação desta técnica sobre os mosquitos transmissores de outras doenças, como o Zika, e advertiu que o problema “não será resolvido da noite para o dia”.

Além disso, será necessário combinar a esterilização dos mosquitos com outras técnicas e medidas [...].

EBC Brasil. Agência da ONU para energia atômica oferece tecnologia nuclear contra vírus Zika, 23 jan. 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2016-01/agencia-da-onu-para-energia-atomica-oferece-tecnologia-nuclear-contra>>. Acesso em: 5 fev. 2016.

- O texto menciona a necessidade de combinar a esterilização dos mosquitos com outras técnicas e medidas. Sabendo que a dengue, assim como a chikungunya, são doenças causadas pelo mesmo vetor do vírus Zika, o *Aedes aegypti*, e que o método de prevenção do vírus Zika é o mesmo que o adotado para a dengue, proponha três ações individuais e três ações comunitárias para a prevenção dessas doenças.

Fonte: Livro C (2016, p. 35)

O texto discute sobre possibilidades para reduzir ou eliminar (a curto e longo prazo) a população do mosquito *Aedes aegypti*, que, entre outras doenças, transmite o vírus Zika, pela relação direta desse vírus com casos de microcefalia em bebês na América Latina, a partir da esterilização nuclear desse inseto. A atividade relacionada a essa matéria pede que os alunos proponham três ações individuais e três ações comunitárias para a prevenção dessas doenças.

A discussão desse tema é importante por possibilitar que alunos entendam o poder de influência que eles têm como cidadãos, levando-os a perceber o potencial em atuar em grupos sociais organizados, como centros comunitários, sindicatos e grupos de projetos escolares, por exemplo (SANTOS; MORTIMER, 2002). Pela abordagem apresentada desse tema pelo Livro C, o professor poderia relacionar com outras atividades, norteadas por uma abordagem CTS, como projetos em pequenos grupos cooperativos, realização de trabalhos em campo e a participação de especialistas nas aulas (ACEVEDO DÍAZ, 1996).

5.2.7 Integração de um Ponto de Vista

Por fim, seguindo nossa lógica na proposição de critérios, buscamos os materiais que ajudam os alunos a aventurarem-se para além da matéria do assunto específico, nesse caso na Química, até considerações mais alargadas de Ciência, Tecnologia e Sociedade que incluam

um tratamento de valores e éticas pessoais e sociais. A integração de um ponto de vista, pensada pelas categorias de ensino CTS de Aikenhead (1994) é a que mais aproxima as inter-relações da ciência, tecnologia e sociedade como foco central de ensino.

Ao longo dos cinco LD analisados, identificamos sete¹³ dos trinta e dois textos complementares propostos. Destes, dois estão contidos no Livro A e os outros cinco no Livro C. Como representante desse critério no Livro A, apresentamos o TC ‘Segurança de usinas nucleares é questionada em seminário no Senado’ a seguir:

Figura 36 – TC: Segurança de usinas nucleares é questionada em seminário no Senado – Livro A

FOI NOTÍCIA!

Segurança de usinas nucleares é questionada em seminário no Senado

O engenheiro alemão Dieter Majer [especialista em segurança nuclear] afirmou que o acidente da usina de Fukushima, no Japão, evidencia que a produção de energia nuclear traz riscos inaceitáveis. [...]

'A energia nuclear não tem mais futuro na Alemanha. As 19 usinas do país serão desativadas até 2022', informou. [...]

O engenheiro alemão lembrou que a construção das usinas brasileiras Angra 2 e 3 é baseada em projetos alemães. Segundo Majer, todos os testes mostram que as usinas alemãs que servi-

ram de base para as brasileiras não passariam nos critérios atuais de segurança. [...]

Na visão de Majer, as estruturas teriam de ser refeitas e a usina passar por uma reconstrução completa. Ele acrescentou que Angra 2 também representa um risco de segurança.

'É preciso saber se o público aceita [esse nível de segurança]. As autoridades devem informar a situação à população brasileira', pediu o engenheiro. [...]

TORRES, Ribas Tércio. Disponível em: <www12.senado.leg.br/noticias/materias/2015/10/27/seguranca-de-usinas-nucleares-e-questionada-em-seminario-no-senado>. Acesso em: 2 nov. 2015.

Fonte: Livro A (2017, p. 261)

O texto traz a pauta sobre a segurança das usinas nucleares do Brasil, discutidas no Senado, com as falas de um engenheiro alemão especialista em segurança nuclear sobre os riscos inaceitáveis da produção de energia elétrica por matrizes energéticas e a visão dele sobre a reconstrução da estrutura de Angra II. Por meio desse tema, o livro possibilita que o julgamento crítico que os estudantes façam sobre a falta de segurança nessas localidades, leve-os a uma tomada de decisão, influenciando sua qualidade de vida e reivindicando melhoras aos riscos ambientais (SANTOS; SCHNETZLER, 2015). Além disso, a discussão desse tema ofereceria considerações mais alargadas de CTS, perpassando por aspectos éticos, ambientais, políticos e de interesse econômico (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Para o Livro C, selecionamos uma das atividades que compõe as provocações da introdução do capítulo relativo ao TC ‘O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX’, que questiona:

¹³ Ver os textos complementares I, VII, XVI, XVII, XXII, XXIII, XXVI e XXIX indicados no Apêndice A.

3) O texto menciona que invenções como telefone, cinema, automóvel, avião, rádio, etc. Revolucionavam o modo de ver, pensar e viver o cotidiano. Você concorda com essa afirmação? Você acha que novas invenções continuam mudando o dia a dia das pessoas?

(LIVRO C, Atividade do TC: O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX', p. 12)

Como já dito outrora, o texto representa o fascínio que existia sobre a descoberta da Radioatividade e das radiações no século XIX, representando a revolução científico e tecnológica da época. A segunda pergunta, no contexto da Radioatividade, possibilita que os estudantes construam novas percepções sobre esse fenômeno, ponderando os riscos e possibilidades do domínio dessas tecnologias, que superam a ideia popular do uso exclusivo da Radioatividade em aplicações bélicas ou em acidentes nucleares, mas considerem suas aplicações na medicina, indústria, pesquisa etc.

Nessa linha, para todos os contextos de uso da Radioatividade será possível observar seu caráter controverso e, dentro de uma prática estruturada e com objetivos claros, os professores poderão alargar as discussões acerca dos componentes curriculares, compreendendo a relação desse fenômeno com outras áreas de conhecimento e pelos valores éticos pessoais e sociais como estipulado pelos objetivos educacionais (BRASIL, 2017).

O olhar para além dos conteúdos programáticos, como previsto nesse critério, marca fortemente práticas que incorporam as ciências ao conteúdo CTS (no qual, o conteúdo CTS é o foco de ensino e o conteúdo de ciências é mencionado, mas, não ensinado sistematicamente) ou o próprio conteúdo CTS (ou seja, o estudo de uma questão tecnológica ou social, e o conteúdo científico é utilizado para indicar a vinculação com as ciências) (AIKENHEAD, 1994).

Em resumo, o Quadro 17 a seguir apresenta uma síntese da presença e quantidade de Textos complementares identificados e analisados ao longo das cinco coleções.

Quadro 17 – Relação de livros e quantidade de textos que cumprem com os critérios de materiais CTS

Crítérios	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D	Livro E
1. Responsabilidade	3	1	1	-	-
2. Influências mútuas CTS	4	3	5	1	-
3. Relações com as questões sociais	3	4	6	-	-
4. Balanço de pontos de vista	1	2	3	-	-
5. Tomada de decisões	-	1	5	-	-
6. Ação responsável	1	-	3	-	-
7. Integração de um ponto de vista	2	1	5	-	-

Fonte: Autor (2023)

Como conclusão das análises referentes ao segundo objetivo específico (identificar e analisar os textos complementares, sugeridos nos LDQ, sobre a temática Radioatividade, que se aproximam dos pressupostos da abordagem CTS), entendemos que a inclusão de recursos didáticos complementares nos Livros Didáticos de Química são esforços essenciais para a inserção de novas práticas na realidade da sala de aula das escolas públicas.

Os textos complementares identificados apresentam diferentes abordagens para as vantagens e riscos sobre as aplicações tecnológicas da Radioatividade, bem como podem assumir diferentes aspectos em relação aos objetivos da abordagem CTS. Do total de 32 TC analisados apenas cinco contemplaram o critério 4.2.1 Respeito (5/32), e para os demais temos que: 4.2.2 Influências mútuas CTS (13/32); 4.2.3 Relações com as questões sociais (13/32); 4.2.4 Balanço de pontos de vista (6/32); 4.2.5 Tomada de decisões e resolução de problemas (6/32); 4.2.6 Ação responsável (4/32); 4.2.7 Integração de um ponto de vista (7/32). Esses dados mostram que parte desses textos priorizaram alguns aspectos da abordagem CTS (como as relações com as questões sociais) em detrimento de outras (como ação responsável), que poderiam ter sido sugeridas com maior representatividade.

Pelos dados apresentados no Quadro 17 acima, observamos as diferentes características dos livros quanto à adoção, ou não, dos Textos Complementares ao longo das obras para a temática Radioatividade analisada. As diferentes possibilidades, reflexo das pesquisas de Ensino de Química, bem como os objetivos educacionais dos documentos oficiais da educação e as demandas mercadológicas são alguns dos fatores que influenciam a presença/ausência desse recurso ao longo dos livros didáticos.

Esse ponto é importante, porque na reformulação da coletânea de 'Química e Sociedade' para o 'Química Cidadã' houve uma redução nesses textos. Considerando a abordagem CTS, devemos pensar que não é simplesmente a quantidade e/ou extensão do texto que definem a presença de características dessa abordagem, mas a complexidade dos temas tratados e, portanto, se os critérios presentes na análise são ou não atendidos.

Os textos complementares analisados dialogavam com os conteúdos trabalhados, seja introduzindo curiosidades, contextos de aplicação, figuras históricas, sugestões de leituras e filmes etc. No entanto, poucos são os textos que são acompanhados de atividades correspondentes, e entendemos que sua utilização seja importante ao trabalhar com temas de natureza controversa para provocar um balanço de pontos de vista, por exemplo, além de favorecer outras estratégias didáticas como debates, resolução de problemas reais e projetos em grupos colaborativos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve a seguinte questão norteadora: **Como a abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), no contexto da temática Radioatividade vem sendo desenvolvida nos Livros Didáticos de Química (LDQ), aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2018 para o período de 2018 a 2022?** Para respondê-la buscamos analisar a temática Radioatividade nos LDQ aprovados pelo PNLD 2018, considerando alguns pressupostos da abordagem CTS e os contextos de aplicação do tema, especificamente: i) analisar os contextos de aplicação da Radioatividade sob a ótica da abordagem CTS, por meio dos critérios adaptados de García-Carmona e Criado (2008); e, ii) identificar e analisar os textos complementares sugeridos nos LDQ, para a mesma temática, utilizando dos critérios que devem atender a estruturação de materiais didáticos CTS, segundo Santos (2001).

Antes de prosseguir, entendemos que se faz necessário elucidar que das seis coleções aprovadas pelo Programa Nacional do Livro Didático 2018, cinco foram consideradas nesse trabalho. A seleção das obras se deu com base na leitura integral das resenhas das coleções aprovadas, dispostas no Guia Nacional do Livro Didático buscando pelo termo 'Radioatividade' ou pelos conteúdos que lhe perpassam como: Desenvolvimento do modelo atômico, emissões naturais, leis das emissões radioativas, reações nucleares, fissão e fusão nuclear dentre outros. Assim, desconsideramos a coleção 'Química: ensino médio/ Eduardo Fleury Mortimer, Andréa Horta Machado. São Paulo: Scipione, 2016' por não cumprir com esse critério de seleção, ainda que, segundo o próprio GLD, indique o potencial CTS da obra.

Inicialmente vamos apresentar as conclusões da análise dos contextos de aplicação da Radioatividade sob a ótica da abordagem CTS, no que diz respeito a cada um dos seis critérios adaptados do trabalho de García-Carmona e Criado (2008). Em seguida apresentaremos a análise dos textos complementares contidos nos conteúdos relativos à Radioatividade, norteados por alguns aspectos da abordagem CTS, conforme os sete critérios organizados por Santos (2001).

As análises sobre a menção das aplicações tecnológicas da Radioatividade, especificamente da: a) produção de energia elétrica, observamos que é contemplada pelos Livros A, B, C e E, sendo que os Livros A e B apresentam seu caráter controverso pela produção de resíduos radioativos gerados, enquanto que o Livro C enfatiza as ponderações de custo benefício e o Livro E apenas menciona a possibilidade da produção de energia elétrica por matrizes nucleares. Sobre b) datação de fósseis, rochas e restos arqueológicos mediante

isótopos radioativos; é contemplado por pelos Livros A, B e C, sendo apresentada a técnica de datação pelo carbono-14 integrada ou complementar ao conteúdo de tempo de meia-vida, o Livro B ganha destaque por apresentar as limitações da técnica citada e apresentar a datação com urânio e potássio. Sobre c) aplicação de isótopos radioativos na medicina; é mencionada nos Livros A, B, C e D, citando os diferentes radiofármacos utilizados em exames de imagens, a radioterapia, sendo destaque o Livro A pela presença de atividades associadas ao conteúdo e o Livro C por destacar a importância dos equipamentos de proteção individual. Por fim, sobre d) aplicações industriais; são citados pelos Livros A, B e C, indicando suas aplicações na indústria, na agricultura, na esterilização de materiais da indústria farmacêutica e na irradiação de alimentos, ganhando destaque o Livro C por apresentar atividades associadas ao conteúdo trabalhado.

Quanto a alusão da Ciência e da Tecnologia relativas à Radioatividade na política, na economia e no comportamento social identificamos que apenas os Livros A e C mencionam. O Livro A cita a presença de armas nucleares pela Coreia do Norte e pelo Irã, mesmo sem o consentimento da ONU, enquanto que o Livro C cita o encantamento que a população dos Estados Unidos e da Europa tinham sobre a Radioatividade no período de sua descoberta, pelas relações de poder entre os Estados Unidos e o Japão, as tensões diplomáticas durante a Guerra Fria e os fatores econômicos relacionados a produção de energia elétrica em usinas nucleares. Ainda que pouco apresentada, entendemos que o contexto político e socioeconômicos são essenciais quando pensamentos no ensino de Química balizado pela abordagem CTS.

Para a ênfase colocada no papel desempenhado pela Radioatividade, ao longo da história, na evolução do conhecimento e da cultura da humanidade, observamos que sobre a a) influência dos conhecimentos sobre Radioatividade no pensamento e na cultura; o Livro B menciona as mudanças de relações interpessoais pelo desenvolvimento científico e tecnológico no uso das radiações na área da medicina e da comunicação, enquanto o Livro C retoma sobre o uso da Radioatividade em propagandas para agregar valor ao produto no período referente a sua descoberta. Sobre os b) antecedentes e incidentes dos fenômenos radioativos na história; de modo geral os Livros A, B, C e D apresentaram o ataque estadunidense nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, o teste da bomba atômica no estado do Novo México (EUA) e o acidente com o céσιο-137 na cidade de Goiânia-GO. Por fim, sobre a c) construção e desenvolvimento do conhecimento em Radioatividade; as cinco obras apresentaram suas contribuições, principalmente seu uso na produção de energia elétrica e no seu uso bélico, com a bomba atômica.

Na análise se os livros incluem os problemas ambientais relacionados com resíduos radioativos e/ou possíveis acidentes em centrais nucleares, os Livros A, B, C e E o contemplam. Os Livros A, B e C citam a geração de resíduos radioativos pelas usinas nucleares e o aumento de temperatura nos lagos, rios e mares que recebem a água utilizada no resfriamento do reator nuclear, causando um desequilíbrio desse ecossistema pela interferência na solubilidade do oxigênio. Como também são citados os impactos ambientais nas cidades de Goiânia, Hiroshima e Nagasaki e nas usinas de Fukushima, Chernobyl e *Three Mile Island*. A mobilização desse critério se mostrou importante pelo potencial interdisciplinar com as demais ciências naturais e pelo princípio da abordagem CTS sobre o exercício da cidadania e o desenvolvimento sustentável.

Em relação à menção do desenvolvimento dos conhecimentos científicos sobre Radioatividade como um produto do trabalho coletivo que considerem o papel das mulheres na ciência, observamos que para o a) trabalho coletivo, todas as obras a contemplam; os eventos mais citados pelos livros consistem na descoberta da Radioatividade por Marie e Pierre Curie, lhes rendendo o Prêmio Nobel de Física em 1903 (Livros B, C, D e E) juntamente as contribuições de Becquerel, e na síntese do primeiro isótopo artificial radioativo pelo casal Irène e Jean Frédéric Joliot-Curie, lhes rendendo o Prêmio Nobel de Química em 1935 (Livros A, B e C). Sobre b) as mulheres na ciência nuclear; todas as obras a contemplam, apresentando três figuras: Marie Curie (Livros B, C, D e E), Irène Joliot-Curie (Livros A, B, C e D) e Lise Meitner (Livro C). A valorização de ambos os critérios é importante na abordagem CTS pela compreensão da ciência como produto humano e de um grupo de pessoas e, também para romper com a crença da ciência como uma carreira reservada exclusivamente aos homens.

Quanto a menção dos livros comparando os benefícios e os danos que ocorreram, para a humanidade e ao meio ambiente, a partir das aplicações da Radioatividade é citada pelos Livros A, B, C e D. São adotadas diferentes abordagens para esse critério como: contextos de aplicações e riscos dos usos cotidianos da Radioatividade (Livros A e B), matrizes energéticas nucleares e o material radioativo gerado (Livros A, B e C), centrais nucleares no Brasil (Livros B e C) e riscos de exposição radioativa e suas aplicações na medicina (Livro D). Além de identificarmos que esses diferentes pontos de vista contribuam para uma formação crítica e responsável para o exercício da cidadania, pela mobilização de diferentes conhecimentos científicos, tecnológicos, sociais, ambientais, éticos e outros. Notamos, ainda, o uso de questões sociocientíficas para discutir a natureza controversa da Radioatividade pelos Livros B, C e D.

Nas análises que se referem aos indicadores para uma abordagem CTS dos textos complementares, identificamos um montante de trinta e dois (32) deles distribuídos ao longo das cinco coleções, sendo: sete (7) do Livro A, nove (9) do Livro B, treze (13) do Livro C, um (1) do Livro D e dois (2) do Livro E. Contudo, poucos são os textos que cumprem com os critérios que materiais didáticos CTS devem atender, sendo os critérios ‘Influências mútuas CTS’ e as ‘Relações com as questões sociais’ os que apresentam mais TC e, ainda assim, são treze de trinta e dois, que não são necessariamente distintos e exclusivos de apenas um dos critérios. Além disso, a escassez de atividades relacionadas aos conhecimentos mobilizados nos textos é uma fragilidade, uma vez que consideramos que a utilização de problemas reais que relacionem o cotidiano do estudante ao conhecimento Químico propicia uma reflexão fundamental no processo de alfabetizar científica e tecnologicamente os estudantes do Ensino Médio.

Para o critério de ‘Responsabilidade’ identificamos apenas cinco textos complementares (três no Livro A, um no Livro B e um no Livro C), retratando o potencial do recurso para desenvolver a compreensão dos alunos relativamente à sua interdependência como membros da sociedade e da sociedade como agente responsável dentro do ecossistema da natureza, com temas que perpassam pelo receio de especialistas sobre a destinação do lixo nuclear em Angra I e II, na construção de um quadro comparativo sobre as vantagens e desvantagens da adoção de diferentes matrizes energéticas e sobre ações responsáveis e sustentáveis pelo domínio de tecnologias relativas à Radioatividade.

Em relação as ‘Influências Mútuas CTS’ foram identificados treze TC (quatro no Livro A, três no Livro B, cinco no Livro C e um no Livro D). Nela as relações da Tecnologia, Ciência e Sociedade, umas com as outras, são claramente apresentadas propiciando uma visão adequada da tríade CTS. Para todos os textos analisados, observamos que as influências são apresentadas pelas aplicações tecnológicas da Radioatividade, como o gerador de tecnécio para utilização em exames cintilográficos, a datação com carbono-14 para o estudo de vestígios de material orgânico e o detector de fumaça, que utiliza do radioisótopo amerício-241.

Sobre as ‘Relações com as Questões Sociais’ identificamos treze TC (três no Livro A, quatro no Livro B e seis no Livro C). Em uma abordagem CTS as discussões acerca das relações com as questões sociais são importantes por resgatarem aspectos políticos, econômicos, históricos etc. Pelas diversas aplicações da Radioatividade na sua relação com a sociedade, vimos as questões sociais em textos sobre o impacto ambiental causado pelos acidentes nas usinas nucleares de Chernobyl e Fukushima, sobre a consequência do contexto

histórico-político no desenvolvimento de conhecimentos científicos relativos à Radioatividade por Marie Curie e sua filha Irène Joliot-Curie, mas os demais textos ainda centram na descoberta da Radioatividade, radioquímica, geoprocessamento etc.

O critério ‘Balanço de pontos de vista’ apresenta vários olhares sobre uma questão, também é observado uma não neutralidade dos textos, ou seja, os autores desse material não buscam, necessariamente, esconder sua perspectiva. Isso posto, identificamos seis TC com essas características (um no Livro A, dois no Livro B e três no Livro C), e discorremos sobre o balanço de pontos de vista quanto às vantagens e desvantagens do uso de tecnologias que utilizam do fenômeno da Radioatividade, sobre o papel da radioquímica nas diferentes concepções que se tinham sobre a idade da Terra no período anterior ao século XVIII, e sobre os riscos e benefícios da técnica de irradiação de alimentos.

Para os recursos didáticos que promovam a ‘Tomada de decisão e resolução de problemas’, observa-se a abordagem prevista pela literatura e pelos documentos oficiais da educação que envolvem a utilização de questões sociais relevantes a fim de promover essa habilidade, norteados pelos objetivos da abordagem CTS. Nesse sentido, identificamos seis TC (um no Livro B e cinco no Livro C) que contemplam esse critério, o primeiro questiona sobre o porquê da energia nuclear não ser muito explorada no Brasil, enquanto a segunda introduz o capítulo de Radioatividade perguntando se há diferença entre material radioativo e um material que foi irradiado. Para ambos os casos notados que essa característica nos TC busca soluções genuínas para problemas complexos reais, além de não possuir respostas prontas.

No que diz respeito a ‘Ação responsável’, são aqueles recursos que encorajam os alunos para que se envolvam em ações sociais ou pessoais, depois de ponderarem as consequências de valores e diferentes cenários e opções. Nesse critério identificamos quatro TC (um no Livro A e três no Livro C), sendo analisados o do Livro A que promove ação responsável após ponderar sobre os riscos e benefícios associados ao domínio tecnológico do fenômeno da Radiação, enquanto que o representante do Livro C é mais direto ao pedir que os estudantes proponham métodos de prevenção do vírus Zika a curto prazo.

Como último critério do segundo bloco de análise, o TC que contempla a ‘Integração de um ponto de vista’ ajudará os alunos a considerarem visões mais alargadas de CTS, incluindo o tratamento de valores/éticas pessoais e sociais. Foram identificados sete TC (dois no Livro A e cinco no Livro C). Os representantes de cada obra discutiram sobre as considerações de um especialista sobre a falta de segurança na estrutura da usina de Angra II

e sobre como as aplicações da Radioatividade podem afetar o cotidiano das pessoas, respectivamente.

Entendemos que esta pesquisa representa apenas um recorte temático nos Livros Didáticos de Química do PNL D 2018, portanto nossas considerações não representam a qualidade dessas coleções como um todo no que diz respeito à abordagem CTS. Além disso, essas obras analisadas marcam a transição entre os objetivos previstos pelos Parâmetros Curriculares Nacionais e os objetivos previstos pela Base Nacional Comum Curricular, que vem acompanhada do Novo Ensino Médio, por isso sua utilização ultrapassou o triênio previsto de 2018 a 2020 para o ano de 2022.

Ressaltamos que nossa análise tem relevância na área de ensino de Ciências, em um primeiro momento pela demanda de pesquisas a nível de dissertação e tese identificadas no nosso Capítulo 1. Situando o objeto de pesquisa na área de ensino de ciências, no qual, no intervalo de 2010 a 2020, só constatamos duas dissertações que relacionam o livro didático e a abordagem CTS na área de Química, sendo os trabalhos de Sousa (2019) e Toquetto (2016) para as temáticas ‘estudo dos gases’ e ‘vidros e metais’, respectivamente.

Além disso, a adoção de categorias estabelecidas em outros trabalhos permite estabelecer comparativos entre a evolução desse objeto de pesquisa com um mesmo parâmetro ou similar, ainda que pode-se adaptar a partir dos objetivos específicos de cada pesquisa. No nosso caso, comparando os contextos de aplicação da Radioatividade com o de García-Carmo (2008), percebemos que as menções à aplicação da Radioatividade na produção de energia e do uso de radioisótopos na medicina ainda são predominantes, bem como a presença de problemas ambientais relacionados à resíduos radioativos e acidentes em usinas nucleares. Por outro lado, a menção do desenvolvimento do conhecimento científico como produto do trabalho coletivo e que reconheça o papel da mulher na ciência esteve presentes em todas as nossas obras e apenas em dois de doze textos analisados pelas autoras, fruto das lutas do feminismo contemporâneo (SILVA; RIBEIRO, 2014). Ainda, podemos mencionar sobre a influência dos conhecimentos radioativos no pensamento e na cultura, que em um intervalo de quase quinze anos continua com pouco reconhecimento nos LDQ.

A partir das conclusões apresentadas propomos algumas questões para pesquisas posteriores, que podem ser pensadas na continuidade dessa pesquisa para uma tese de doutorado, que busquem novas perspectivas da relação entre a abordagem CTS, o livro didático de Química, a temática Radioatividade e o uso de Textos Complementares:

- ✓ Como a abordagem CTS, para a temática Radioatividade vem sendo desenvolvida nos Livros Didáticos de Química, aprovados pelo PNLD 2021? (Considerando os ajustes as exigências da BNCC e do Novo Ensino Médio)
- ✓ Como a introdução de textos complementares em sequências didáticas, presentes nos livros didáticos de Química, na temática Radioatividade, podem auxiliar no desenvolvimento de habilidades pautadas na abordagem CTS?

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. G.; LOPES, A. C. A Interdisciplinaridade e o Ensino de Química: Uma leitura a partir das políticas de currículo. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de química em foco**. Ijuí, RS: Editora Unijuí, 2019. p. 69-86.
- ACEVEDO DIÁZ, J. A. Cambiando la práctica docente em la enseñanza de las ciencias a través de CTS. **Borrador**, n. 13, p. 26-30, 1996.
- ACEVEDO, P.; ACEVEDO DÍAZ, J. A. Proyectos y materiales curriculares para la educación CTS: enfoques, estructuras, contenidos y ejemplos. **Revista Electronica de la enseñanza de las ciencias**. 2002.
- AIKENHEAD, G. S. Science-technology-society Science education development: from curriculum policy to student learning. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE ENSINO DE CIÊNCIAS PARA O SÉCULO XXI: ACT – Alfabetização em ciência e tecnologia, v. 1, 1990, Brasília, Atas. Brasília, jun. 1990. Mimeografado.
- AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. **STS education: international perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994, p. 47-59.
- AKAHOSHI, L. H.; SOUZA, F. L.; MARCONDES, M. E. R. Enfoque CTSA em materiais instrucionais produzido por professores de química. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 124-154, set./dez. 2018.
- ALEXIOU, N.; SKOUMIOS, M. A framework for evaluating dimensions of scientific literacy themes. **Egitim Arastirmalari-Eurasian Journal of Educational Research**, 49, p. 81-102, 2012.
- ALEXIOU, N.; SKOUMIOS, M. A framework for evaluating dimensions of scientific literacy in science textbooks: The case of a Greek middle school physics textbook. **International Journal of Science, Mathematics and Technology Learning**, v. 23, n. 1, p. 1-18, 2016.
- ARAÚJO, M. M. S. **Biotecnologia e cidadania**: características e reelaboração discursiva dos textos informativos científicos. 2012. 103 f. Dissertação (Programa de Mestrado em Educação), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- BAZZO, W. A. **Ciência, Tecnologia e Sociedade**: e o contexto da educação tecnológica. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico. **Parâmetros curriculares nacionais**. Brasília: MEC, 1999.
- BEZERRA, B. H. S. **Abordagem de questões sociocientíficas**: buscando relações entre diferentes modos de pensar e contextos em estudos sobre fármacos e automedicação no ensino de química. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Recife, 289 f., 2018.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 2000.

BRASIL. **Resolução RDC** n. 21, de 26 de Janeiro de 2001. Seção 1, p. 35. [Agência Nacional de Vigilância Sanitária Aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos], 2001.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: Secretaria da Educação Básica, 2002.

BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Secretaria da Educação Básica, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)**. 2018a. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12391:pnld>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

BRASIL. **Ministério Da Educação**. Novo Ensino Médio - perguntas e respostas. 2018b. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=40361> >. Acesso em: 19 out. 2022.

BRASIL. **Radioesterilização**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), 2021. Disponível em: < https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=741 >. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTERN, B. E. **Química: Ciência Central**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

ÇAKICI, Y. Exploring Turkish upper primary level science textbooks' coverage os scientific literacy themes. **Eğitim Arastirmalari-Eurasian Journal of Educational Research**, 49, p. 81-102, 2012.

CANHETE, M. V. U. **Os PCNs e as inovações nos livros didáticos de Ciências**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CARDOSO, 2006. **Apostila Educativa: Aplicações da Energia Nuclear**. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, 18 p. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf> . Acesso em 21 de outubro de 2021.

CHASSOT, A. Raios X e Radioatividade. **Química Nova na Escola**, n. 2, nov. 1995, p. 19-22.

CHIZZOTTI, A. **A pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 1991.

CHOPPIN, A. **História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte**. 2004.

COSTA, E. A. **Análise de livros didáticos de biologia do ensino médio quanto ao tema “poluição” numa perspectiva CTS/CTSA.** 96 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2013.

COSTA, F. A.; RODRIGUEZ, C.; CRUZ, E.; FRADÃO, S. Como usar as tecnologias digitais nas diferentes áreas disciplinares? In: COSTA, F. A. (Coord.). **Repensar as TIC na educação: O professor como agente transformador.** 1 ed. Carnaxide: Santillana, 2012, p. 61-85.

COUTO, R. R.; SANTIAGO, A. J. Radioatividade e irradiação de alimentos. **Revista Ciências Exatas e Naturais.** vol. 12, nº 2, 2010.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos.** 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DELIZOICOV, N. C.; SLONGO, I. I. P. **O ensino de Ciências nos anos iniciais do Ensino Fundamental: elementos para uma reflexão sobre a prática pedagógica.** Série-Estudos - Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB. Campo Grande, MS, n. 32, p. 205-221, jul./dez. 2011.

DEUTSCHE WELLE. **Os cinco maiores problemas ambientais do mundo e as soluções.** Disponível em: , <https://www.dw.com/pt-br/os-cinco-maiores-problemas-ambientais-do-mundo-e-suas-solu%C3%A7%C3%B5es/a-36024985>>. Acesso em 15 dez 2022.

DUARTE, R. **Entrevistas em pesquisas qualitativas.** 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/er/n24/n24a11.pdf/>>. Acesso em: 01 out. 2019.

DEUTSCHE WELLE. **Pesquisa Qualitativa: Reflexões sobre o trabalho de Campo.** Caderno de Pesquisa, n. 115, p. 139-154, março/2002.

ECHEVERRÍA, A. R.; MELLO, I. C.; GAUCHE, R. O. O Programa Nacional do Livro Didático de Química no contexto da educação brasileira. In: ROSA, M. I. P.; ROSSI, A. V. (Org.). **Educação Química no Brasil: memórias políticas e tendências.** Campinas, SP: Editora Átomo, 2008. p. 63-83.

ECHEVERRÍA, A. R.; MELLO, I. C.; GAUCHE, R. O. Livro Didático: Análise e utilização no Ensino de Química. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de química em foco.** Ijuí, RS: Editora Unijuí, 2010. p. 263-286.

ECHEVERRÍA, A. R.; MELLO, I. C.; GAUCHE, R. O. PNLEM 2007: Marco histórico na Avaliação de Livros Didáticos de Química no Brasil. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de química em foco.** Ijuí, RS: Editora Unijuí, 2019. p. 237-254.

FERNANDES, J. P. **O tema energia e a relação Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) presente no livro didático de física e no Exame Nacional do Ensino Médio.** 2013. Dissertação - Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde (NUTES), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FERNANDES, I. M. B.; PIRES, D. M.; DELGADO-IGLESIAS, J. Las relaciones entre Ciência, Tecnología, Sociedad y Ambiente, em los libros de texto de Educación Primaria: Um

estudio comparativo entre Portugal y España, antes de las últimas reformas educativas. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 14, n. 1, p. 54-68, 2017.

FERNANDES, I. M. B.; PIRES, D. M.; DELGADO-IGLESIAS, J. Perpesctiva Ciência, Tecnologia, Sociedade, Ambiente (CTSA) nos manuais escolares portugueses de Ciências Naturais do 6º ano de escolaridade. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 24, n. 4, p. 875-890, 2018.

FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. Utilização de Textos de Divulgação Científica em Salas de Aula de Química. In: GIORDAN, M.; CUNHA, M. B. (Org.). **Divulgação Científica na Sala de Aula**. São Paulo: Unijuí, 2015, p. 131-159.

FIRME, R. N. **A implementação de uma abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no ensino da química: Um olhar sobre a prática pedagógica**. Recife. 204 p. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.

FIRME, R. N. **A Abordagem ciência-tecnologia-sociedade (CTS) no ensino da termoquímica: análise da construção discursiva de uma professora sobre conceitos científicos**. Recife. 290 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CE. Programa de Pós-graduação em Educação, 2012.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências? **Investigações em ensino de ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

FOUREZ, G. **Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias**. 1 ed. Ediciones Colihue, 1994.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; LIMA, S. P. Considerações acerca da leitura em livros didáticos de química: uma análise a partir de textos complementares. **Educación Química**, v. 24, n. 2, 2013. P. 489-494.

FREITAG, B.; MOTTA, V.; COSTA, W. **O estado da arte do livro didático no Brasil**. Brasília: Inep, 1987.

FREITAS, D.; SANTOS, S. A. M. **CTS na produção de materiais didáticos: O caso do projeto brasileiro “instrumentação para o ensino interdisciplinar das ciências da natureza e da matemática”**, 2006. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/129791/mod_resource/content/1/freitas%20materiais%20did%C3%A1ticos.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

GARCÍA, M. I. G.; LOPÉZ, J. A. C.; LÚJAN, J. L. L. **Ciência, tecnología y sociedade: una introducción al estudio social de ciencia y a tecnologia**. Madrid:Tecnos, 1996.

GARCÍA-CARMONA, A.; CRIADO, A. M. Enfoque CTS en la enseñanza de la energía nuclear: análisis de su tratamiento en textos de física y química de la ESO. **Revista Enseñanza de las ciencias**, v. 1, n. 26, p. 107-124, 2008.

GILDO, W. L. **As relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) nas imagens de livros didáticos de biologia**. 2021. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Matemática, Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência e a Matemática, 2021.

KNELLER, G. F. **A ciência como atividade humana**. Rio de Janeiro: Zahar; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

KOEPSEL, R. **CTS no ensino médio: aproximando a escola da sociedade**. Florianópolis, Santa Catarina, 2003. 131 p. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

KORTLAND, K. Na STS case study about student's decision making on the waste issue. **Science Education**, v. 80, n. 6, p. 73-89, 1996.

LAIA, L. R.; MILLTIZ, R. A.; COMIOTO, T. **Um olhar sobre CTS: análise dos livros didáticos de química do PNLD 2015**. II Colóquio Luso –Brasileiro de Educação, Joinville, SC, 2016, p. 393-405. Disponível em: <<http://www.revistas.udesc.br/index.php/colbeduca/article/view/8355/6108>>. Acesso em 18 maio 2022.

LIMA, R. S.; PIMENTEL, L. C. F.; AFONSO, J. C. O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 2, maio 2011. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_2/04-HQ10509.pdf>. Acesso em: 12 mai 2022.

LIRA, S. H. M. L.; VASCONCELOS, F. C. C. G. **Alimentos e os Livros Didáticos de Química do PNLD (2018-2020): Uma sequência didática utilizando Textos Complementares**. Monografia (Química-Licenciatura) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste (UFPE-CAA). Caruaru, p. 85, 2019.

LOPES, A. R. C. **Livros Didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência Química**. 1992. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol15No3_254_v15_n3_%2816%29.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

LOVELAND, W. D.; MORRISEY, D. J.; SEABORG, G. T. **Modern Nuclear Chemistry**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2006, 1ª Edição, 688 p.
LOZANO, D. L. P. Conteúdos Ambientais no Ensino de Química: Análise dos Currículos, dos Livros Didáticos e Matrizes de Avaliação Nacional no Brasil. **Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 12, n. 2, p. 117-130, 2017.

MAESTRELLI, S. G.; LORENZETTI, L. As relações CTSA nos anos iniciais do Ensino Fundamental: analisando a produção acadêmica e os livros didáticos. **Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 13, s/n, p. 05-21, 2017.

MANASSERO, M. A.; VÁZQUEZ, A.; ACEVEDO DÍAZ, J. A. **Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat**. Illes Balears: Govern e Conselleria d'Educació i cultura, 2001.
MANSOUR, N. The representation of scientific literacy in Egyptian science textbooks. **Journal of Science Education**, v. 11, n. 2, p. 91-95, 2010.

MARCONDES, R.; SILVA, D. V. O Livro Didático de Química, as LDB's e o PNLD: Quais suas relações?. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 8, n. 1, 2022, p. 4-38.

MARTINS, R. A. **Como Becquerel Não Descobriu a Radioatividade**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 7, (número especial), p. 27-45, jun. 1990.

MARTINS, I. P. Formação inicial de professores de física e química sobre tecnologia e suas relações sócio-científicas. **Revista Electronica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, n. 3, 2003.

MERÇON, F.; QUADRAT, S. V. **A radioatividade e a história do tempo presente**. Química Nova na Escola, n. 19, p. 27-30, mai. 2004.

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

MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; CARVALHO, W. L. P. O ensino de acústica nos livros didáticos de física recomendados pelo PNLEM: análise das ligações entre a física e o mundo do som e da música. **HOLOS**, v. 1, s/n, p. 137-154, 2011.

MOREIRA, M. C. A.; PEREIRA, M. V.; MARTINS, I. G. Mecânica e educação para o trânsito: análise de um texto didático de ciências para o ensino fundamental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, 2017.

MORRIS, H. Socioscientific Issues and Multidisciplinary in School Science Textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 36, n. 7, p. 1137-1158, 2014.

MORTATTI, M. R. L. **Cartilha de alfabetização escolar: um pacto secular**. 2000.

MORTATTI, M. R. L. **História dos Métodos de Alfabetização no Brasil**. 2006.

MORTIMER, E. F. **A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário**. 1988.

MORTIMER, E. F.; SANTOS, W. L. P. Políticas e Práticas de Livros Didáticos de Química: o processo de constituição da inovação X redundância nos livros didáticos de Química de 1983 a 1987. In: ROSA, M. I. P.; ROSSI, A. V. **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**. 2 ed. – Campinas, SP: Editora Átomos, 2012, p. 85-103.

NUCLEAR ENERGY INSTITUTE (NEI). Ficha Técnica: Desativação de Usinas Nucleares. Disponível em: < <https://www-nei-org.translate.goog/resources/fact-sheets/decommissioning-nuclear-power-plants? x tr sl=en& x tr tl=pt& x tr hl=pt-BR& x tr pto=sc>>. 2016.

OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: HARBRA, 2018, 2ª Edição, 144 p.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 296 p.

OLIVEIRA, R. et al. **Preparações radiofarmacêuticas e suas aplicações**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas (RBCF). v. 42, n. 2, p. 151-165, abr./jun. 2006.

OMAYE, S. T. **Food and Nutricional Toxicology**. New York, CRC Press LLC, 1ª ed., 2004.
OSÓRIO, C. M. **La educación científica y tecnológica desde el enfoque en ciencia tecnología y sociedad: aproximaciones y experiencias para la educación secundaria**. 2002.

PAIXÃO, M. C. S. **O professor de biologia e o livro didático: análise da Educação CTS na EJA**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Ilhéus, 2018.

PASCHINI NETO, M. **Movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) nos textos sobre astronomia em livros didáticos de ciências do ensino fundamental**. 2011. Dissertação (Faculdade de Ciências Humanas Curso Pós-Graduação em Educação), Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2011.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A.; MELO FILHO, A. A. **A radioatividade e suas utilidades**. *Polêmica - Questões Contemporâneas - Revista eletrônica da UERJ*. v. 11, n. 2, p. 252-260, jan. 2012.

PINHEIRO, N. A. M. **Educação crítico-reflexiva para um ensino médio científico e tecnológico: a contribuição do enfoque CTS para o ensino-aprendizagem do conhecimento matemático**. 2005. 305f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PORTO, C. **Radioatividade e suas aplicações: teoria e exercícios - resolução comentada**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de química em foco**. Ijuí, RS: Editora Unijuí, 2019. p. 157-174.

RAMNARAIN, U.; PADAYACHEE, K. A comparative analysis of South African Life Sciences and Biology textbooks for inclusion of the nature of science. **South African Journal of Education**, v. 35, n. 1, feb. 2015.

RESQUETTI, S. O. **Uma sequência didática para o ensino da radioatividade no nível médio, com enfoque na história e filosofia da ciência e no movimento CTS**. 2013. 281 p. (Tese – Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

ROCHA, M. A. A.; SOUSA, Q. H. F.; VASQUES, M. V. **O uso de alimentos irradiados no tratamento de pacientes com baixa imunidade**. Brasília, 2007.

ROSA, C. T. W.; SILVA, J. C. R.; DARROZ, L. M. Acidente Nuclear de Goiânia nos Livros Didáticos de Física. **Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 14, n. 1, p. 51-62, 2019.

- ROSA, M. D.; ARTUSO, A. R. O uso do livro didático de ciências de 6º a 9º ano: um estudo com professores brasileiros. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, n. 19, p. 709-746, 2019.
- SAITO, F. História da Ciência e Ensino: em busca de diálogo entre historiadores da ciência e educadores. **Revista História da Ciência e Ensino**, v. 1, p. 1-6, 2010.
- SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA, C. D.; GUINDANI, J. F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, [S.I.], v. 1, n. 1, 2009. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/rbhcs/article/view/10351>. Acesso em: 5. Abr. 2022.
- SALLA, H. M. **Estudos CTS e transgenia**: análise de materiais didáticos do ensino médio. 2016. 219 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da Faculdade de Ciências), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.
- SANTANA, T. A.; CARDOSO, L. R. Como as relações CTS são evidenciadas nos textos complementares dos livros de biologia. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, v. 8, n. 16, p. 77-88, 2015.
- SANTOS, M. E. N. V. M. **A cidadania na “Voz” dos manuais escolares**. Lisboa: Livros Horizonte, 2001.
- SANTOS, W. L. P. Letramento em química, educação planetária e inclusão social. **Revista Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 611-620, 2006.
- SANTOS, W. L. P. Significados da educação científica com enfoque CTS. In: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. **CTS e educação científica**: desafios, tendências e resultados de pesquisas. Brasília: Universidade de Brasília, 2011.
- SANTOS, W. L. P. MALDANER, O. A.; MACHADO, P. F. L. O enfoque CTS e a educação ambiental: possibilidades de “ambientalização” da sala de aula de ciências. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de química em foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2019.
- SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S.; **Química e sociedade**. São Paulo: Nova Geração, 2006.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensino – Pesquisa em educação em ciências**. Belo Horizonte, v. 2, n.2, p. 1-22, dez. 2002.
- SANTOS, W. L. P.; SCHENETZLER, R. P. **Educação Química**: compromisso com a cidadania. Ijuí: Editora Unijuí, 1997.
- SANTOS, W. L. P.; SCHENETZLER, R. P. **Educação em Química**: compromisso com a cidadania. SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. (Org.), 4 ed. 160 p. ver. Atual. Ijuí: Ed. Unijuí, 2015.
- SCHEFFER, A. M. M.; ARAÚJO, R. C. B. F.; ARAÚJO, V. C. **Cartilhar**: das cartas ao livro de alfabetização. 2013.

SCHNETZLER, R. P. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de Química de 1875 a 1978. **Química Nova**, v. 4, n. 1, p. 6-15, 1981.

SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino de química. **Química Nova na Escola**, n. 1, maio, 1995.

SILVA, E. L.; MARCONDES, M. E. R. Visões de Contextualização de Professores de Química na Elaboração de seus próprios Materiais Didáticos. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, 12(1), 2010, p. 101-108.

SILVA, F. C. V. **Resolução de uma situação-problema sobre radioterapia para construção de conceitos de radioatividade no ensino superior de química**. 2013. 115 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, F. C. V.; SIMÕES NETO, J. E. **A Radioatividade nos Livros Didáticos do Ensino Médio – Um Olhar Utilizando Elementos de Transposição Didática**. In XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X Eduqui), Salvador, BA, Brasil, 2012.

SILVA, F. F.; RIBEIRO, P. R. C. Trajetórias de mulheres na ciência: “ser cientista” e “ser mulher”. **Ciência e Educação**, v. 20, n. 2, p. 449-466, 2014.

SILVA, G.; MELO, T. B. Para que serve a escala de comunicação nuclear? Reflexões sobre o acidente nuclear de Fukushima. **Revista de Ciências Sociais**, n. 37, out. 2012, p. 201-217.

SILVA; M. S.; ROSA, S. E. **Questões energéticas e suas relações com parâmetros CTS: análise em livros didáticos a partir de uma matriz de referência**. **Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 17, n. 38, p. 267-281, 2021.

SILVA, R. M. G. Ensino de ciências e cidadania. In: SCHNETZLER, R. P. (Org.). **Ensino de ciências: fundamentos e abordagens**. Campinas: R. Vieira Gráfica e Editora Ltda., 2000, p. 154-182.

SOARES, J. B.; SOUZA, W. O. **Memorial do PNLD: Elaboração, natureza e funcionalidade**. 2011.

SOLOMON, J. Science technology and society courses: Tools for thinking about social issues. **International Journal of Science Education**, v. 10, n. 4, p. 379-387, 1988.

SOUS, I. C.; NUNES, A. O. Concepções dos professores de química sobre o livro didático e a abordagem CTS. **Tecné, Episteme y Didaxis: TED**, [S.I.], n. 50, p. 113-130, 2021. DOI: 10.17227/ted.num50-10549. Disponível em: <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/10549>. Acesso em: 3 feb. 2023.

SOUSA, I. C. **O livro didático e o Enfoque CTS: possibilidades para o estudo dos gases no ensino médio**. 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ensino) - Instituto Federal de Educação,

Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

SOUSA, J. M.; FINO, C. N. As TIC abrindo caminho a um novo paradigma educacional. **Revista Educação e Cultura Contemporânea**, v. 5, n. 10, p. 11-26, 2019.

SOUZA, C. L. P. **Uma análise crítica, a partir do Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), do ensino de Botânica na educação básica**. 2018. 88 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SOUZA, S. E. O uso de recursos didáticos no ensino escolar. **I Encontro de Pesquisa em Educação, IV Jornada de Prática de Ensino, XIII Semana de Pedagogia da UEM: “Infância e Práticas Educativas”**. Arq Mudi. 2007; 11 (Supl. 2), p. 110-114.

SOUZA, T. P.; MÜLLER, M. G. O enfoque em livros didáticos brasileiros em manuais escolares portugueses: uma revisão das publicações em eventos do Ensino de Ciências e Química. **Revista Insignare Scientia**, v. 2, n. 2, p. 451-466, 2022.

SOUZA, T. P.; MÜLLER, M. G.; GOMES, C. M. M. A abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino de Química: uma análise exploratória dos livros didáticos brasileiros e manuais escolares portugueses. **Revista Insignare Scientia**, v. 5, n. 1, p. 354-376, 2022.

STRIEDER, R. B. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas**. São Paulo. 283 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, 2012.

TEIXEIRA, P. M. M. A educação científica sob a perspectiva da pedagogia histórico-cultural do movimento CTS no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 177-190, 2003.

TENREIRO-VIEIRA, C.; VIEIRA, R. M. Construção de práticas didático-pedagógicas com orientação CTS: Impacto de um programa de formação continuada de professores de ciências do ensino básico. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 191-211, 2005.

TOQUETTO, A. R. **Os temas “vidros e metais” em livros didáticos de química: uma análise a partir dos estudos sociais da C&T**. 2016. 199 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

VASCONCELOS, F. C. G. C. **Estratégia FlexQuest®: possibilidades para flexibilização do conhecimento**. 1 ed. Curitiba: Appris, 2016.

VESTERINEN, V.; AKSELA, M.; LAVONEN, J. Quantitative Analysis of Representations of Nature of Science in Nordic Upper Secondary School Textbooks Using Framework of Analysis Based on Philosophy of Chemistry. **Sci & Educ**, 22, p. 1839-1855, 2013.

VIECHENESKI, J. P. **Relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade em Livros Didáticos Integrados de Ciências Humanas e da Natureza para os Anos Iniciais do Ensino Fundamental**. 2019. 317 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em

Ensino de Ciência e Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

VIECHENESKI, J. P.; SILVEIRA, R. M. C.; CARLETTO, M. R. Relações CTS em Livros Didáticos da Área de Ciências: Uma Análise das Pesquisas Realizadas no período de 2010 a 2017. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 257-278, 2018.

VON LINSINGEN, I. O enfoque CTS e a educação tecnológica: origens, razões e convergências curriculares. XI Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica – Antofagasta. **Anais do COCIM**, v. 1, p. 1-11, 2004.

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

**APÊNDICE A – LISTA DE TEXTOS COMPLEMENTARES NOS LIVROS
DIDÁTICOS DE QUÍMICA PNLD 2018**

CÓDIGO	LIVRO	PÁGINA	SEÇÃO	TÍTULO
I	A	261a	FOI NOTÍCIA!	Segurança de usinas nucleares é questionada em seminário no Senado
II	A	261b	FOI NOTÍCIA!	Destinação de lixo nuclear preocupa participantes de seminário no Senado
III	A	269	Curiosidade	Aplicações pacíficas da radioatividade
IV	A	272	Saúde e Sociedade	O acidente de Goiânia
V	A	276	De onde vem... para onde vai?	Gerador de tecnécio
VI	A	281	RETOMANDO A NOTÍCIA	A reportagem da página 261 fala sobre a falta de segurança de usinas nucleares e sobre o destino incerto do lixo atômico. Você sabe quais as consequências de um acidente nuclear como os de Chernobyl e Fukushima?
VII	A	285	Compreendendo o mundo	Conclusão do tema
VIII	B	247a	QUÍMICA E GEOGRAFIA	Geoprocessamento
IX	B	247b	SAIBA MAIS	O equívoco da aplicação do rádio
X	B	250	QUÍMICA TEM HISTÓRIA	Indução artificial de radioatividade
XI	B	251	QUÍMICA E BIOLOGIA	Datação por carbono-14
XII	B	254	SAIBA MAIS	Elementos transurânicos
XIII	B	257	SAIBA MAIS	O acidente de Fukushima
XIV	B	259	QUÍMICA E FÍSICA	A fusão nuclear e as estrelas
XV	B	264	Ciência, tecnologia e sociedade	A radioquímica e a idade da Terra
XVI	B	267-268	Química e física	Energia nuclear + Atividades
XVII	C	12	Para situá-lo	Recortes do artigo: O despertar da radioatividade ao alvorecer do século XX.
XVIII	C	14	Viagem no tempo	A descoberta da radioatividade: um grande avanço da Ciência
XIX	C	19	Atividades	4) Recorte do artigo: Produção de radiofármacos
XX	C	21	Atividades	3) Recorte do artigo: Maior acidente radiológico do mundo, céσιο-137 completa 26

				anos
XXI	C	22	Conexões	Química e tecnologia – Detector de fumaça
XXII	C	26	Conexões	Química e história - A bomba atômica e a Guerra fria
XXIII	C	28-30	Conexões	Mulheres na ciência + A maioria das mulheres cientistas desiste de suas carreiras – e a culpa é nossa
XXIV	C	31	Sugestões	Livro: Vozes de Tchernóbil - a história oral do desastre nuclear, de Svetlana Aleksievitch
XXV	C	35	-----	Vírus Zika
XXVI	C	36-37	-----	O que é irradiação de alimentos?
XXVII	C	38	Atividades	1) Recorte do artigo: FRANCESES querem fechar “escola radioativa”
XXVIII	C	39	Atividades	4) Recorte do artigo: Hiroshima de John Hersey
XXIX	C	40	Atividades	5) Recorte do artigo: A crítica da razão pura
XXX	D	171	Textos de fontes variadas	A química do tempo: carbono-14
XXXI	E	152	História da Ciência	Dalton e a Teoria Atômica
XXXII	E	165	História da Ciência	Ernest Rutherford