

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ESTEFANO POLETTO DA SILVA

NATUREZA DA CIÊNCIA NAS PESQUISAS SOBRE RADIOATIVIDADE: UM  
ESTUDO DAS TESES E DISSERTAÇÕES BRASILEIRAS

CURITIBA

2020

ESTEFANO POLETTO DA SILVA

NATUREZA DA CIÊNCIA NAS PESQUISAS SOBRE RADIOATIVIDADE: UM  
ESTUDO DAS TESES E DISSERTAÇÕES BRASILEIRAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Educação em Ciências e em Matemática.

Orientadora: Profa. Dra. Joanez Aires

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S586n Silva, Estefano Poletto da  
Natureza da ciência nas pesquisas sobre radioatividade [recurso eletrônico]: um estudo das teses e dissertações brasileiras / Estefano Poletto da Silva. – Curitiba, 2020.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, 2020.  
Orientadora: Joanez Aires.

1. História. 2. Filosofia. 3. Radioatividade. I. Universidade Federal do Paraná. II. Aires, Joanez. III. Título.

CDD: 539.77

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SETOR DE CIÊNCIAS  
EXATAS UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ PRÓ-  
REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EDUCAÇÃO EM  
CIÊNCIAS E EM MATEMÁTICA - 40001016068P7

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E EM MATEMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ESTEFANO POLETTA DA SILVA** intitulada: **NATUREZA DA CIÊNCIA NAS PESQUISAS SOBRE RADIOATIVIDADE: um estudo das teses e dissertações brasileiras**, sob orientação da Profa. Dra. JOANEZ APARECIDA AIRES, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 14 de Dezembro de 2020.

Assinatura Eletrônica

16/12/2020 11:29:31.0

JOANEZ APARECIDA AIRES

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

16/12/2020 09:13:04.0

SERGIO CAMARGO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

16/12/2020 10:01:52.0

MARIA DO CARMO GALIAZZI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE)

Rua Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 100 - Centro Politécnico - Edifício da Administração - 4º. Andar - CURITIBA - Paraná - Brasil  
CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3696 - E-mail: [ppgecm@ufpr.br](mailto:ppgecm@ufpr.br)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 65437

**Para autenticar este documento/assinatura, acesse**

**<https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 65437**

Dedicado aos meus amigos e familiares que me ajudaram durante toda a minha vida. Agradeço às pessoas que lutam pelo Ensino e Educação pública de qualidade.

Também dedicado à professora Elza Ceribelli Poletto (1927 - 2021), minha avó, que deixou a essência do aprendizado por onde esteve presente.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, meus sinceros agradecimentos à Professora Doutora Joanez Aires e ao Professor Doutor Flávio Massao Matsumoto. No ano de 2014, estava prestando o processo seletivo para bolsista no programa PIBID. Era um período de receios, dúvidas e incertezas sobre o futuro, muitos colegas de curso diziam que essa área (Ensino e Educação) não era séria, na época não fui selecionado para a bolsa e comecei como voluntário no programa. A partir de 2015, o PIBID foi alvo de corte orçamentário, diminuição do número de bolsistas e da verba de custeio aos bolsistas. O PIBID vivia um cenário de instabilidade, em que não havia perspectiva de continuidade do programa. Foi durante esse clima que conheci e me interessei pelo trabalho da minha orientadora hoje, a Professora Joanez. Durante uma reunião em defesa do PIBID pude participar com a experiência que eu tive de reflexões sobre minhas aulas antes e depois de ingressar no programa. Não acredito que exista uma vocação divina para exercer alguma profissão, o que me fez um feliz profissional da Educação, foi a Formação em Licenciatura e as reflexões Pibidianas. Durante a disciplina de Projetos (2016) fui orientado pela Professora Doutora Joanez, nesse ano conheci temas como Alfabetização Científica e Tecnológica; História e Filosofia da Ciência; Ciência Tecnologia e Sociedade; Educação não formal; Ensino e Aprendizagem de Ciências; e Formação de professores. Com o decorrer do trabalho a ideia de entrar em mestrado começava a amadurecer e minha admiração pela História e Filosofia da Ciência se fortaleceu. O ano de 2017 foi um ano complicado para trabalhar como docente, a sala de aula e a área de Ensino e Educação fazia muita falta na minha vida, o sentimento de interação e o reconhecimento dos alunos com o professor é algo único e acredito que poucas profissões podem proporcionar esse sentimento especial, de ir motivado para cada aula, com vontade de ajudar e melhorar cada vez mais.

Em 2018 era o ano da tão esperada formatura, faltavam apenas mais um estágio em laboratório e poucas disciplinas, então finalmente eu seria um Bacharel e Licenciado em Química, minha ideia sobre o mestrado em Educação em Ciências estava madura a essa altura. Assim comecei a escrever o pré-projeto de mestrado para o programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da UFPR, na época eu passava por problemas pessoais e agradeço imensamente aos meus amigos e a minha família que me deram todo o apoio possível.

Agradeço especialmente a Carla Krupczak pelo apoio no momento de escrever meu pré-projeto de pesquisa, além de motivadoras, seus conselhos me ajudaram a entender quais as motivações de entrar no mestrado e como é gratificante nosso trabalho. Felizmente e com muita luta foi possível ingressar no programa e posso estudar o que eu mais gosto, onde me sinto importante e participo ativamente dos trabalhos da área de História, Filosofia, Sociologia e Educação em Ciências.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática por terem aberto as portas para mim. A UFPR é um lugar especial na minha vida, foi onde me formei e pude conhecer diferentes temas. Dialogar com as pessoas que trabalham na universidade promoveu o desenvolvimento, não só da dissertação, mas também, o amadurecimento pessoal, acadêmico e profissional.

Meus sinceros agradecimentos a Escola de História da Ciência da UFMG, ter a oportunidade de conhecer a Fafich e debater dias sobre Ciência. Especialmente o Professor Doutor Mauro Lúcio Leitão Condé, um professor muito receptivo e atencioso, participar de discussões sobre Fleck com essa referência foi algo que levarei para toda a minha vida.

Por fim, gostaria de agradecer os professores Sergio Camargo e Maria do Carmo Galiuzzi pelas considerações e reflexões sobre o trabalho durante a qualificação e a defesa. Em ambos os momentos foi possível revisar e melhorar a dissertação a partir das discussões, para o leitor ter uma ideia foi modificado/alterado/complementado: o resumo, o abstract, problema de investigação, objetivo, metodologia, ATD, categorias a priori, considerações finais e reflexões da atividade de pesquisa. Tal processo necessitou de um tempo maior que o imaginado e aproveito para agradecer a dedicação da Banca nesse momento. Obrigado!

## RESUMO

Um dos objetivos da História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) e da Natureza da Ciência (NdC) é esclarecer sobre a natureza histórica e humana do desenvolvimento do conhecimento científico. Assim para um melhor entendimento sobre os conhecimentos já elaborados que, neste estudo corresponde a radioatividade, consideramos que a HFSC possibilita aos alunos, além de entender os conteúdos científicos, compreender os aspectos que envolvem a prática científica, pois promovem o entendimento de fatores históricos, filosóficos e sociais que influenciam em uma visão mais elaborada sobre ciência e evidenciam a importância de trabalhar a NdC na educação. Em função disso, o objetivo geral deste estudo consiste em analisar se e como a NdC vem sendo abordada nas Teses e Dissertações (TD) brasileiras sobre radioatividade. Este estudo configura-se como pesquisa bibliográfica do tipo 'estado do conhecimento'. Para o estudo qualitativo das TD foi utilizada a Análise Textual Discursiva (ATD). Os trabalhos foram elencados a partir do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES. Buscamos TD que versam sobre radioatividade no Ensino e Educação em Ciências, para isto foram selecionados os trabalhos com o termo radioatividade no título, ou no resumo ou nas palavras-chave, sendo encontradas 4 teses e 36 dissertações. Os resultados indicaram que a produção acadêmica sobre radioatividade na educação ainda é recente no Brasil, 85% das TD são provenientes de instituições públicas de ensino e estão concentradas na região Sul. Além disso, foi possível identificar poucas propostas para o Ensino Fundamental, Ensino de Jovens e Adultos e formação de professores. Em relação à NdC, apenas 6 TD apresentam propostas que objetivam diretamente a NdC. Articuladamente alguns aspectos da NdC são mais, ou menos priorizados, os três aspectos mais frequentemente discutidos foram ciência influenciada por fatores externos, caráter histórico e dinâmico da ciência e ciência como atividade coletiva. Portanto as discussões envolvem questões sociocientíficas sobre a utilização da energia nuclear, o impacto do conhecimento das propriedades radioativas em seus respectivos contextos histórico-culturais e o entendimento da ciência como um fato social, público e humano.

Palavras-chave: História, Filosofia e Sociologia da Ciência. Revisão bibliográfica.

Estado do conhecimento.



## **ABSTRACT**

One of the objectives of History, Philosophy and Sociology of Science (HPSS) and the Nature of Science (NOS) is to clarify the historical and human nature of the development of scientific knowledge. So, for a more elaborate understanding of radioactivity, the HPSS enable scholars to understand the scientific content and the aspects that involve the scientific practice, as they promote the understanding of historical, philosophical and social factors that influence a more elaborate view on Science and evidence the importance of working NOS in education. Thus, the objective of this research is to analyze if and how NOS is being discussed in Brazilian theses and dissertations on radioactivity. So, a qualitative study of the 'state of knowledge' type was performed and interpreted through Discursive Textual Analysis (DTA). The data was constituted in CAPES Catalog of Theses and Dissertations. We sought theses and dissertations that deal with radioactivity in Science education and founded 4 theses and 36 dissertations. The analyzes indicated that radioactivity has recently been investigated in Brazilian education, 85% of theses and dissertations were developed in public educational institutions and is concentrated in the South region of the country. Indeed, there are few proposals for elementary, adult and teacher education. Just six dissertations explored NOS deeply. In addition, not all aspects are covered. The three most frequently identified aspects were science influenced by external factors, historical and dynamic character of science and science as a collective activity. Therefore, the discussions involve socio-scientific issues about the use of nuclear energy, the impact of knowledge of radioactive properties in their respective historical-cultural contexts and the understanding of science as a social, public and human fact.

Keywords: History, Philosophy and Sociology of Science. Literature review. State of knowledge.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DISTRIBUIÇÃO DAS TD POR ANO DE DEFESA. ....	98
FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DAS TD POR REGIÃO. ....	100
FIGURA 3: NATUREZA DAS INSTITUIÇÕES. ....	101
FIGURA 4: NÍVEIS DE ENSINO FOCALIZADOS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE. ....	102
FIGURA 5: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'CTS' POR ANO DE DEFESA. ....	107
FIGURA 6: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'CTS'. ....	108
FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'HFSC' POR ANO DE DEFESA. ....	109
FIGURA 8: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'HFSC'. ....	109
FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'ENSINO APRENDIZAGEM' POR ANO DE DEFESA. ....	112
FIGURA 10: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'ENSINO APRENDIZAGEM'. ....	112
FIGURA 11: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA' POR ANO DE DEFESA. ....	115
FIGURA 12: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA'. ....	116
FIGURA 13: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'NDC' POR ANO DE DEFESA. ....	118
FIGURA 14: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'NDC'. ....	118
FIGURA 15: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'EA' POR ANO DE DEFESA. ....	119
FIGURA 16: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'EA'. ....	120
FIGURA 17: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'METODOLOGIA INVESTIGATIVA' POR ANO DE DEFESA. ....	122
FIGURA 18: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'METODOLOGIA INVESTIGATIVA'. ....	122
FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO DAS TD 'ESTUDO DE CASO' POR ANO DE DEFESA. ....	124
FIGURA 20: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'ESTUDO DE CASO'. ....	125
FIGURA 21: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'ANÁLISE DOCUMENTAL' POR ANO DE DEFESA. ....	126
FIGURA 22: DESCRIÇÃO DA CATEGORIA 'ANÁLISE DOCUMENTAL'. ....	126

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: TESES SOBRE RADIOATIVIDADE NA EDUCAÇÃO. ....	94
QUADRO 2: DISSERTAÇÕES SOBRE RADIOATIVIDADE NA EDUCAÇÃO.....	94
QUADRO 3: TEMAS DISCUTIDOS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.....	103
QUADRO 4: FOCOS TEMÁTICOS DISCUTIDOS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.....	106
QUADRO 5: METODOLOGIAS DISCUTIDAS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE. ....	121
QUADRO 6: ASPECTOS DA 'NDC'.....	129
QUADRO 7: ASPECTOS DE ENFRENTAMENTO PRESENTES NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.....	129
QUADRO 8: ASPECTOS POUCO ELABORADOS PRESENTES NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.....	136
QUADRO 9: OBJETIVOS 'NDC' NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE .....	139
QUADRO 10: DESCRITORES DE CAMPOS E CACHAPUZ (1997).....	141
QUADRO 11: RESUMO DOS DADOS (PARÁGRAFOS E EXERCÍCIOS) EM D3. ....	143
QUADRO 12: RESUMO DOS DADOS (EXPERIMENTOS E ICONOGRÁFICOS) EM D3. ....	144
QUADRO 13: TRECHOS DA D3 E OS ASPECTOS 'NDC' .....	144
QUADRO 14: ESTRUTURA DA D8. ....	145
QUADRO 15: ATIVIDADES DA D20. ....	150
QUADRO 16: ASPECTOS DA 'NDC' NAS AULAS.....	151
QUADRO 17: PLANEJAMENTO DE D22 NAS AULAS.....	153
QUADRO 18: ASPECTOS DA 'NDC' NAS AULAS.....	153
QUADRO 19: ATIVIDADES EM D36. ....	155

## LISTA DE SIGLAS

ACT	- Alfabetização Científica e Tecnológica
ALEP	- Assembleia Legislativa do Paraná
ATD	- Análise Textual Discursiva
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
CEFET	- Centro Federal de Educação Tecnológica
CRCN-CO	- Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste
CTS	- Ciência, Tecnologia e Sociedade
DDT	- Diclorodifeniltricloroetano
DE	- Descritores específicos
DG	- Descritores gerais
EA	- Educação Ambiental
EF	- Ensino Fundamental
EJA	- Ensino de Jovens e Adultos
EM	- Ensino Médio
ENEM	- Exame Nacional do Ensino Médio
EPE	- Ensino Pesquisa e Extensão
EUA	- Estados Unidos da América
EXE	- Exercícios
EXP	- Experimentos
FMC	- Física Moderna e Contemporânea
HFC	- História e Filosofia da Ciência
HFSC	- História, Filosofia e Sociologia da Ciência
HQs	- Histórias em Quadrinhos
ICO	- Fragmentos iconográficos
IEPPEP	- Instituto de Educação do Paraná Prof. Erasmo Pilotto
IFSC	- Instituto Federal de Santa Catarina
LIBRAS	- Língua Brasileira de Sinais
NdC	- Natureza da Ciência
NOS	- Nature of Science
OMS	- Organização Mundial da Saúde
PCN	- Parâmetros Curriculares Nacionais
PIBID	- Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência
PPG	- Programa de Pós-graduação

PPGECIMA	Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática
PPGECM	- Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática
PRG	- Parágrafos
SEA	- Sequência de Ensino e Aprendizagem
TD	- Teses e Dissertações
UEL	- Universidade Estadual de Londrina
UEPB	- Universidade Estadual da Paraíba
UFMG	- Universidade Federal de Minas Gerais
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UFRPE	- Universidade Federal Rural de Pernambuco
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	- Universidade Federal de Santa Maria
USP	- Universidade de São Paulo
VNOS	- Views of Nature of Science
WQ	- WebQuest

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. BREVE PANORAMA HISTÓRICO DA RADIOATIVIDADE .....</b>	<b>20</b>
2.1 RÖNTGEN E O RAIOS-X.....	21
2.2 ANTOINE-HENRI BECQUEREL E A RADIOATIVIDADE .....	25
2.3 OS CURIE .....	31
<b>3. HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA .....</b>	<b>39</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DA HFSC .....	41
3.1.1 EMPIRISMO .....	42
3.1.2 CONSTRUTIVISMO .....	46
3.2 A EDUCAÇÃO HFSC.....	51
3.2.1 CURRÍCULO HFSC.....	53
3.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DA HFSC NA EDUCAÇÃO .....	55
<b>4. NATUREZA DA CIÊNCIA.....</b>	<b>59</b>
4.1 VISÕES POUCO ELABORADAS SOBRE CIÊNCIA .....	62
4.2 VISÕES SOBRE CIÊNCIA .....	68
4.3 A NATUREZA DA CIÊNCIA E A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA .....	75
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>81</b>
5.1 CONSTITUIÇÃO DOS DADOS.....	82
5.2 A PESQUISA QUALITATIVA.....	83
5.3 A PESQUISA ESTADO DO CONHECIMENTO .....	85
5.4 A ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA .....	88
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>93</b>
6.1 ANÁLISES DOS DESCRITORES GERAIS E ESPECÍFICOS .....	98
6.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO CAPÍTULO.....	127
<b>7. NATUREZA DA CIÊNCIA NAS PESQUISAS SOBRE RADIOATIVIDADE .....</b>	<b>128</b>
7.1 AS TESES E DISSERTAÇÕES COM ENFOQUE 'NDC' .....	141
7.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO CAPÍTULO.....	158
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>159</b>
8.1 REFLEXÕES DA ATIVIDADE DE PESQUISA .....	161
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>163</b>
<b>BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....</b>	<b>173</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Meu envolvimento na área de Educação em Ciências – mais especificamente em ensino de Química – começou em 2014, quando participava do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) na UFPR como estudante de bacharelado e licenciatura em Curitiba.

Durante as reuniões foi quando comecei a refletir sobre como a ciência funciona. Sabendo do meu interesse em estudar História e Filosofia da Ciência (HFC), fui orientado para acompanhar a unidade didática: a História da tabela periódica (2014).

Após esse contato em sala de aula, foi possível compreender como é importante mostrar aos alunos o processo de construção do conhecimento científico. Para explorar quaisquer conteúdos, devem ser considerados fatores históricos que mostram a gênese da construção daquele conhecimento, estudar sobre HFC possibilita compreender sobre o fazer científico, suas limitações, os aspectos históricos envolvidos e perceber a ciência como uma atividade humana.

Durante a disciplina de projetos de pesquisa (2016) comecei a estudar sobre Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT); História e Filosofia da Ciência (HFC); Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS); Educação não formal; Ensino e Aprendizagem de Ciências; e Formação de Professores. Após conhecer as temáticas, tive a oportunidade de trabalhar com ACT e desenvolver um projeto sobre os impactos químicos e morais de armas não letais utilizadas no dia 29 de abril de 2015: uma possibilidade de estudo para a alfabetização científica tecnológica em aulas de Química.

Brevemente, professores e servidores que estavam protestando contra a reforma da previdência foram duramente reprimidos (com gás lacrimogênio, bala de borracha, cachorros, cavalos, helicóptero e atiradores de elite). De acordo com a APP-sindicato (2017) o episódio rendeu centenas de ações individuais contra o estado por danos morais, materiais e “terminou com mais de 200 (duzentas pessoas feridas)” (APP-SINDICATO, 2017).

Então para entender sobre os impactos químicos e morais deste episódio, foram entrevistados 21 professores, 20 estudantes de Química e 5 alunos do ensino médio, muitos estavam presentes na Assembleia Legislativa do Paraná (ALEP) no

dia 29 de abril de 2015. Foi possível identificar que os entrevistados relacionam os efeitos das armas com os impactos morais, como segue o trecho da entrevista do professor 8.

Do ponto de vista dos professores, jamais, eu não me sinto vitorioso por ter apanhado se chegou a esse ponto foi por falta de conciliação e toda falta de conciliação leva a guerra, então acho que não tem vencedor nessa guerra, foram todos derrotados, do ponto de vista militar eles cumpriram estratégia, mas do ponto de vista político não tem vencedor, só derrotados (P8, 2016, p. 70).

Durante as aulas no PIBID e no estágio de docência essas linhas continuam influenciando toda a minha prática docente, no sentido de instrumentalizar o professor para trabalhar com a História da Tabela Periódica, a questão do descarte de resíduos e a relação CTS, os impactos químicos e morais e a ACT, a História dos nitrocompostos, enfim, diversas temáticas relevantes para trabalhar na Educação em Ciências.

O interesse em estudar sobre radioatividade tem relação com o estágio de docência, o qual foi desenvolvido no Instituto de Educação do Paraná Prof. Erasmo Pilotto (IEPPEP) em 2016. Durante as aulas todos os estagiários tiveram dificuldades para desenvolver os conceitos relacionados à radioatividade. Ao longo de todo o estágio nos perguntávamos: qual a melhor forma de trabalhar radioatividade no ensino médio? O conteúdo de radioatividade é mesmo relevante para os alunos? Foi a partir destas preocupações que passei a me interessar por este tema e por quais seriam as melhores possibilidades teóricas e metodológicas para tal.

De acordo com Cordeiro (2011), a radioatividade é um tema de fronteira entre a Química e a Física. Foi a partir do ano de 1896, quando Becquerel começou a testar a hipótese ('conjectura de Poincaré') que substâncias fosforescentes e fluorescentes também emitiriam raios X, que se iniciou o período da Física Moderna e posteriormente leva à Física Nuclear e de Partículas como uma disciplina distinta da Física Atômica. No entanto, o interesse pela temática radioatividade ainda é baixo em pesquisas de ensino e educação no Brasil, mesmo sendo um assunto controverso, com uma questão historiográfica relevante e com aspectos científicos importantes de serem discutidos.



Segundo Bastos (2008), o planeta Terra contém espécies radioativas naturais e quase tudo absorve e emite radiações. No entanto, apesar dessa considerável presença da radioatividade, trabalhar esta temática no ensino médio (EM) não é simples, pois envolve a necessidade de um amadurecimento conceitual, histórico, filosófico, tecnológico, científico e social que muitas vezes o professor não tem. Por isso, buscar conhecer o que vem sendo produzido nas pesquisas brasileiras sobre o tema, pode constituir-se em um referencial para professores trabalharem com tal tema.

Em relação às dificuldades dos professores para desenvolver os conteúdos de radioatividade, existem aspectos epistemológicos e institucionais que envolvem a prática.

No que se refere aos primeiros, a falta de reflexão epistemológica nas disciplinas científicas e, neste caso, na disciplina de Química, acaba por não contemplar a historicidade da construção dos conhecimentos. Especificamente sobre a radioatividade, o desenvolvimento deste conhecimento no final do século XIX foi um processo coletivo e com a contribuição de diferentes áreas do conhecimento, principalmente Química e Física, para analisar os fenômenos e as amostras.

Todavia, as aulas sobre radioatividade são ministradas sem levar em conta os processos de construção deste conhecimento, considerando apenas a etapa atual deste, reforçando aos alunos a visão empirista de ciência.

Muitos autores como Gil-Pérez, Montoro, Alís, Praia (2001), Lederman (1992), Forato, Pietrocola e Martins (2011) enfatizam como a visão empírico-indutivista está presente na concepção de estudantes e professores sobre ciência. No caso do ensino de radioatividade não é diferente, em geral os livros didáticos deixam de mencionar, por exemplo, as teorias que fundamentaram o trabalho de Becquerel. Esta ausência leva os professores a argumentarem que o cientista esqueceu seus cristais de sulfato de urânio e potássio em uma gaveta e assim foi descoberto o fenômeno de radioatividade. Quando na verdade o que aconteceu realmente, foi que Becquerel estava estudando diferentes compostos de urânio para uma tentativa coletiva de testar a ‘conjectura de Poincaré’ sobre a relação entre raios X e luminescência.

De acordo com Martins (2012), os trabalhos sobre radioatividade possuem a gênese associada à divulgação da existência dos raios X, por Wihelm Conrad

Röntgen. Henri Poincaré recebeu diretamente de Röntgen uma separata do seu trabalho, cópias de radiografias e o pesquisador ficou muito interessado pelo fenômeno. Estudando sobre os raios X, descargas elétricas e luminescência, Poincaré conjecturou que talvez houvesse alguma relação entre a emissão de raios X e a fluorescência do vidro. Então em um artigo da revista científica, *Révue Générale des Sciences*, divulgou sua hipótese comentando:

Portanto, é o vidro que emite os raios de Röntgen, e ele se torna fluorescente ao emití-los. Podemos nos perguntar se todos os corpos que possuem uma fluorescência suficientemente intensa não emitiriam os raios X de Röntgen, além de raios luminosos, seja qual for a causa de sua fluorescência. Nesse caso, o fenômeno não estaria associado a uma causa elétrica. Isso não é muito provável, mas é possível, e sem dúvida é fácil de verificar (POINCARÉ, 1896, p. 56).

Esta hipótese ficou conhecida como ‘conjectura de Poincaré’ e segundo Martins (2012) foi a fonte do trabalho de Becquerel (1896), Marie Curie (1899), Niewenglowski (1896), Charles Henry (1896), Lea (1896) e Thomson (1896).

Mencionar, portanto, como as pesquisas destes cientistas são desenvolvidas considera aspectos da historicidade da ciência e permite que os alunos passem ter uma melhor compreensão sobre Natureza da Ciência (NdC). Não existe uma definição rígida do significado da NdC, isso levou a autores como Lederman (1992), McComas (1998), Vázquez-Alonso et. al. (2007), Gil-Pérez et. al. (2001) e Breno Arsioli Moura (2014) a explicar o que se entende por NdC.

Essas explicações envolvem as discussões de historiadores, filósofos, sociólogos e epistemólogos da ciência como Francis Bacon (1620), Karl Popper (1962), Gaston Bachelard (1996), Paul Feyerabend (1977), Thomas Kuhn (1962), Ludwik Fleck (1935) e outros. O que é natural da definição dos autores é que a NdC é um processo de diálogo entre as pessoas sobre as características do desenvolvimento do conhecimento científico. Então, se discutem sobre o significado da abordagem científica, sua construção como atividade humana, o ser cientista, a realidade histórica e a compreensão de aspectos processuais da ciência.

Pesquisas que consideram aspectos acerca da NdC, especialmente quando aplicadas ao Ensino e Educação em Ciências, podem auxiliar para a compreensão de uma imagem mais elaborada sobre o trabalho científico, além disso, deve valorizar o contexto do conhecimento e o processo de seu desenvolvimento.

Por isso, buscar o que vem sendo produzido nas pesquisas brasileiras sobre o tema, pode constituir-se em conhecer o já construído, um ordenamento das informações e dos resultados, buscando identificar as lacunas e possibilitar um referencial para professores trabalharem com tal tema.

Consideramos que o estudo da radioatividade que valorize o contexto histórico, contemplando a NdC, pode proporcionar reflexões sobre a prática científica, preparando os alunos para decisões democráticas relacionadas à ciência e tecnologia.

Tendo por base tais premissas, o objetivo deste estudo consiste em analisar se e como a NdC vem sendo abordada nas Teses e Dissertações (TD) brasileiras sobre radioatividade. E a questão fenomenológica, que busca investigar sobre a emergência do fenômeno foi o que é isso: a NdC nas pesquisas brasileiras sobre radioatividade? Para tanto, os objetivos específicos são:

- a) Caracterizar as discussões teóricas acerca da História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) e NdC sobre a gênese da radioatividade;
- b) Mapear as Teses e Dissertações (TD) sobre radioatividade no ensino e educação presentes no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES;
- c) Entender como os aspectos da radioatividade estão sendo abordadas nestas TD;
- d) Analisar as tendências e abordagens da NdC nas pesquisas sobre radioatividade; e
- e) Discutir a relevância da NdC e da radioatividade para a Educação em Ciências.

É uma pesquisa qualitativa do tipo estado do conhecimento. Os dados foram constituídos a partir do Banco de Teses e Dissertações da CAPES. A análise dos dados foi realizada a partir da Análise Textual Discursiva (ATD).

O trabalho está organizado em oito capítulos. No capítulo dois, para permitir uma compreensão sobre a gênese do termo radioatividade, foi elaborado um breve panorama histórico da radioatividade.

No capítulo três dissertamos sobre a História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) como um campo de conhecimento único, todavia, sem deixar de considerar que cada uma dessas ciências, carregam valores, objetivos, metodologias e modos de pensar próprios.

De modo que para Rozentalski (2013), a NdC é considerada como uma linha de pesquisa incorporada na HFSC. No capítulo quatro discorremos sobre como o entendimento de aspectos da NdC possibilita a construção de conhecimentos mais elaborados sobre ciência.

O capítulo cinco é sobre a metodologia de pesquisa, onde discutimos sobre a constituição dos dados, a superação da dicotomia quantitativo-qualitativa, o que é uma pesquisa do estado do conhecimento e sobre a Análise Textual Discursiva como uma compreensão fenomenológica.

No capítulo seis apresentamos a análise das TD sobre radioatividade identificando e interpretando os descritores gerais (DG) e descritores específicos (DE) de modo a compreender o estado do conhecimento da radioatividade na educação brasileira, se e como a NdC está sendo trabalhada nas pesquisas sobre radioatividade e a relevância destas discussões para a Educação em Ciências.

No capítulo sete discutimos mais detalhadamente sobre as TD de radioatividade que tiveram como uma das atividades principais as discussões sobre NdC. Discutimos sobre qual imagem de ciência foi trabalhada, os resultados, as conclusões e os objetivos destes trabalhos em relação à NdC. Finalmente apresentamos as considerações finais.

## **2. BREVE PANORAMA HISTÓRICO DA RADIOATIVIDADE**

Para permitir uma melhor compreensão do termo radioatividade, apresentamos uma breve exposição dos trabalhos do final do século XIX sobre o desenvolvimento historiográfico da temática, desde os experimentos dos raios X até a análise da conferência Nobel de Pierre Curie.

São discutidos momentos históricos que permitem uma melhor compreensão da gênese do termo radioatividade, para entender melhor a história, foi necessário tanto estudar o conteúdo científico quanto os fatores que influenciaram o desenvolvimento do conhecimento sobre radioatividade.

Como os primeiros estudos sobre radioatividade estão ligados à divulgação da existência dos raios X, no subtópico 2.1 foi discutido sobre o trabalho de Wilhelm Conrad Röntgen. No subtópico 2.2 é realizada uma análise crítica sobre os trabalhos de Antoine-Henri Becquerel e sua família de cientistas que estudavam sobre

radiações. Por fim, no subtópico 2.3 foi analisado sobre o trabalho de Marie Curie e Pierre Curie e realizada algumas reflexões epistemológicas acerca do desenvolvimento do conhecimento científico sobre radioatividade.

## 2.1 RÖNTGEN E O RAIO-X

Wilhelm Conrad Röntgen nasceu em 1845 em Lennep, na Alemanha. Quando Röntgen tinha três anos sua família se mudou para Utrecht, na Holanda, onde estudou no Instituto Martinus Herman van Doorn. A biografia do Instituto Nobel descreve Röntgen como um aluno que gostava da natureza e que teve problemas na escola.

Ele não demonstrava uma aptidão especial, mas demonstrou amor pela natureza e gostava de passear no campo e nas florestas. Ele era especialmente interessado em artifícios mecânicos, uma característica que também permaneceu com ele na vida. Em 1862, ele ingressou em uma escola técnica em Utrecht, onde foi injustamente expulso, acusado de ter produzido uma caricatura de um dos professores, que na verdade, foi feita por outra pessoa. (NOBEL LECTURES, 1967, não paginado, tradução nossa).

Sem o diploma do ensino médio, Röntgen frequentava a Universidade de Utrecht como visitante, e sem a documentação necessária, não foi matriculado como aluno regular.

De acordo com Francisco et. al. (2005), Röntgen teve problemas na Universidade de Utrecht devido a estes episódios e um amigo da família avisou que a Escola Politécnica de Zurique aceitava estudantes após um teste de admissão.

Röntgen persistiu com os estudos, em 1865 começou a estudar em Zurique e dois anos e meio depois recebeu o diploma de engenheiro mecânico.

De acordo com o Instituto Nobel (1967), Röntgen teve grande influência de Rudolf Clausius (físico e matemático Alemão) e trabalhou no laboratório sendo orientado pelo físico August Kundt.

Em 1869, Wilhelm Conrad Röntgen concluiu seu Ph.D na Universidade de Zurique e foi nomeado assistente de Kundt. No mesmo ano, Kundt foi transferido para a Universidade de Würzburgo (Alemanha), e três anos depois para Estrasburgo (França), para ambos os momentos Kundt trabalhando junto com Röntgen.

Em 1874, Röntgen foi professor na Universidade de Estrasburgo e um ano depois foi professor de Matemática e Química na Academia de Agricultura de Hohenheim, em Württemberg (Alemanha). Por dificuldades de realizar suas experiências, Röntgen retornou a Estrasburgo como professor de Física. Mas no ano de 1879, ele aceita o cargo de Professor e Diretor do Instituto de Física da Universidade Hessian-Ludwigs, em Giessen (Alemanha). (FRANCISCO, et. al., 2005; NOBEL LECTURES, 1967).

De acordo com Francisco et. al. (2005) as Universidades de Jena e Utrecht (que o havia expulsado como aluno) ofereceram cargos semelhantes para ele trabalhar em 1886 e em 1888 respectivamente, mas Röntgen não aceitou.

Em 1888, Röntgen aceita proposta da Universidade de Würzburgo. Em 1899, ele recusa a proposta na Universidade de Leipzig (Alemanha) para ser Diretor do Instituto de Física, mas em 1900 aceitou o cargo na Universidade de Munique, após um pedido especial feito pelo governo da Bavária, para substituir o professor Eugen von Lommel (físico Alemão) (NOBEL LECTURES, 1967).

Wilhelm Conrad Röntgen permaneceu na Universidade de Munique pelo restante da carreira, embora tenham sido oferecidas a Presidência do Physikalisch-Technische Bundesanstalt e a cadeira de Física da Academia das Ciências de Berlim, ambos os cargos não foram aceitos.

A partir de uma breve apresentação da história de Wilhelm Conrad Röntgen, a quem foi concedido o Prêmio Nobel de Física de 1901, foi possível entender aspectos que mostram que sua carreira científica foi influenciada por diversas pessoas, ambientes e processos que demonstram a natureza humana, coletiva e histórica da ciência.

O desenvolvimento dos conhecimentos sobre radioatividade está intimamente ligado à divulgação da existência dos raios X, em 1895, por Wilhelm Conrad Röntgen (MARTINS, 1990). Segundo Martins (1997), o cientista foi físico experimental, além das radiações, Röntgen também trabalhou com eletricidade em cristais, efeito Kerr, propriedades da borracha, efeito de pressão na viscosidade de líquidos entre outros fenômenos.

Sobre os raios X, Röntgen publicou três artigos: um em dezembro de 1895, um em março de 1896 e o terceiro em março de 1897. Röntgen enviou seu primeiro artigo pelo correio aos principais líderes da comunidade científica da época, em poucas semanas seu trabalho começou a ser debatido e reproduzido no mundo todo

e em 1901 ele foi premiado com o primeiro Prêmio Nobel de Física. (MONTEIRO, 2011; MARTINS, 2004).

Para compreender mais sobre o processo de construção, que levou à divulgação da existência dos raios X, Martins (2012) seleciona um trecho da entrevista de Röntgen concedida ao jornalista americano, Henry Dam no começo do ano de 1896.

Dam: “Agora, Professor”, eu disse, o senhor poderia me contar a história da descoberta?  
 Röntgen: “Não há história”, ele disse. “Eu estava interessado há muito tempo no problema dos raios catódicos em tubos de vácuo, estudados por Hertz e Lenard. Eu havia seguido suas pesquisas e as de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro. Eu já estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo.” (ROMER, 1959, p. 276).

Röntgen demonstra que há muito tempo ele estava interessado na questão dos raios catódicos, ele não consegue falar apenas das suas próprias investigações, mas também das contribuições de outros cientistas que fizeram importantes progressos no conhecimento das propriedades dos raios catódicos, mostrando a importância das teorias científicas durante o processo de investigação na pesquisa, ou seja, os estudos dos raios X de Röntgen não foram baseados em observações neutras e seus resultados estavam intimamente ligados às pesquisas de outros físicos.

A divulgação da existência do raio X teve grande impacto nos estudos sobre radiações e na medicina. De fato, pensar sobre um feixe de luz invisível capaz de atravessar madeira, pele, carne e substâncias orgânicas não foi um fenômeno simples de explicar. Pesquisadores de todo mundo buscavam reproduzir os raios X, no Brasil Henrique Morize, na época professor de Física Experimental da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, em 1896, apresentou as aplicações dos raios X na radiologia e para medicina.

Em relação aos aspectos de NdC, entende-se que este tipo de pesquisa científica desestabiliza a visão empírico-indutivista da ciência pois as observações são influenciadas pela teoria conforme afirmam Gil-Pérez, et. al. (2001), Lederman (1992) e todos os epistemólogos construtivistas.

A visão empírico-indutivista e atórica são problematizadas quando se percebe o papel das hipóteses pré-existentes na investigação científica e que as

observações são interpretadas e analisadas de acordo com os pressupostos teóricos que fundamentam as pesquisas e não de forma neutra. As visões individualista e elitista são problematizadas quando se entende que o vencedor do prêmio Nobel tinha problemas na escola e pelo fato de Röntgen precisar das contribuições de outros cientistas para desenvolver suas pesquisas.

No começo de 1896, Röntgen enviou pelo correio cópias de seu artigo sobre os raios X aos principais líderes científicos da época (MARTINS, 2004). Apesar de descrever muitas propriedades dos raios X, a natureza dessa radiação era desconhecida e a 'conjectura de Poincaré' serviu de pressuposto teórico para os estudos de Becquerel com urânio. A 'conjectura de Poincaré' está descrita abaixo:

Portanto, é o vidro que emite os raios de Röntgen, e ele se torna fluorescente ao emití-los. Podemos nos perguntar se todos os corpos que possuem uma fluorescência suficientemente intensa não emitiriam os raios X de Röntgen, além de raios luminosos, seja qual for a causa de sua fluorescência. Nesse caso, o fenômeno não estaria associado a uma causa elétrica. Isso não é muito provável, mas é possível, e sem dúvida é fácil de verificar (POINCARÉ, 1896, p. 56).

Após o anúncio de Röntgen, Charles Henry e Gaston Henri Niewenglowski apresentaram trabalhos iniciais que confirmavam a 'conjectura de Poincaré'. De acordo com as descrições de Henry e Niewenglowski, os materiais sulfeto de zinco e o sulfeto de cálcio pareciam emitir raios X, após exposição à luz solar. Apesar disso, J. J. Thomson, na Inglaterra e Lea nos Estados Unidos também realizaram experimentos semelhantes e a 'conjectura de Poincaré' apresentou resultados negativos. A partir dos relatos destes cientistas é possível observar que era relevante testar se substâncias emitiam raios X.

Uma característica muito notável no bulbo que produz esses raios de Röntgen é a fosforescência do vidro. Eu pensei que era, portanto interessante testar se esses raios eram gerados quando a fosforescência do vidro era produzida por outros meios além da descarga de um eletrodo negativo. (THOMSON, 1896, p. 49-61).

Semelhantemente Lea (1896) também descreve sobre o interesse de testar se a 'conjectura de Poincaré' era aplicável a outras substâncias (MARTINS, 2012).

Pareceu-me válido determinar se esse princípio é de aplicação geral. Uma solução de uranina foi exposta ao sol, usando uma grande superfície da



solução de modo a obter o melhor efeito. (LEA, 1896; MARTINS, 2012, p.102).

É importante compreender que a ‘conjectura de Poincaré’ foi essencial para outros cientistas desenvolverem trabalhos e descreverem fenômenos novos em relação à natureza dos raios catódicos. Para o historiador Roberto de Andrade Martins, a ‘conjectura de Poincaré’ foi a fonte do trabalho de Becquerel com urânio.

Diversos aspectos da NdC podem ser usados para iniciar as discussões sobre o trabalho dos cientistas e a ‘conjectura de Poincaré’. Relacionando com aspectos da NdC, entende-se que os estudos de Röntgen, Poincaré, Thomson, Charles Henry, Niewenglowski e Lea envolvem os aspectos coletivos e o papel das teorias estabelecidas no processo de investigação científica.

A divulgação dos raios X, no início de 1896, teve grande repercussão na comunidade científica. Segundo Martins (2004) foram publicados cerca de mil artigos sobre a nova radiação, a maioria deles sobre aplicações na medicina. Muitos pesquisadores se voltaram principalmente para as pesquisas de novas propriedades dos raios X e o campo se desenvolveu muito rapidamente.

Esse tipo de momento da ciência caracteriza um tipo de pesquisa predominante da época, quando um grupo de cientistas se dirige ao aprofundamento de um conhecimento específico, no caso a radiação. O trabalho de Antoine-Henri Becquerel foi um destes trabalhos, possui uma questão historiográfica importante de ser discutida na história da radioatividade e será apresentada a seguir.

## 2.2 ANTOINE-HENRI BECQUEREL E A RADIOATIVIDADE

Antoine-César Becquerel foi o avô de Henri Becquerel, e era conhecido por estudos sobre eletroquímica, piezoeletricidade, termoeletricidade e eletricidade voltaica (BECQUEREL, 1946). Um dos filhos de Antoine-César Becquerel foi Alexandre-Edmond Becquerel, que trabalhou com seu pai e se dedicou ao estudo de eletroquímica, diamagnetismo e luminescência (MARTINS, 2012).

Antoine-Henri Becquerel nasceu em 1852 e se interessou por ciência por causa de seu pai Alexandre-Edmond Becquerel. De acordo com Martins (2012), Henri Becquerel chegou a usar compostos de urânio, colecionados por seu pai, em suas pesquisas.

O interesse de Henri Becquerel pela ‘conjectura de Poincaré’ e pelas pesquisas de Henry e Niewenglowski foi um caminho natural em sua pesquisa e, em 1896, na sua primeira comunicação à Academia de Ciências o cientista reconhece os estudos de Henry e Niewenglowski. Para Martins (2012) e Monteiro (2011) existem semelhanças consideráveis em relação aos trabalhos de seus predecessores e a principal contribuição em seu primeiro artigo sobre radioatividade foi o uso do sulfato duplo de urânio e potássio.

De acordo com Martins (2012), muitos historiadores descrevem que o segundo trabalho de Becquerel, apresentado à Academia de Ciências, contém a apresentação do fenômeno de radioatividade. O trecho que ficou conhecido por relatar a revelação da radioatividade está abaixo:

Insistirei particularmente sobre o seguinte fato, que me parece muito importante e alheio ao domínio dos fenômenos que se poderia esperar observar. As mesmas lamelas cristalinas, colocadas junto a chapas fotográficas, nas mesmas condições, isoladas pelos mesmos anteparos, mas sem receber excitação por incidência de radiação e mantidas na obscuridade, ainda produzem as mesmas impressões fotográficas. Eis de que maneira fui levado a fazer essa observação: dentre as experiências precedentes, algumas foram preparadas na quarta-feira, 26, e na quinta-feira, 27 de fevereiro; e como, nesses dias, o Sol apareceu apenas de modo intermitente, conservei as experiências que havia preparado e coloquei as placas com seus envoltórios na obscuridade de uma gaveta de um móvel, deixando as lâminas do sal de urânio em seu lugar. Como o Sol não apareceu de novo nos dias seguintes, revelei as placas fotográficas a 1º de março, esperando encontrar imagens muito fracas. Ao contrário, as silhuetas apareceram com grande intensidade. Pensei logo que a ação devia ter continuado na obscuridade [...] (BECQUEREL, 1896, p. 502).

Esse fenômeno já poderia ser explicado e esperado a partir dos conhecimentos já elaborados naquela época. Segundo Martins (2012) e Monteiro (2011), o ponto de partida de Becquerel foi a ‘conjectura de Poincaré’ e era necessário ler os trabalhos do pai de Henri Becquerel para encontrar um fenômeno semelhante.

De acordo com Martins (2012), a explicação natural de Becquerel seria a possibilidade de que uma fosforescência de curta duração fosse acompanhada de uma fosforescência de longa duração. Abaixo segue a explicação de Becquerel:

Uma hipótese que surge muito naturalmente ao espírito seria a suposição de que essas radiações, cujos efeitos possuem uma forte analogia com os efeitos produzidos pelas radiações estudadas por Lenard e Röntgen, poderiam ser radiações invisíveis emitidas por fosforescência, cuja duração de persistência fosse infinitamente maior do que a das radiações luminosas

emitidas por essas substâncias. No entanto, as experiências presentes, sem serem contrárias a essa hipótese, não permitem formulá-la. (BECQUEREL, 1896, p. 503).

Pensando nos aspectos da NdC, entende-se que os trabalhos de Becquerel tiveram cooperação a partir dos estudos de Lenard e Röntgen. Este tipo de pesquisa vai em direção contrária à visão empírico-indutivista da ciência, aspecto que será explicado no capítulo 4.

No mesmo período que Becquerel estudava se substâncias fosforescentes e fluorescentes também emitiriam raios X, Silvanus Phillips Thompson também detectou o fenômeno e obteve o mesmo entendimento que Becquerel. Não se sabe exatamente a data, mas em fevereiro de 1896, Thompson e seu assistente Sr. Miles Walker realizavam experiências com substâncias fluorescentes em contato com filme fotográfico, podemos observar o interesse do cientista neste trecho desta carta enviada ao presidente da Royal Society, George Stokes (MARTINS, 2012):

28 fev. 1896

Caro Sir George Stokes:

Fiz ontem uma observação de interesse tão curioso que resolvi chamar sua atenção para ela. Encontrei que se uma substância fosforescente tal como o sulfeto de bário é exposta à luz branca ordinária, de modo a ficar bem impregnada pelo sol, e levada à condição de brilhar, ela emite depois (e aparentemente também durante a iluminação) não apenas a luz ordinária que pode ser interceptada por uma folha de alumínio, mas também alguma coisa a mais que não é interceptada pelo alumínio, e que é, pelo menos nesse ponto, igual aos raios X de Röntgen, pois pode atravessar o alumínio e agir sobre uma chapa fotográfica. Se é verdade que há substâncias fluorescentes (ou fosforescentes) que se desviam da sua lei de degradação da frequência (ou comprimento de onda), este pareceria apresentar um caso extremo de tal desvio. Mas se esses forem raios de Röntgen, então eu fui capaz de manufaturá-los a partir da luz comum por um tipo de processo reverso da fluorescência. Você conhece algum outro exemplo no qual se descobriu que a fluorescência ou fosforescência pode ter uma operação reversível?

Sou,

Seu, de modo completamente sincero,

Silv. P. Thompson. (MARTINS, 2012, p. 114).

Segundo Lynch (1989) e Thompson (1920), a principal área de trabalho de Thompson foi a eletricidade, entretanto era considerado uma referência em luminescência. Para o historiador Roberto de Andrade Martins e interpretando a carta é possível notar que Thompson não escreveu a Stokes por ser o presidente da Royal Society, mas por ser uma referência em luminescência.

Refletindo sobre os aspectos da NdC, é possível argumentar que o diálogo entre os pesquisadores mostra que o progresso científico depende de trabalhos coletivos em um grupo e entre grupos, as discussões são essenciais para o desenvolvimento da ciência. Também mostra que o conhecimento científico depende da contribuição de diferentes áreas do conhecimento no desenvolvimento de teorias mais amplas.

Após receber a carta de Thompson, Stokes respondeu: “Sua descoberta é extremamente interessante; presumo que você publicará sem demora, especialmente porque muitos estão agora trabalhando com raios X” (LARMOR, *Memoir and scientific correspondence of the late Sir George Gabriel Stokes*, vol. 2, p. 495)<sup>1</sup>. Entretanto alguns dias depois, Stokes escreve novamente a Thompson com a notícia do trabalho publicado por Becquerel:

Temo que você já tenha sido antecipado. Ver Becquerel, *Comptes Rendus* de Fev. 24, p. 420, e alguns artigos em duas ou três sessões antes dessa. (LARMOR, 1907 p. 496; MARTINS, 2012, p. 117).

Então Stokes entendeu que Thompson e Becquerel identificaram o mesmo fenômeno. Mas segundo Martins (2012), o fato de Stokes não mencionar os trabalhos de Charles Henry e Gaston Henri Niewenglowski se deve ao fato da dificuldade em distinguir o trabalho de Becquerel das outras confirmações da ‘conjectura de Poincaré’ e provavelmente por estar há cinco décadas associado à família de Becquerel e conhecê-lo pessoalmente (MARTINS, 2012).

Este momento da história da radioatividade despertou inúmeras controvérsias científicas sobre a natureza desta radiação. Como dito anteriormente, em 1896, Becquerel, Lea, Henry, Niewenglowski e Silvanus Thompson trabalhavam sobre a ‘conjectura de Poincaré’ para entender se compostos fosforescentes ou fluorescentes eram capazes de emitir raios X. Segundo Martins (2012), Stokes (1852) e Becquerel (1859), uma das hipóteses sobre os raios X, naquela época, era que estas radiações seriam ondas eletromagnéticas de alta frequência (baixo comprimento de onda). No entanto um fenômeno destes violava a ‘lei’ de Stokes:

---

<sup>1</sup> “A carta original, datilografada, de Stokes para Thompson está guardada em Londres, Imperial College Archives, Silvanus P. Thompson’s paper, carta 296. Cf. PINGREE, Silvanus Phillips Thompson, F. R. S. List of correspondence and papers in the Imperial College Archives” (MARTINS, 2012, p. 116).

De acordo com a ‘lei’ de Stokes, as substâncias luminescentes só podem emitir radiação de um comprimento de onda maior do que o da radiação excitante<sup>2</sup>. Portanto, não se poderia esperar que uma substância pudesse emitir radiação penetrante de curto comprimento de onda quando excitada por luz – exceto se isso fosse uma exceção à lei de Stokes. (MARTINS, 2012, p. 140-141).

De acordo com Martins (2012), a ‘lei’ de Stokes tinha sido confirmada pelo pai de Henri Becquerel (Edmond Becquerel) e pelo próprio George Stokes. Entretanto, Edmond Becquerel entendia que este efeito acontecia na maioria dos casos, mas que havia exceções. Posteriormente Edmond Becquerel abandonou as exceções e passou a aceitar a ‘lei’ como geral. George Salet sugeriu que qualquer violação da ‘lei’ de Stokes entraria em conflito com a segunda lei da termodinâmica, mas não foi uma aplicação correta da teoria, tanto na época quanto hoje (MARTINS, 2012).

De qualquer forma é possível compreender como o papel da teoria (que neste caso possuía um status relativamente alto) influencia na atividade científica. Discutir sobre estas teorias faz com que as pessoas percebam sobre o caráter provisório e dinâmico das teorias científicas, uma vez que existem questões que podem ficar em aberto para pesquisas posteriores, tanto experimentalmente quanto teoricamente.

Então Lommel (1871 e 1872) e Thompson (1896) apresentaram trabalhos com exceções à ‘lei’ de Stokes, os resultados de Lommel foram confirmados por Bohuslav Brauner e Otto Lubarsch e negados por Eduard Hagenbach e Sergei Lamansky. No final do século XIX as exceções de Lommel são aceitas e Silvanus Thompson informou que Stokes não considera que a ‘lei’ de Stokes é completamente geral. Portanto uma fluorescência anômala, que violava a ‘lei de Stokes’, não seria uma surpresa de acordo com o conhecimento já estabelecido (MARTINS, 2012).

Retornando ao trabalho de Henri Becquerel, o cientista foi guiado pela ‘conjectura de Poincaré’, por seus conhecimentos e expectativas a respeito das propriedades dos compostos de urânio e esperava detectar a emissão de radiação eletromagnética penetrante, semelhante à radiação ultravioleta, por fosforescência que violaria a ‘lei’ de Stokes (MARTINS, 2012; MONTEIRO, 2011).

---

<sup>2</sup> Esta ‘lei’ está descrita como “the refrangibility of the incident light is a superior limit to the refrangibility of the component parts of the dispersed light” (STOKES, 1852, p. 556).

A pesquisa experimental de Becquerel procurava entender como a reflexão, refração, polarização e estímulos luminosos interagem com a radiação do urânio. Para Martins (2012), Monteiro (2011), Rocha (2018) e Gomes (2013), os trabalhos experimentais de Becquerel devem ser analisados criticamente e interpretados como o trabalho de um observador descuidado e, talvez, desonesto, afirmando opiniões pessoais que ele gostaria que fossem verdadeiras, mas distante da realidade. Na prática científica não é um absurdo cientistas serem enganados por suas expectativas teóricas, entretanto “é notável quão longe Becquerel foi levado por suas pré-concepções” (MARTINS, 2012, p. 154).

Becquerel relatou experimentos de reflexão especular da radiação emitida pelo sal de urânio; refração da radiação penetrante emitida por compostos fosforescentes; a relação entre a intensidade da radiação emitida pelos sais de urânio quando era estimulada pela luz; e a polarização da radiação do urânio. (MARTINS, 2012).

Até 1898, os trabalhos de Becquerel não foram submetidos a críticas ou refutações, nas revistas os trabalhos foram aceitos como uma contribuição que não falsificava fortemente outras teorias conhecidas e então não exigia análises profundas. Entretanto dois aspectos do trabalho de Becquerel foram criticados: (1) a relação entre a intensidade da radiação emitida pelos sais de urânio quando era estimulado pela luz; e (2) a polarização dos raios de urânio (CURIE, 1898; SCHMIDT, 1898; MARTINS, 2012).

Quanto à excitação da radiação do urânio pela luz, Johann Elster e Hans Geitel, em 1897, notaram que a emissão de radiação do urânio não aumentava quando era exposto à luz do sol (ELSTER; GEITEL, 1987; MARTINS 2012). Eles, de acordo com Marie Curie (1899), provaram conclusivamente que o fenômeno de radioatividade não pode ser aumentado pela luz.

Em abril de 1898, Marie Curie e Gerhard Schmidt, independentemente um do outro, realizaram pesquisas com o tório e entenderam que a substância emitia radiações de natureza semelhante as do urânio. Então, em 1898, Marie Curie propôs o termo radioatividade (CURIE, 1899; MARTINS, 2012):

Os raios do urânio foram frequentemente chamados de raios de Becquerel. Este nome pode ser generalizado e aplicado não apenas aos raios do urânio, mas também aos raios do tório e todas as radiações semelhantes. Chamarei de radioativas as substâncias que emitem raios de Becquerel. O nome hiperfosforescência que havia sido proposto para o fenômeno parece-

me transmitir uma ideia errada sobre sua natureza (CURIE, 1899; MARTINS, 2012, p. 178, tradução de Roberto de Andrade Martins).

Segundo Martins (2012) os trabalhos de Marie Curie e Pierre Curie eram voltados para as substâncias que emitiam radiação. Já Rutherford e Soddy (1902) desenvolveram o que hoje é o núcleo central da teoria atual sobre a radioatividade. Em 1899, Rutherford identificou as radiações  $\alpha$  e  $\beta$ . Após alguns anos os cientistas entenderam que as substâncias radioativas emitiam três tipos de radiações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Então “a natureza da radiação emitida pelo urânio e outros corpos radioativos era completamente diferente daquilo que Becquerel acreditava que tinha ‘provado’.” (MARTINS, 2012, p.178-179).

### 2.3 OS CURIE

A investigação sobre a radiação de urânio, após um ano de estudos, já não proporcionava mais resultados interessantes. O próprio Becquerel foi se desinteressando pelo assunto e não realizou uma busca sistemática por outras substâncias que tivessem propriedades semelhantes (MARTINS, 2012).

Para compreender sobre o ponto de partida de Marie Curie, é importante analisar como a pesquisadora interpretava o trabalho de Becquerel. Marie Curie entendia que o ponto de partida de Becquerel foi a ‘conjectura de Poincaré’ e produziu experiências análogas às de Niewenglowski e Henry (CURIE, 1899; MARTINS, 2012).

Como visto anteriormente Becquerel imaginava que as emissões de urânio eram radiações eletromagnéticas, provavelmente semelhantes aos raios ultravioletas, porém com comprimento de onda menor (MARTINS, 2012). Já Marie Curie entendia que o urânio emitia um novo tipo de radiações.

É verdade que os sais de urânio agem sobre as placas fotográficas, e que essa ação pode se produzir através de corpos opacos, tais como o papel negro, alumínio, etc.; mas esse fenômeno não está associado de forma alguma a fosforescência. O urânio e todos os seus compostos, fluorescentes ou não, agem igualmente, e o urânio metálico é o mais ativo. Ainda mais, o Sr. Becquerel encontrou que a luz não é necessária, e que colocando os compostos de urânio na obscuridade completa, eles continuam a impressionar as chapas fotográficas durante anos. Não havia aí portanto um fenômeno análogo à fluorescência, mas um fenômeno

completamente novo (CURIE, 1899, p. 41, tradução Roberto de Andrade Martins).<sup>3</sup>

Segundo a história da radioatividade, a escolha do método elétrico ao invés do fotográfico por Marie Curie foi fundamental para os resultados de suas pesquisas. No método fotográfico a intensidade das manchas dependia do material fotográfico, da temperatura, umidade, pressão e pelas substâncias químicas presentes, então ficava impossível distinguir o que era efeito da radiação do urânio e o que eram interferentes. As vantagens aparentes do método elétrico eram a rapidez e medidas quantitativas (MARTINS, 2012).

Os estudos entre radiação e a condutividade do ar, desenvolvidos por Becquerel (1896), Lord Kelvin (1896), Ernest Rutherford (1899) e Gerhard Carl Nathaniel Schmidt (1898) foram fundamentais para descrever as vantagens do método elétrico no estudo de substâncias que emitiam radiações penetrantes, capazes de ionizar o ar, “pode-se dizer que, pelo método elétrico, Schmidt conseguiu diferenciar as radiações do urânio de efeitos espúrios” (MARTINS, 2012, p. 249) e também compreender sobre a emissão de radiação pelo tório.

Para Martins (2012), a radiação de Becquerel era um assunto pouco explorado, mas curioso. A expectativa do estudo de Marie Curie era de uma pesquisa padrão, reproduzir para os raios de urânio, um estudo similar aos que foram realizados para os raios X, utilizando o método elétrico. Então, os primeiros estudos de Marie Curie estavam voltados para medir o ‘poder de ionização’ dos raios de urânio, ou seja, a capacidade da radiação de urânio tornar o ar condutor de eletricidade e de descarregar um eletroscópio (CURIE, 1939).

Os primeiros experimentos com radiações começaram no dia 16 de Dezembro de 1897. As primeiras atividades da cientista consistiam de testes preliminares e familiarização com o aparelho, sob orientação de Pierre Curie (MARTINS, 2012). Tal atividade reforça o caráter cooperativo e teórico das investigações científicas.

---

<sup>3</sup> Il est vrai que les sels d'uranium agissent sur les plaques photographiques, et que cette action peut se produire à travers des corps opaques, tels que le papier noir, l'aluminium, etc.; mais ce phénomène n'est nullement relié à la fluorescence. L'uranium et tous ses composés, fluorescents ou non, agissent de même, et l'uranium métallique est le plus actif. Bien plus, M. Becquerel trouva que la lumière n'est pas nécessaire, et qu'en plaçant les composés d'urane dans l'obscurité complète, ils continuent à impressionner les plaques photographiques pendant des années. Il n'y avait donc pas là un phénomène analogue à la fluorescence, mais bien un phénomène entièrement nouveau (CURIE, 1899, p.41).



Apesar dos primeiros trabalhos de Marie Curie ser rotineiros, este resultou de registros importantes. Algumas das conclusões foram: (1) a radiação do urânio não é influenciada pela luz ou pela exposição ao Sol; (2) ela não é influenciada pela temperatura; (3) ela não é influenciada por reações químicas, pela dissolução em água ou pela adição de impurezas.

A partir do dia 10 de Fevereiro de 1898, Marie Curie examinou um grande grupo de metais, não foi observada emissão de radiação penetrante por nenhum dos metais. Uma semana depois, analisou o mineral pechblenda (ou uranita) e a corrente elétrica com o mineral era maior do que no caso do urânio puro.

A pechblenda é formada por óxido de urânio e várias outras substâncias em pequenas quantidades, uma delas é o tório. Para Martins (2012), provavelmente este motivo levou a Curie examinar posteriormente um mineral de tório e nióbio. Então analisando separadamente os elementos deste mineral, entendeu que apenas o tório emitia radiações penetrantes.

Assim foi desenvolvida a ideia de que existem outros elementos com propriedades semelhantes às do urânio. Então não se tratava de um fenômeno particular do urânio, mas de algo mais geral.

Apesar de um breve histórico não ser suficiente para sentir e compreender toda a complexidade de uma pesquisa científica, podemos perceber que os problemas, as controvérsias, as reuniões, as cartas, o debate, o investimento, os equipamentos, as orientações filosóficas, enfim um espectro gigantesco de fatores e métodos influenciou na prática científica dos pesquisadores e nos resultados.

Marie Curie, Pierre Curie e Antoine-Henri Becquerel receberam o prêmio Nobel de Física em 1903. Apesar de receberem o prêmio, apenas Pierre apresentou a conferência de 1905. Segundo Cordeiro (2011) no ano de 1903, Marie Curie não se recupera de uma doença e Pierre não podia se ausentar dos cursos que conduzia em Paris.

Em 6 de Junho de 1905, Pierre Curie apresentou em conferência Nobel as propriedades das substâncias radioativas e, em particular, das propriedades do rádio.<sup>4</sup> Primeiramente o cientista demonstra a importância dos trabalhos realizados anteriormente a sua pesquisa:

---

<sup>4</sup>Traduzido por Marinês Domingues Cordeiro em: Dos Curie a Rutherford: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). UFSC, Florianópolis, 2011.

Tenho de lhes falar hoje das propriedades das substâncias radioativas e, em particular, das propriedades do rádio. Não conseguirei mencionar apenas as nossas próprias investigações. No começo de nossos estudos sobre o assunto, em 1898, éramos, juntamente a Becquerel, os únicos interessados nessa questão; desde então, mais trabalhos foram feitos e, atualmente, não é mais possível falar de radioatividade sem mencionar os resultados das investigações de um grande número de físicos como Rutherford, Debierne, Elster e Geitel, Giesel, Kauffmann, Crookes, Ramsay e Soddy, para citar apenas alguns daqueles que fizeram importantes progressos no conhecimento das propriedades radioativas. (CURIE, 1905, p. 73).<sup>5</sup>

Pierre Curie demonstra que em seu trabalho ele não consegue falar apenas das suas próprias investigações. Também discutiu sobre a importância das teorias científicas durante o processo de investigação na pesquisa, ou seja, o estudo das propriedades radioativas de Pierre não foi baseado em observações neutras e seus resultados estavam intimamente ligados às investigações de outros físicos que partilhavam de práticas científicas semelhantes.

Logo Pierre Curie (1905), ressalta os trabalhos de um grande número de físicos. Primeiramente reporta sobre o trabalho de Becquerel, em 1896, sobre as propriedades da radiação do urânio e seus compostos. Na sequência menciona sobre o trabalho de Marie Curie na França e Schmidt na Alemanha, que mostraram que o tório e seus compostos possuem as mesmas propriedades dos raios de Becquerel. Assim o direcionamento das pesquisas pode ser interpretado no seguinte trecho:

Nós, Madame Curie e eu, tentamos encontrar essas novas substâncias hipotéticas no minério de urânio, a pechblenda. Fazendo a análise química desse mineral e tomando a radioatividade em cada parte do tratamento, encontramos primeiramente uma substância química altamente radioativa com propriedades químicas parecidas com as do bismuto, que denominamos polônio, e então (com a colaboração de Bémont), uma segunda substância altamente radioativa próxima ao bário, a que chamamos de rádio. Finalmente, Debierne separou uma substância

---

<sup>5</sup> I have to speak to you today on the properties of the radioactive substances, and in particular of those of radium. I shall not be able to mention exclusively our own investigations. At the beginning of our studies on this subject in 1898 we were the only ones, together with Becquerel, interested in this question; but since then much more work has been done and today it is no longer possible to speak of radioactivity without quoting the results of investigations by a large number of physicists such as Rutherford, Debierne, Elster and Geitel, Giesel, Kauffmann, Crookes, Ramsay and Soddy, to mention only a few of those who have made important progress in our knowledge of radioactive properties (CURIE, 1905, p. 73).

radioativa que pertence ao grupo dos metais-terrosos raros, o actínio (CURIE, 1905, p. 74).<sup>6</sup>

Refletindo sobre a tentativa de encontrar elementos químicos radioativos, até então desconhecidos, o casal procurou relacionar as propriedades das novas substâncias encontradas com as propriedades químicas de substâncias já conhecidas, assim foi o caso do polônio que possuía propriedades químicas parecidas com as do bismuto e o caso do rádio, uma substância altamente radioativa próxima ao bário. Posteriormente o cientista Debierne separou o actínio, uma substância radioativa que pertence ao grupo dos metais de transição.

Esse tipo de investigação reforça que na pesquisa foi necessário relacionar a estrutura social da ciência como trabalho coletivo organizado, com diversas ideias, polêmicas e mostram os nomes de vários autores que participaram para o desenvolvimento do conhecimento científico acerca das propriedades radioativas.

Além do mais a interpretação que a palavra 'encontrar' se apresenta no discurso não reforça a visão de 'descoberta científica', uma vez que foi necessário o trabalho de muitos pesquisadores e o direcionamento da pesquisa científica ser fruto de uma série de métodos, valores, instrumentos e experimentos compartilhados pelos cientistas da época.

Para compreender como os cientistas compartilham de técnicas, valores, resultados, e enfim aspectos semelhantes de fazer ciência pode-se observar o seguinte trecho:

O Rádio é caracterizado por um espectro distinto, que foi descoberto e estudado por Demarçay e então por Crookes, Runge e Precht, Exner e Hanschek. O espectro de reação do Rádio é muito sensível, mas muito menos sensível que a radioatividade por revelar a presença de traços de rádio (CURIE, 1905, p. 74).<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> We, Mme. Curie and I, have sought to find these new hypothetical substances in a uranium ore, pitchblende. By carrying out the chemical analysis of this mineral and assaying the radioactivity of each batch separated in the treatment, we have, first of all, found a highly radioactive substance with chemical properties close to bismuth which we have called polonium, and then (in collaboration with Bémont) a second highly radioactive substance close to barium which we called radium. Finally, Debierne has since separated a third radioactive substance belonging to the group of the rare earths, actinium (CURIE, 1905, p. 74).

<sup>7</sup> Radium is characterized by a distinct spectrum which was first discovered and studied by Demarçay, and then by Crookes and Runge and Precht, Exner, and Haschek. The spectrum reaction of radium is very sensitive, but it is much less sensitive than radioactivity for revealing the presence of traces of radium (CURIE, 1905, p. 74).

Eugène-Anatole Demarçay foi um químico francês que estudava sobre espectros de elementos químicos. Em 1898, quando Marie e Pierre Curie isolaram o polônio, levaram a amostra radioativa à Demarçay para análise. Demarçay examinou o espectro e existia uma linha não determinada. Essa linha foi causada pelo rádio, elemento que os Curie só conseguiram isolar em 1902.

Outra passagem que mostra o processo cooperativo da atividade científica para o estudo de emissão de calor do rádio, se encontra no seguinte trecho da apresentação de Pierre Curie:

Eu também mostrei, em colaboração com Laborde, que o rádio emite calor continuamente a aproximadamente 100 calorias por grama de rádio, por hora. Rutherford e Soddy, Runge e Precht e Knut Ångström também mediram a emissão de calor pelo rádio; como essa emissão parece manter-se constante após vários anos, a energia total emitida pelo rádio dessa maneira é bastante considerável.

O trabalho de um grande número de físicos (Meyer e Schweidler, Giesel, Becquerel, P. Curie, Madame Curie, Rutherford, Villard, etc) mostrou que as substâncias radioativas podem emitir raios de três variedades diferentes, designados por Rutherford como raios  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Eles diferem entre si pela ação de campos elétricos e magnéticos, que modificam as trajetórias dos raios  $\alpha$  e  $\beta$  (CURIE, 1905, p. 74-75)<sup>8</sup>.

Knut Ångström foi membro da *Royal Swedish Academy of Sciences* em 1893. Ångström pesquisava sobre a emissão do calor do sol e sua absorção pela atmosfera da Terra, na época desenvolveu instrumentos mais sensíveis de medição, o piriômetro, um instrumento para medir a irradiação direta do sol; e um aparelho para a obtenção de uma representação fotográfica do espectro infravermelho.

Albert Laborde foi estudante de Pierre Curie em Paris, na época os dois descreveram sobre o conceito de energia nuclear, identificando a emissão de calor contínua de partículas de rádio. Frederick Soddy trabalhou com Rutherford na Universidade de McGill de Montreal, eles descreveram que o comportamento

---

<sup>8</sup> I have also shown in collaboration with Laborde that radium releases heat continuously to the extent of approx. 100 calories per gram of radium and per hour. Rutherford and Soddy, Runge and Precht, and Knut Ångström have also measured the release of heat by radium, this release seems to be constant after several years, and the total energy released by radium in this way is considerable. The work of a large number of physicists (Meyer and Schweidler, Giesel, Becquerel, P. Curie, Mme. Curie, Rutherford, Villard, etc.) shows that the radioactive substances can emit rays of the three different varieties designated by Rutherford as  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$  -rays. They differ from one another by the action of a magnetic field and of an electric field which modify the trajectory of the  $\alpha$ - and  $\beta$ -rays (CURIE, 1905, p. 74-75).

anômalo dos elementos radioativos era justificado ao fato de se produzirem radiações raios  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , os elementos se desintegrando produziam outros.<sup>9</sup>

Essa hipótese proposta por Rutherford e Soddy pode ser entendida como um elemento repentino e relevante para o desenvolvimento das pesquisas posteriores. Esta questão envolveu complementações, um trabalho crítico e criativo na prática científica, um momento em que os pesquisadores buscam evoluir os pressupostos teóricos, ao invés de unicamente testar e confirmar as teorias (CURIE, 1905; MARTINS, 2012).

A Teoria das Transformações Radioativas proposta por Rutherford e Soddy é vista como uma grande mudança no modo de pensar sobre a Química para Pierre Curie.

Essa teoria da transformação dos elementos foi desenvolvida e formulada com grande audácia por Rutherford e Soddy, que propuseram haver uma desagregação contínua e irreversível dos átomos dos elementos radioativos. Na teoria de Rutherford, os produtos da desagregação seriam, por um lado, os raios projéteis e por outro lado, as emanções e a radioatividade induzida (CURIE, 1905, p. 77)<sup>10</sup>.

Finalizando seu discurso Pierre levanta uma questão importante para refletir a ciência como atividade humana, estudada em um conjunto social.

Finalmente, nas ciências biológicas, os raios de rádio e suas emanções produzem efeitos interessantes, que estão sendo presentemente estudados. Os raios de rádio vêm sendo usados nos tratamentos de certas doenças (lúpus, câncer, doenças nervosas). Em certos casos, sua ação pode ser perigosa [...].

[...] Pode-se inclusive considerar que o rádio pode tornar-se muito perigoso em mãos criminosas e aqui se levanta a questão quanto à capacidade da humanidade de se beneficiar do conhecimento dos segredos da natureza, se está pronta para lucrar com isso e se essa sabedoria não será prejudicial. O exemplo das descobertas de Nobel é característico, pois explosivos poderosos capacitaram o homem a fazer trabalhos maravilhosos. Eles também são terríveis meios de destruição em mãos de grandes criminosos, levando povos a guerras. Sou um daqueles que acreditam,

<sup>9</sup> Para Resquetti (2013) a Teoria das Transformações Radioativas proposta por Rutherford e Soddy conduziram décadas seguintes de pesquisas sobre radioatividade. Se um elemento radioativo emite radiações nucleares (originadas de dentro o núcleo), a sua estrutura nuclear está se modificando. O trabalho do casal Curie, Becquerel, Schimidt, a transmutação de elementos químicos e a busca por novos elementos químicos artificiais foram os aspectos que conduziram aos experimentos sobre fissão nuclear.

<sup>10</sup> This theory of the transformation of the elements has been developed and formulated with great boldness by Rutherford and Soddy who state that there is a continuous and irreversible disaggregation of the atoms of the radioactive elements. In the theory of Rutherford the disaggregation products would be, on the one hand, the projectile rays, and on the other hand, the emanations and the induced radioactivities (CURIE, 1905, p. 77).

como Nobel, que a humanidade aproveitará as novas descobertas mais para bem do que para mal (CURIE, 1905, p. 78)<sup>11</sup>.

Então Curie (1905) procura demonstrar que não há como alcançar o conhecimento absoluto, o processo de desenvolvimento do conhecimento é influenciado por diversos fatores. De fato, os aspectos tecnológicos, sociais, políticos e econômicos levantados por Pierre Curie são levados em consideração sobre o uso da radioatividade e a ciência está diretamente relacionada à essas questões.

No dia 19 de Abril de 1906, Pierre Curie faleceu vítima de atropelamento após sair de um almoço na Associação de Professores da Faculdade de Ciências. Já Marie Curie, que foi a primeira mulher a receber um Prêmio Nobel em 1903, ganhou outro Prêmio Nobel, em 1911, dessa vez em Química, se tornando a primeira pessoa a receber duas premiações em áreas diferentes.

A Conferência Nobel apresentada por Marie Curie no dia 11 de Dezembro de 1911, Rádio e os novos conceitos da Química, enfatiza sobre a importância dos trabalhos de Ramsay, Rutherford, Soddy, Debierne, Demarçay, Hahn e Mendeleev. Analisando as duas conferências foi possível identificar diversas características do trabalho científico, entretanto segundo Cordeiro (2011), as questões de gênero foram deixadas de lado.

Além disso, Marie Curie enfrentou preconceitos, doenças, falta de verbas e de reconhecimento. No final do século XIX, mulheres francesas não frequentavam Universidades, apenas a partir de 1920 foi quando se começou as pesquisas sobre os perigos da exposição aos elementos radioativos, viveu com pouquíssimo dinheiro e mesmo que grande parte das comunicações tenha sido assinada por Marie e Pierre, foi necessária a intervenção de Magnus Goesta Mittag-Leffler (membro do Comitê Nobel) para reconhecer que o trabalho era do casal (CORDEIRO, 2011).

Um fato curioso é seu caderno de laboratório de 1899, que possivelmente vai seguir radioativo por 1500 anos (NOBEL PRIZE, 2020). Marie Curie faleceu 4 de

---

<sup>11</sup> Finally, in the biological sciences the rays of radium and its emanation produce interesting effects which are being studied at present. Radium rays have been used in the treatment of certain diseases (lupus, cancer, nervous diseases). In certain cases their action may become dangerous [...] [...] It can even be thought that radium could become very dangerous in criminal hands, and here the question can be raised whether mankind benefits from knowing the secrets of Nature, whether it is ready to profit from it or whether this knowledge will not be harmful for it. The example of the discoveries of Nobel is characteristic, as powerful explosives have enabled man to do wonderful work. They are also a terrible means of destruction in the hands of great criminals who are leading the peoples towards war. I am one of those who believe with Nobel that mankind will derive more good than harm from the new discoveries (CURIE, 1905, p. 78).

Julho de 1934, aos 66 anos de leucemia (ou anemia aplástica), resultado de anos de exposição às radiações durante seu trabalho.

Entendendo melhor a história, foi possível perceber que a partir de um forte envolvimento com as hipóteses e o trabalho experimental na pesquisa dos Curie, constituíram-se significativas contribuições científicas, possibilitando também um caminho frutífero para investigações de outros cientistas (MARTINS, 2012).

Sobre demonstrar a importância da história da radioatividade é importante conhecer melhor quais são os desafios, as lacunas e motivações que levaram ao desenvolvimento das pesquisas. Ainda assim é importante mostrar que a construção deste conhecimento envolve sobre o significado da abordagem científica, sua construção como atividade humana, o ser cientista, a realidade histórica e a compreensão de aspectos processuais da ciência.

Sem retirar os méritos desses trabalhos que historicamente renderam Prêmios Nobel e todo desenvolvimento desse conhecimento, para Silva (2017) a radioatividade não teria importância se ficasse apenas descrito na literatura científica ou nos laboratórios de pesquisa. Assim esse tema de fronteira entre a Química e a Física envolve questões importantes a serem refletidas na Educação em Ciências.

### **3. HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA**

Neste capítulo temos por objetivo refletir sobre História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) como um campo de conhecimento único, todavia, sem deixar de considerar que cada uma dessas ciências, carregam valores, objetivos, metodologias e modos de pensar próprios.

Segundo Rozentalski (2018), para compreender sobre o saber científico, a História da Ciência possibilita destacar historicamente o alcance e os limites da ciência. Portanto a abordagem destaca as dificuldades do desenvolvimento das pesquisas, o papel do conhecimento prévio no planejamento e controle de experiências, o caráter dinâmico da ciência, o papel da comunidade científica e a relação entre ciência, tecnologia e sociedade. Além do mais a abordagem histórica ainda pode formar o aluno para uma participação ativa sobre sua realidade histórica.

A aproximação entre Filosofia da Ciência e ensino de ciências possibilita promover melhores compreensões sobre ciência. Assim a Filosofia da Ciência é uma

condição necessária para o desenvolvimento de uma visão crítica da atividade científica. Articuladamente para Lakatos (1979), Bachelard (1996), Kuhn (1962), Fleck (1935) e Feyerabend (1977) a base epistemológica necessária para compreender criticamente sobre ciência se desenvolve na interação não neutra entre sujeito e objeto.

Para Rozentalski (2018), de fato a inclusão da Filosofia da Ciência promove melhores compreensões sobre ciência e como ela funciona. Na perspectiva do ensino, as abordagens discutem mais sobre o processo do desenvolvimento científico do que sobre os produtos da ciência.

Em defesa da inclusão da Sociologia da Ciência, a tradição europeia com Bloor e o Programa Forte da Sociologia e a perspectiva de Latour (2012) se destacam. Para Latour (2017) a ciência é dinâmica, a natureza é ao mesmo tempo estudada e modificada pela atividade científica.

De acordo com Rozentalski (2018), a Sociologia da Ciência é a área que está preocupada em investigar como a prática científica envolve relações humanas, crenças, valores, inter-relação entre ciência, política, economia e religião. Então a Sociologia da Ciência está preocupada em compreender como a ciência é praticada e construída pela sociedade.

Segundo Condé (2018) as considerações epistemológicas que definiram o que foi sendo discutido sobre ciência pode ser dividida em duas partes que a Filosofia da Ciência concentra as reflexões. A Filosofia da Ciência tendo como pressupostos a base epistemológica dos empiristas lógicos, justificavam suas afirmações a partir de observações neutras e sem influência de fatores externos. Já o pressuposto epistemológico do construtivismo, além destacar os fatores do estilo científico, também leva em consideração os elementos que influenciam externamente no desenvolvimento dos estudos, como a realidade social e cultural dos pesquisadores. Amplificam-se as variáveis de estudos em uma tentativa de aprimorar o panorama e relatar uma visão de ciência mais elaborada.

Como resultado, a inclusão de aspectos da HFSC possibilita entender a ciência como uma construção humana. Portanto segundo Martins (1999), para compreender sobre ciência, não é suficiente apenas aplicar o conhecimento científico, mas discutir e refletir sobre ciência.

Se pretendermos discutir a HFSC com a comunidade, primeiramente vamos refletir sobre as seguintes perguntas: 1. Qual a gênese do conhecimento de HFSC



desenvolvido pelos epistemólogos e historiadores da ciência? 2. Como a HFSC pode ser discutida em sala de aula? Os próximos dois tópicos do capítulo 3 buscam responder estas duas perguntas.

### 3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DA HFSC

Segundo João Carlos Sales, no século XVIII, a Filosofia na Universidade de Berlim começa a deixar de ser um saber cultivado em salões europeus, externo à Universidade, e começa sua internalização universitária. Havia disciplinas filosóficas na academia, entretanto a disciplina não era vista como uma carreira.

Podemos dizer que a ciência está diretamente relacionada ao cotidiano e ao modo de viver das pessoas, o desenvolvimento científico inicialmente foi visto como a fonte de melhoria à vida das pessoas. Entretanto “devido a consequências pelas quais alguns a consideram responsável, tais como bombas de hidrogênio e poluição” (CHALMERS, 1993, p. 12), a população então, veio perdendo confiança em relação à ciência e a tecnologia.

Além disso, a falta de conhecimento das pessoas sobre o funcionamento da ciência, a pouca participação democrática dos cidadãos em questões relacionados à ciência e tecnologia e a visão elitista e individualista da ciência (discutida no capítulo 4) levou a população a sentir desencanto e distanciamento do conhecimento científico. Entretanto diversos estudos mostram que a maioria da população tem interesse e curiosidade em questões científicas, isto se deve principalmente ao fato de que as pessoas em seu cotidiano se encontram em situações que é essencial entender sobre algum saber científico (CHALMERS, 1993).

A primeira pergunta a se fazer é: as concepções de ciência mudaram com a História? Diversos historiadores e epistemólogos, durante décadas, discutem sobre como o conhecimento científico se desenvolve e quais as visões de ciência que a sociedade constrói.

Segundo Condé (2018), podemos dividir as considerações epistemológicas em duas partes, os pressupostos empiristas lógicos e o construtivismo. Portanto para fins didáticos, dividimos os conteúdos epistemológicos em dois subtópicos, mas é importante salientar que ambas as abordagens influenciaram na visão de ciência

da população dependendo da realidade histórica, científica e social que os personagens estavam envolvidos.

### 3.1.1 EMPIRISMO

Para compreender sobre a gênese do empirismo, é importante entender que a discussão é muito mais complexa e antiga do que vai ser apresentada neste capítulo. Entretanto um panorama geral pode ser desenvolvido para elucidar certas questões epistemológicas que foram discutidas anteriormente e que serão discutidas posteriormente.

“O inglês Francis Bacon foi o precursor da afamada escola britânica de filósofos que inclui Locke, Berkeley, Hume, J. S. Mill e Bertrand Russell.” (STOKES, 2013, p. 125). Para Chalmers (1993), no início do século XVII, Bacon foi um dos primeiros a tentar explicar sobre como a ciência funcionava. Para isto, Bacon tentava dizer que os objetivos da ciência envolviam o melhoramento da vida do homem na Terra, que a partir de observações e por procedimentos rigorosos era possível entender a realidade. Concepções simplistas, mas que produzem frutíferas discussões sobre ciência.

De acordo com Lederman (1992), este tipo de ciência, vista como rígida, salvacionista e neutra até hoje influencia as concepções das pessoas sobre ciência. Um filósofo que problematizou esta questão foi Immanuel Kant:

Se, porém, todo o conhecimento se inicia com a experiência, isso não prova que todo ele derive da experiência. Pois bem poderia o nosso próprio conhecimento por experiência ser um composto do que recebemos através das impressões sensíveis e daquilo que a nossa própria capacidade de conhecer (apenas posta em ação por impressões sensíveis) produz por si mesma, acréscimo esse que não distinguimos dessa matéria-prima, enquanto a nossa atenção não despertar por um longo exercício que nos torne aptos a separá-los (KANT, 2001, p. 1).

A principal característica da corrente do positivismo lógico baseia-se na capacidade cognitiva do ser humano em interpretar o conhecimento. Portanto a partir do êxito dos cientistas experimentais, que entendiam que para compreender a natureza era necessário observar, descrever e tratar os dados para a teoria se malear aos resultados, que a corrente ganhou força, outro fator relevante foi a orientação política neoliberal de Viena (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986).

Primeiramente é importante refletir que o empirismo lógico, a partir de 1922, se fortaleceu principalmente devido ao círculo de Viena formado por Moritz Schlick, Rudolf Carnap, Herbert Feigl, Hans Hahn, Philipp Frank e Otto Neurath. É importante entender que este grupo não trabalhava isoladamente em busca de um método que levaria a ‘realidade’.

Segundo Hahn, Neurath e Carnap (1986), nos dias 15 a 16 de Setembro de 1929, a Sociedade Ernst Mach (da qual Moritz Schlick era o presidente) e a Sociedade para a Filosofia Empírica (Berlim), realizaram um congresso em Praga sobre epistemologia das ciências exatas.

A Sociedade para a Filosofia Empírica de Berlim era formada principalmente por Hans Reichenbach, Walter Dubislav, Richard von Mises e Carl G. Hempel (HAHN, NEURATH; CARNAP, 1986). Historicamente a Europa Continental foi um lugar especial e produtivo na direção de um espírito iluminista e de pesquisa antimetafísica dos fatos, segundo Hahn, Neurath e Carnap:

Na segunda metade do século XIX, o liberalismo era, havia muito, orientação política ali dominante. Seu mundo intelectual provém do iluminismo, do empirismo, do utilitarismo e do movimento do livre-comércio da Inglaterra. No movimento liberal vienense, eruditos de reputação mundial ocuparam posições de liderança (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986, p.6).

Então em Viena, uma cidade relativamente pequena para padrões europeus, tinha personagens como Sigmund Freud, Gustav Klimt, Oscar Kokoschka, Hugo von Hofmannsthal, Arthur Schnitzel, Otto Wagner, Camillo Sitte e Albert Einstein. De acordo com Hahn, Neurath e Carnap (1986), esta atmosfera fez Viena liderar a educação cientificamente orientada.

Graças a este espírito iluminista, Viena liderou a educação popular cientificamente orientada. Fundou-se e levou-se adiante então, mediante o trabalho conjunto de Victor Adler e Friedrich Jodl, a Associação de Educação Popular [Volksbildungsverein] os cursos universitários populares [Volkstümlich Universitätskurse] e a “Casa do Povo” [Volksheim] foram instituídos pelo conhecido historiador Ludo Hartmann, cuja atitude antimetafísica e concepção materialista da história se expressaram em toda a sua atividade. Provém igualmente deste espírito o movimento da “Escola Livre” [Freie Schule], precursor da atual reforma de ensino (HAHN, NEURATH; CARNAP, 1986, p. 7).

Segundo Hahn, Neurath e Carnap (1986), Ernst Mach viveu nesta atmosfera liberal, o físico tinha como pressuposto que a ciência deveria ser purificada de ideias

metafísicas. O sucessor de Mach foi Ludwig Boltzmann também físico, “a atuação dos físicos Mach e Boltzmann em uma cátedra filosófica torna compreensível o fato de reinar vivo interesse pelos problemas epistemológicos e lógicos ligados aos fundamentos da Física” (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986, p. 7).

Um dos esforços do positivismo foi a ideia de uma **ciência unificada**. Através de uma análise lógica da ciência seria possível produzir um conjunto de pressupostos sobre quais todas as ciências seriam reunidas. Um modo único de desenvolver conhecimento que todas as teorias científicas poderiam ser traduzidas a partir destes pressupostos em comum (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986).

Segundo Hahn, Neurath e Carnap (1986), o trabalho desta ciência unificada busca um sistema livre de impurezas, neutro e que tudo fosse acessível ao ser humano. Segundo os empiristas, os conhecimentos estariam disponíveis aos cientistas, isso reforça uma visão simplista e distorcida da atividade científica, como se fosse possível com um conjunto de passos ‘encontrar’ ou ‘descobrir’ o conhecimento.

Outra categoria do empirismo é a **análise lógica**, o que pode ser resolvido pela lógica possui um status científico. A análise lógica consiste em esclarecer problemas e enunciados que podem ser resolvidos por dois caminhos, a partir da análise lógica da linguagem ou pela experimentação. Se a análise lógica da linguagem ou a experimentação forem incapazes de resolver o problema, este problema é considerado como um pseudoproblema. Ou seja, qualquer tese que não pode ser analisada através de aspectos cognitivos, deve ser rejeitada.

Entretanto estas categorias não passaram por significar um projeto do positivismo lógico, ninguém foi capaz de desenvolver algo similar. As dificuldades deste sistema estão ligadas ao fato de que qualquer prática científica parecida se afasta muito da realidade da ciência. Nesta concepção foram desconsideradas o pluralismo metodológico, a história das teorias, a natureza provisória das teorias, as controvérsias, enfim todos os aspectos que fazem a ciência ser ciência.

Para Chalmers (1993), é curiosa a ascensão do positivismo lógico, mesmo após o advento da Física Quântica, da teoria da relatividade, das obras de Karl Popper (1962) e Gaston Bachelard (1996). Todos os exemplos são incomensuráveis em relação ao pensamento hegemônico compartilhado pelos positivistas lógicos.

Diferentemente do positivismo lógico, o falsificacionismo, proposto por Karl Popper (1962), compreende que a observação é orientada pela teoria e a

pressupõe. Uma das características mais essenciais da ciência é que não existe um dogma absoluto e inviolável, a ciência se desenvolve por coletividade e cooperação entre pares. Então é essencial que os conhecimentos e teorias passem por discussões, reflexões, conjecturas e refutações.

Então, segundo Popper (1962), para um conhecimento ser considerado científico ele deve ser **falsificável**. Para os falsificacionistas as teorias que fazem afirmações mais amplas, altamente falsificáveis e que resistem a refutações adquirem um status mais elevado quanto conhecimento. Consequentemente afirmações **infalsificáveis** ou muito específicas (isoladas) não são consideradas científicas ou apresentam baixo status científico (CHALMERS, 1993; POPPER, 2006).

Para Popper (1962), teorias altamente falsificáveis devem ser preferidas às menos falsificáveis. Segundo Chalmers (1993) a qualificação, o status ou a credibilidade são importantes para os falsificacionistas e as teorias que não resistem a refutações devem ser rejeitadas. A falsidade de afirmações universais pode ser deduzida de afirmações singulares disponíveis, esta particularidade da lógica indutiva é explorada ao máximo pelos falsificacionistas.

De acordo com Popper (1962), o desenvolvimento do conhecimento científico inicia-se pelo problema de pesquisa, então as hipóteses falsificáveis são propostas. Estas hipóteses conjecturadas devem ser submetidas por um amplo espectro de testes rigorosos, geralmente desenvolve-se alguma falsificação e um novo problema eventualmente vai emergir neste processo. E assim a ciência segue indefinidamente.

Para os popperianos, não se pode dizer que uma teoria é verdadeira, mesmo após vários testes rigorosos, mas pode-se convencionar que a teoria em desenvolvimento é superior a suas predecessoras, pois foi capaz de superar os testes que falsificaram as teorias anteriores.

Uma das críticas desta abordagem é a relação com a natureza provisória e dinâmica do conhecimento científico. Existem teorias que não são imediatamente falsificáveis e podem levar a resultados significativos futuramente (CHALMERS, 1993).

O empirismo deixa de levar em consideração aspectos essenciais da Natureza da Ciência (NdC), nem o positivismo lógico, nem o método falsificacionista possibilitam uma caracterização realista da gênese da HFSC, portanto o próximo

tópico considera os aspectos do construtivismo, que segundo Condé (2018), compreende reflexões epistemológicas essenciais da HFSC.

### 3.1.2 CONSTRUTIVISMO

No tópico anterior vimos que tanto o empirismo quanto o falsificacionismo apresentam limitações significativas em explicar a natureza do conhecimento científico. Então este tópico foi dedicado ao pressuposto epistemológico que entende que a ciência se desenvolve na interação não neutra entre sujeito e objeto.

O programa de pesquisa de Lakatos parte do pressuposto que as teorias devem ser entendidas como estruturas historicamente organizadas, é através destes programas que os conceitos adquirem significado (CHALMERS, 1993). O outro pressuposto, segundo Lakatos (1979), envolve sobre a necessidade de a ciência crescer. Assim a metodologia dos programas de pesquisa foi uma tentativa de melhorar o falsificacionismo popperiano e superar as objeções a ele.

Esta metodologia necessita de envolvimento do pesquisador com processos cognitivos para resolver problemas, somados à criatividade e ao pensamento coletivo. Para Lakatos (1979) o processo pode ocorrer inconscientemente e mesmo os profissionais experientes reproduzem naturalmente os pressupostos compartilhados pelo grupo ao qual pertence. Esses processos cognitivos são chamados de heurística.

A **heurística negativa** envolve a estipulação de que as suposições básicas subjacentes ao programa, seu núcleo irreduzível, não devem ser rejeitados ou modificados. [...] A **heurística positiva** é composta de uma pauta geral que indica como pode ser desenvolvido o programa de pesquisa. Um tal desenvolvimento envolverá suplementar o núcleo irreduzível com suposições adicionais numa tentativa de explicar fenômenos previamente conhecidos e prever fenômenos novos (CHALMERS, 1993, p.112, grifo nosso).

De acordo com Lakatos (1979), os programas podem ser progressivos ou degenerescentes, dependendo do fracasso ou sucesso em relação à predição de fenômenos novos.

Outra categoria de Lakatos (1979) é o **núcleo irreduzível**. Este aspecto pode ser entendido como a característica que define a metodologia do programa, assume a forma de alguma hipótese geral que constitui a base a partir do qual o

programa deve se desenvolver. Por exemplo, o núcleo irreduzível de Becquerel foi a ‘conjectura de Poincaré’.

O **cinturão protetor**, segundo Lakatos (1979), consiste de hipóteses auxiliares, suposições subjacentes e também em proposições de observação que suplementam o núcleo irreduzível.

Para compreender sobre as críticas aos programas de pesquisa de Lakatos, é importante ter em mente as condições para qualificar um programa de pesquisa: (1) um programa de pesquisa deve possuir um grau de coerência que envolva um mapeamento de um programa definida para a pesquisa futura; (2) um programa de pesquisa deve levar à descoberta de fenômenos novos, ao menos ocasionalmente; (3) qualquer movimento é permitido, contanto que não seja ad hoc; e (4) modificações ao cinturão protetor de um programa de pesquisa devem ser capazes de serem testados independentemente.

Para entender como a condição 1 é problemática, podemos refletir sobre os méritos de um programa de pesquisa à medida que eles estejam progredindo ou degenerando em relação ao cinturão protetor. E conseqüentemente levar em consideração a condição 2, com a descrição de novos fenômenos.

A dificuldade destes critérios está centrada pela relatividade do fator tempo. Para exemplificar, “mais de 70 anos passaram-se antes que a previsão de Copérnico a respeito das fases de Vênus fosse confirmada” (CHALMERS, 1993, p.118). Portanto um programa de pesquisa degenerescente pode levar a resultados futuros que trazem o programa para uma nova fase progressiva.

As condições 3 e 4 possuem dificuldades devido à natureza do trabalho científico. Existem diversas teorias científicas que não são imediatamente testáveis ou reprodutíveis, exemplos são as teorias do *Big Bang* e a *evolução das espécies* de Darwin.

Conforme estas condições e restrições, não se pode afirmar que um programa de pesquisa é melhor que outro. Outro epistemólogo que entende que uma teoria científica é uma estrutura complexa é Thomas Kuhn. O cientista iniciou sua carreira como físico e voltou sua atenção para a História da Ciência. As categorias aqui discutidas estão em seu livro *A estrutura das revoluções científicas*, publicado em 1962.

De acordo com Kuhn (1962), o progresso da ciência pode ser compreendido a partir de períodos. O período da **ciência normal** é o momento que um **paradigma**

orienta a atividade científica estruturada e dirigida. Um paradigma é composto de suposições teóricas gerais, leis e técnicas para sua aplicação adotadas por uma comunidade científica específica. Para Kuhn (1962) é de natureza de o paradigma iludir uma definição precisa.

Segundo Kuhn (1962), um cientista trabalhando no período de ciência normal parte do pressuposto que o paradigma será a solução dos problemas. Se o problema persistir o fato é considerado como uma **anomalia** ao invés de uma falsificação.

Problema de pesquisa dentro de um paradigma não constitui uma crise ou anomalia (CHALMERS, 1993). Uma anomalia será considerada particularmente séria se contrariar os próprios fundamentos de um paradigma e resistindo persistentemente às tentativas dos membros de uma comunidade científica para removê-la. A seriedade de uma crise se fortalece quando aparece um paradigma rival.

Para Kuhn (1962), não existe um critério específico capaz de julgar o mérito ou a promessa de um paradigma melhor do que outro. Quando dois paradigmas não são capazes de sobreposição, são chamados por Kuhn (1962) de **incomensuráveis**.

O período de **revolução científica**, segundo Kuhn (1962), corresponde ao abandono de um paradigma e adoção de um novo, não por um cientista, mas pela comunidade científica como um todo.

Kuhn (1962) alerta que se todos os cientistas trabalhassem sempre no período de ciência normal, a ciência seria rígida, ficaria presa em um paradigma e não progrediria para além dele. Portanto segundo Kuhn (1962), o progresso da ciência acontece por meio das revoluções. Finalmente após o período de revolução científica, inicia-se um novo período de ciência normal e o novo paradigma pode ser aprofundado.

Thomas Kuhn (1962), ao fazer referência ao livro de Ludwik Fleck, *Gênese e desenvolvimento de um fato científico* (1935), despertou o interesse de filósofos e historiadores pelo médico, microbiologista, filho de judeus poloneses e que hoje é considerado, também, um epistemólogo da ciência.

Segundo Condé (2012), dentre as razões que podem ter dificultado a divulgação do pensamento epistemológico de Fleck estão: as dificuldades trazidas pela segunda guerra mundial; a originalidade de sua obra para época; o fato de



Fleck que não era profissionalmente inserido em uma comunidade de filósofos, historiadores e sociólogos; e a dificuldade de acesso das línguas nas quais Fleck escrevia (Polonês e Alemão).

Na época em que Fleck era professor e chefe do Departamento de Microbiologia no Instituto Médico Ucraniano, a Alemanha Nazista ocupou Lwów, em 1941, e Fleck foi obrigado a deixar seus cargos (FEHR, 2012; SCHÄFER; SCHNELLE, 2010). Ao ser preso e deportado com sua família para alguns campos de concentração, foi obrigado a fabricar vacinas para os militares. Fleck e prisioneiros então começaram a produzir uma vacina sem efeito que foi fornecida em grande quantidade à SS (*schutzstaffel*)<sup>12</sup>, enquanto as vacinas com efeito foram usadas para os prisioneiros no campo de concentração (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010).

O próprio Fleck comenta o episódio que foi publicado primeiro na Suécia, em 1944 e depois, em 1945, em alemão (FEHR, 2012):

Como se pode perceber, há um exagero nessa história. A verdade é que o Dr. Schwanenberg insistiu que eu incluísse o Dr. Miller de Berlim no time para a produção de vacina. Mas ou o alemão era um péssimo aluno, ou eu fui um professor ruim. De qualquer forma, depois de pouco tempo, eu, minha família, Dr. Umszewicz com sua família, Dr. Zeimann com sua família e o técnico A. Abramowicz fomos presos e enviados a Auschwitz (FLECK, 2009, p. 44).

Ludwik Fleck, sua mulher Ernestina Fleck e seu filho sobreviveram à guerra, todos os outros membros da família Fleck morreram durante a guerra (SCHÄFER, SCHNELLE, 2010). Após a liberdade do campo de concentração de Buchenwald, Fleck ainda realizou uma carreira acadêmica e profissional impressionante.

Sobre o pensamento teórico de Fleck, sabe-se que existiram influências de diversas reflexões em sua epistemologia. Um aspecto essencial é que a **cognição é um elemento socialmente condicionado**, como torna claro no trecho que segue:

Qualquer teoria do conhecimento que não leve em conta, de maneira fundamental e detalhada, essa dependência social de todo conhecimento é dispensável. Mas aqueles que consideram a dependência social como um mal necessário e uma lamentável imperfeição humana a ser combatida, não

---

<sup>12</sup> A Schutzstaffel (abreviada como SS) foi uma organização ligada ao partido nazista e a Adolf Hitler. Inicialmente essa pequena unidade paramilitar fortaleceu-se, agregou quase um milhão de homens e teve grande influência no Terceiro Reich. Sob o comando de Heinrich Himmler a SS foi responsável por muitos crimes contra a humanidade durante a Segunda Guerra Mundial.

sabem que sem condicionamento social simplesmente nenhuma cognição é possível (FLECK, 1979, p 43).

Foi a partir de elementos sociais que Fleck definiu o tema do seu estudo de caso: a reação de Wassermann relacionada com a sífilis (MASSONI; MOREIRA, 2015). Historicamente a sífilis estava associada a guerras, fome e epidemias, além disso, também foi associada a um castigo pela luxúria. Então “a epidemia fornecia o material; a necessidade, o estímulo à pesquisa.” (FLECK, 2010, p. 41).

É importante deixar claro que apesar do **fato científico** ser fruto de um produto social, ele não é algo evidente. Então para Fleck (2010), fatores externos à ciência, por exemplo, a destinação de verbas à pesquisa, a realidade histórica, a disponibilidade tecnológica, entre outros, influenciam a atividade científica.

De acordo com Fleck (2010), uma teoria do conhecimento individualista conduz uma concepção fictícia e inadequada de ciência. Pensar para Fleck é uma atividade coletiva que apresenta uma história, um conjunto de conhecimentos, condições sociais e culturais que estimulam o processo do conhecimento. Segundo Fehr (2012) os **coletivos de pensamento** não estão limitados apenas à esfera científica, é possível observá-los em campos como a política, o exército, a religião, a universidade e etc.

Então o aspecto que Fleck (2010) enfatiza é que entre a relação do sujeito e o objeto de estudo existe um terceiro elemento, o coletivo de pensamento. A comunidade tem sua própria dinâmica, seus valores, normas e procedimentos, estruturam-se com características sociais estáveis, existem aqueles com mais experiência e outros que atuam compartilhando o **estilo de pensamento** que é vigente na comunidade de pesquisadores.

Segundo Fleck (2010), o estilo de pensamento pode ser compreendido como o conjunto de pressupostos e práticas, compartilhados pelos cientistas, adotados na pesquisa científica. Contrariamente ao empirismo-lógico, estes pressupostos compartilhados pelos coletivos de pensamento direcionam a habilidade do pesquisador observar, ou seja, os cientistas não trabalham de forma neutra e o estilo de pensamento influencia toda sua atividade científica. Portanto para Fleck (2010), Fehr (2012), Schäfer e Schnelle (2010), a condição social da cognição e do conhecimento não se trata de um observar ingênuo, o desenvolvimento do processo ocorre através da iniciação teórica, prática, histórica, científica, tecnológica e social dos estudos.

De acordo com Condé (2003), ao invés do termo incomensurabilidade, Fleck reconhece que diferentes estilos de pensamento podem ter dificuldades de comunicação. Entretanto é importante esclarecer que não significa que estes pressupostos estão totalmente fragmentados, eles podem ser compartilhados tanto pelo que Fleck chama de tráfego **intracoletivo de pensamento e intercoletivo de pensamento**. O primeiro geralmente é compartilhado dentro do **círculo esotérico**, quando pesquisadores de áreas do conhecimento próximas relacionam conhecimentos. O segundo depende da comunicação com o público do **círculo exotérico** e com as diversas áreas do conhecimento (FLECK, 2010).

Outro fator relevante da teoria da ciência de Fleck (2010) é sobre como a ciência se desenvolve. Enquanto Kuhn (1962) entende que a ciência se desenvolve a partir das 'revoluções científicas', Fleck apresenta a ideia de **mutação do estilo de pensamento**. Esta mutação pode ser proveniente de mudanças, aumento ou ampliação do conhecimento científico, não deve ser entendida como uma ruptura completa, mas uma reorganização das práticas e teorias científicas (CONDÉ, 2003).

Os aspectos históricos foram determinantes para compreender porque a obra de Fleck demorou tantos anos para ser divulgada no âmbito da História, Filosofia e Sociologia das Ciências. De acordo com os principais historiadores da epistemologia de Fleck o livro *Gênese e desenvolvimento de um fato científico* é um marco da teoria das ciências e sua contribuição estende a forma de se entender e desenvolver sobre o conhecimento científico.

### 3.2 A EDUCAÇÃO HFSC

Não é recente a ideia que a educação levaria ao desenvolvimento econômico e social. Vinculado a esta ideia, as pessoas também acreditavam que a ciência seria capaz de melhorar a vida do homem na Terra e salvar a humanidade de problemas (SANTOS; MORTIMER, 2000; CHALMERS, 1993). Entretanto, a partir da metade do século XX, a ciência começou a ser ligada a guerras, armas químicas e a degradação ambiental. Neste cenário foi publicado o livro *Estrutura das Revoluções Científicas* de Thomas Kuhn, intensificando as discussões sobre a ciência e como ela se desenvolve.

Neste contexto emerge o movimento pela inserção da HFC na educação. Um dos objetivos principais da HFC era em possibilitar uma imagem mais elaborada ou menos empírica sobre a ciência e seu funcionamento. Este processo de discussão e reflexão levou a mudanças na forma de enxergar a educação, em nível básico e superior.

Posteriormente foi desenvolvida a denominação História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC), visando destacar a Sociologia da Ciência. Mesmo que a Sociologia já estivesse presente nas questões de HFC, existem autores que consideram relevante destacar os aspectos da Sociologia da Ciência, que muitas vezes, acaba sendo o menos explorado (ROZENTALSKI, 2018).

De acordo com Rozentalski (2018), com a criação do primeiro periódico dedicado exclusivamente a discussões da HFSC, em 1992, chamado *Science & Education – Contributions from History, Philosophy and Sociology of Science and Mathematics*, as discussões entre ensino, aprendizagem e currículos de ciências adquirem outro patamar.

Em um trabalho publicado neste periódico, Machamer (1998) identificou cinco objetivos gerais da educação HFSC, são eles, (1) refletir sobre a atividade dos cientistas, (2) refletir sobre a natureza e o caráter das teorias científicas, (3) refletir sobre a estrutura da prática científica, (4) os métodos que os cientistas usam e (5) os efeitos da ciência sobre atividades e práticas (atuais e do passado) que são parte da sociedade.

A reflexão destes aspectos forma um cidadão comprometido democraticamente. Por exemplo, no momento de opinar sobre a destinação de auxílio para a ciência e tecnologia, certas pessoas pensam apenas em função da economia, resultados e retorno financeiro. Um cidadão consciente, antes de opinar, pensa também nos impactos destas pesquisas para a sociedade, nas questões éticas da ciência, no impacto ambiental, nos efeitos sobre a saúde. Isso poderia, com o tempo, conscientizar a população sobre o que é realizado nas Universidades.

Entretanto realizar estas discussões no ensino e educação não é uma tarefa simples e direta. Como enfatiza Klopfer (1969), uma História da Ciência centrada em nomes, datas, ano de nascimento e morte pode passar uma imagem distorcida da real prática científica, quando se destacam apenas os grandes nomes de cientistas famosos e algumas pontuais realizações o professor está transmitindo uma visão

pouco elaborada da NdC, que se chama visão elitista e individualista da ciência (aspecto melhor explicado no próximo capítulo).

Ou seja, desenvolver HFSC em sala de aula não é apenas mencionar alguma história científica. Segundo Zanetic (1990), as relações entre HFSC implicam que o aluno comece a relacionar a ciência escolar com a realidade histórica e social que levaram os cientistas a desenvolverem aquele conhecimento. Assim, a abordagem HFSC deve problematizar as controvérsias de modo que estudantes reflitam sobre seu compromisso social.

Este tópico visa proporcionar uma visão ampla a respeito do que vem sendo trabalhado sobre HFSC no Ensino e Educação em Ciências. Então, primeiramente exploramos como os currículos tratam os conteúdos estruturantes e a relação com HFSC. Posteriormente apresentamos como vem sendo trabalhada a HFSC na educação, as abordagens e as estratégias didáticas que vem sendo desenvolvidas.

Como neste trabalho o interesse principal consiste nas discussões sobre ciência, vamos fundamentar como a discussão de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos possibilitam, além de entender os conteúdos científicos, compreender sobre ciência.

### 3.2.1 CURRÍCULO HFSC

Segundo RozentalSKI (2018), a partir da segunda metade do século XX, a inclusão da HFC se fortaleceu principalmente nos Estados Unidos da América (EUA). O químico, historiador e presidente da Universidade de Harvard, James Bryant Conant implementou estudos de casos históricos, com o intuito de formar cidadãos com uma cultura mais ampla (ROZENTALSKI, 2018).

De acordo com Conant (1957), a especialização científica dificulta o entendimento da linguagem científica por parte do público não iniciado. Então para diminuir esta distância, o autor defendeu que o desenvolvimento de estudos de casos históricos seria uma opção significativa.

Os estudos de casos históricos proposto por Conant (1957) tinham como objetivos: 1. Promover compreensões sobre as dificuldades no processo de desenvolvimento científico; 2. A criação de novas abordagens ao longo do desenvolvimento da ciência; 3. O papel da observação e do experimento na

produção de novos conhecimentos; 4. As condições nas quais as ideias (teorias) são modificadas ou substituídas; 5. O papel do conhecimento prévio na realização, planejamento e controle de experiências; 6. A relação entre ciência e tecnologia; 7. O papel da comunidade científica; e 8. A relação entre ciência e sociedade.

Muitos dos objetivos descritos por Conant fazem parte dos objetivos da visão consensual de NdC, discutida no capítulo 4 desta dissertação. Segundo Rozentalski (2018), alguns anos depois da iniciativa de Conant, o ensino básico dos EUA, com o intuito de diminuir a evasão escolar e melhorar o rendimento dos alunos nas avaliações, apresentaram propostas relevantes envolvendo a incorporação da HFC na educação.

Então, de acordo com Rozentalski (2018), foram desenvolvidos projetos curriculares como Physical Science Study Committee (na Física), o Harvard Project Physics (na Física), o CHEM Study e o Chemical Bond Approach (na Química) e o Biological Science Curriculum Study (na biologia). Segundo Nardi (2005), a partir de parcerias entre os EUA e o Brasil, estes materiais foram traduzidos e aplicados em curso de licenciatura e escolas brasileiras.

Além destes novos currículos, outro fator fundamental para começar a implementar abordagens históricas, filosóficas, e sociológicas no ensino foi a crescente quantidade de eventos e periódicos científicos. Então, em 1992, a partir das contribuições da HFC, a educação, o ensino, a aprendizagem e currículos ganham um periódico dedicado a estas questões a *Science & Education*.

Segundo Matthews (1994), os currículos que envolvem as discussões sobre HFC devem ser elaborados para:

1. Promover melhor compreensão dos métodos e conceitos científicos;
2. Conectar o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas;
3. O valor intrínseco em se compreender importantes episódios da História da Ciência e cultura – a Revolução Científica, o Darwinismo, a penicilina e assim por diante;
4. Contribuir para a compreensão da Natureza da Ciência;
5. Combater o cientificismo e dogmatismo que são comumente nas aulas e textos de ciências;
6. Humanizar a ciência; e
7. Integrar diferentes disciplinas científicas e acadêmicas.

Percebe-se que todas as categorias envolvem aspectos sobre o conhecimento científico e como ele se desenvolve. Todos os currículos que envolvem estas propostas são possíveis para a Educação em Ciências e possibilitam um entendimento científico mais elaborado sobre ciência (ROZENTALSKI, 2018).

Apesar de esta dissertação apresentar estes aspectos resumidos e objetivamente, é importante entender que destacar a HFSC no ensino envolve um grande desafio contemporâneo. Estes materiais possuem uma gênese diferente da que enfrentamos no Brasil, aqui a política de investimento em pesquisa e desenvolvimento de currículos deste porte envolve toda uma mudança de postura pedagógica que reflita sobre que alunos queremos formar. Deste modo, é preciso revolucionar a realidade brasileira à esses currículos.

Mesmo assim, os estudos sobre HFSC recebem atenção mundial e influenciam no desenvolvimento de currículos de ciências que objetivam por construir uma visão mais elaborada da ciência e do cientista. RozentalSKI (2018), afirma que até 1960 os currículos incorporavam a perspectiva que estudantes aprenderiam ciências fazendo ciência. Depois deste período inicia-se a análise das implicações históricas, filosóficas e sociais sobre ciência e tecnologia.

A partir disso, o currículo HFSC seria uma integração entre a equipe pedagógica e a realidade histórica, filosófica e social para promover, tanto o entendimento dos conteúdos puramente científicos, como os fatores que levaram ao processo de construção do conhecimento científico (ROZENTALSKI, 2018).

### 3.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DA HFSC NA EDUCAÇÃO

RozentalSKI (2018), discute razões para implementar HFSC no ensino; desafios e obstáculos em levar HFSC para sala de aula; e recomendações e estratégias de como abordar HFSC na educação. O autor afirma que assim como a ciência, as discussões sobre HFSC estão em constante transformação. Ou seja, a natureza do conhecimento científico é provisória e socialmente construída. Devem-se problematizar as controvérsias históricas, a provisoriedade e a incerteza das teorias científicas.

Os currículos HFSC devem discutir a ciência nos seus aspectos históricos, filosóficos e sociológicos. Portanto estes currículos envolvem a relação de aspectos como: a interferência da realidade histórica na prática científica; a responsabilidade ética e social dos cientistas; como a política influencia nas pesquisas científicas; e a relação entre ciência, tecnologia e sociedade (ROZENTALSKI, 2018).

Assim ao invés de abordar apenas os produtos da ciência, os currículos devem abordar a construção do conhecimento científico e conseqüentemente existe a necessidade de que se discutam aspectos relacionados à HFSC. Dessa forma tanto os alunos que não querem seguir estudando ciências e os que querem ser cientistas podem entender sobre ciência. O que é muito diferente da prática pedagógica corriqueira, que apenas apresenta as fórmulas prontas, com macetes para serem decorados e colocados nas provas (ROZENTALSKI, 2018; SANTOS; MORTIMER, 2000).

Os desafios para implementar a abordagem HFSC no ensino, segundo Forato, Pietrocola e Martins (2011) envolvem (1) a seleção do conteúdo histórico, o conteúdo deve ser inteligível aos estudantes e factível de ser abordado pelo professor, (2) tempo didático, envolve tanto o tempo do ensino quanto o tempo de aprendizagem, (3) nível de aprofundamento, significa na avaliação dos detalhes que devem ser enfatizados e omitidos sem comprometer a qualidade da aula, (4) relativismo, não significa a ausência de parâmetros objetivos, (5) inadequação de trabalhos históricos especializados, os trabalhos devem passar por um processo de didatização para torná-los compreensíveis aos estudantes, (6) uso ingênuo da história, pode contrariar os objetivos do ensino, (7) formação do professor, o professor precisa estar instrumentalizado com elementos que habilitem para desenvolver a prática.

Além destas dificuldades, Klopfer (1964) e Saito (2010) salientam que a História da Ciência não deve se tornar uma metodologia de ensino. A abordagem deve ser encarada como um meio para ilustrar e promover as discussões científicas. Ou seja, nada adianta utilizar o que vem sendo chamado de **abordagem factual da ciência**. Segundo os autores, esta abordagem se baseia em linhas temporais de sucessão simples e não problemáticas, consiste em guiar os alunos a responder a questão: Quem descobriu? Então, pensando nisso Martins (1990) exemplifica as abordagens que podem resultar em concepções pouco elaboradas na educação, são elas:



**Ensino cronológico da História da Ciência:** baseia-se na apresentação de nomes de cientistas famosos e na sequência em que as descobertas foram feitas. Segundo Martins (1990) esta abordagem pouco contribui para um entendimento sobre ciência, apenas que estudantes colecionem certos episódios.

**Ensino por meio de anedotas:** busca relatar uma situação, ou comportamento ou uma ação do cientista que seria incomum ao que as pessoas esperam. Esta abordagem desenvolve uma imagem mitificada da ciência e do cientista (MARTINS, 1990).

**Ensino autoritário da História da Ciência:** invoca o peso de autoridades consagradas para reprimir dúvidas e impor doutrinas, por exemplo, ‘a teoria da evolução das espécies é verdadeira porque Darwin desenvolveu’. Esta abordagem vai contra os objetivos de ensinar sobre a HFSC reforça uma visão elitista e individualista da ciência, uma visão considerada pouco elaborada da ciência (MARTINS, 1990; ROZENTALSKI, 2018; GIL-PÉREZ ET. AL., 2001).

Dentre as estratégias de como levar HFSC para o ensino, Klopfer (1964), Martins (1990) e RozentalSKI (2018) destacam os estudos de casos históricos. Segundo estes autores esta abordagem possibilita um aprofundamento do processo histórico do desenvolvimento do conhecimento científico. O material deve ser construído a partir de fontes primárias (textos dos próprios cientistas) e por fontes secundárias (textos de historiadores).

Assim a elaboração de estudos de caso históricos envolve as controvérsias, as tensões e os problemas. Por isso, a abordagem é capaz de mostrar o papel das teorias que fundamentam as pesquisas, as influências externas na prática científica, o pluralismo metodológico e o aspecto coletivo e social da ciência.

No quesito da Filosofia, os currículos HFSC buscam “promover melhores compreensões sobre a ciência entre estudantes do ensino básico, futuros cientistas e professores dos diferentes níveis de ensino” (ROZENTALSKI, 2018, p. 62). Então segundo Delizoicov (1996) as contribuições de filósofos como Popper (1962), Lakatos (1979), Kuhn (1962), Fleck (1935), Bachelard (1996) e Feyerabend (1977) promovem uma ressignificação na visão de ciência rígida, pronta, acabada e imutável. Para implementar a Filosofia da Ciência no ensino é importante conhecer a ideias destes filósofos para que o professor possua subsídios no seu discurso.

Pensando nisso, Grüne-Yanoff (2014) aponta três obstáculos que devem ser levados em consideração em uma aula de Filosofia da Ciência, são eles: (1) a

maioria dos estudantes não possui treinamento em humanidades que vá além do aprendido no ensino básico, e não sabe o que esperar de um curso de Filosofia da Ciência; (2) muitos estudantes não têm motivação intrínseca para escolher tal curso; e (3) muitos estudantes não tem conhecimento sobre o que é a pesquisa científica, tampouco a vivenciaram.

Para superar o primeiro obstáculo, o professor não deve tratar as ideias, teorias e ferramentas como óbvios e claros para o estudante. O professor deve se esforçar para buscar familiaridades, fornecer esclarecimentos e estabelecer relações entre os temas e o conteúdo em estudo (GRÜNE-YANOFF, 2014).

A fim de motivar os estudantes em um curso de Filosofia da Ciência, o professor deve explicitar os objetivos da disciplina. A estratégia proposta por Grüne-Yanoff (2014) é problematizar os conteúdos reais da ciência, mostrando as motivações para se desenvolver uma pesquisa científica.

O terceiro obstáculo, para Grüne-Yanoff (2014), também pode ser minimizado pela utilização de estudos de casos históricos. Os textos devem contemplar as discussões sobre ciência e uma aproximação com a prática científica. Esta prática tem como objetivo desmistificar a visão de que a ciência é praticada por gênios de inteligência fora do normal e mostrar um aspecto mais realista da prática científica.

No quesito Sociologia da Ciência, Cunningham e Helms (1998) descrevem que os currículos HFSC buscam evidenciar como a ciência é praticada e construída pela sociedade, estimulando a prática democrática. Isto pode ser percebido quando os estudantes entendem que suas atitudes afetam a sociedade, por exemplo, quando mudam seus hábitos com o descarte de resíduos.

Assim como nas abordagens históricas e filosóficas, segundo Cunningham e Helms (1998), a Sociologia da Ciência também enfrenta dificuldades e obstáculos para desenvolver a abordagem na educação, são eles: (1) a falta de conhecimentos sobre aspectos da Sociologia da Ciência, e de preparação quanto a como ensiná-los, por parte da maioria dos professores; (2) professores devem reconsiderar não somente os conteúdos que ensinam, mas também repensar seu papel em sala de aula; (3) a estrutura tradicional e conservadora da ciência escolar; (4) a escassez de materiais didáticos tanto para professores quanto para estudantes; e (5) como avaliar a aprendizagem dos estudantes.

As três primeiras dificuldades, segundo Cunningham e Helms (1998) podem ser trabalhadas a partir de cursos de formação de professores. Estes cursos devem envolver o desenvolvimento pedagógico do conteúdo (como ensinar), habilidades para instrumentalizar o professor na prática docente.

A respeito da categoria quatro e cinco, Cunningham e Helms (1998) discutem que muitos materiais didáticos têm sido produzidos nas perspectivas 'Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente' (CTS e CTSA). Os materiais didáticos devem incluir explicitamente os aspectos sociológicos, ajudar o professor a organizar as atividades e detalhar as compreensões necessárias para as avaliações. Mostrando que a HFSC e o enfoque CTS estão interligados.

Conforme discutido, este trabalho entende que para implementar a Sociologia da Ciência na educação é necessária uma mudança cultural por parte de professores e pesquisadores, "as contribuições da sociologia da ciência não podem ser vistas como marginais diante dos aportes da História da Ciência e da Filosofia da Ciência." (ROZENTALSKI, 2018, p. 100).

Para articular todas as partes da HFSC evidenciando as relações, o professor pode além de trabalhar aspectos da NdC, desenvolver com os alunos temas históricos, filosóficos e sociais, como a história da radioatividade, epistemologia da ciência, exploração mineral, descarte de lixo, entre outros. Estes temas também podem ser trabalhados de maneira interdisciplinar (ROZENTALSKI, 2018).

Um dos objetivos deste capítulo foi refletir sobre considerações da HFSC na educação e sua gênese. Estes aspectos antecedem as discussões sobre NdC e servem como pressupostos para um entendimento mais elaborado sobre ciência, do cientista e do desenvolvimento do conhecimento científico.

#### **4. NATUREZA DA CIÊNCIA**

Como vimos no capítulo anterior, um dos objetivos da HFSC é possibilitar a compreensão de aspectos da NdC. Da mesma forma que a NdC é concebida a partir de discussões sobre ciência realizadas nas áreas de História, Filosofia e Sociologia da Ciência, e como quaisquer conhecimentos, também apresentam natureza histórica e provisória.

Uma necessidade entre diversos pesquisadores como Norman Lederman (1992), McComas (2014), Vázquez-Alonso (2007), Gil-Pérez (2002) e Breno Arsioli Moura (2014) era em definir o que se entendia por NdC. Entretanto não existe uma definição rígida para a NdC, o que foi desenvolvido vem sendo discutido por historiadores, filósofos, sociólogos e epistemólogos da ciência como Karl Popper (1962), Gaston Bachelard (1996), Paul Feyerabend (1977), Thomas Kuhn (1962), Ludwik Fleck (1935) e outros. A falta de uma definição específica não é inesperada ou impressionante visto que os conhecimentos científicos são dinâmicos, complexos e passam por evoluções (ROZENTALSKI, 2018).

Natural na NdC é o processo de diálogo entre as pessoas sobre as características que envolvem o desenvolvimento do conhecimento científico, que é um processo de discussão e reflexão entre professores e estudantes para evitar visões pouco elaboradas sobre a ciência e sua construção (PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007).

A NdC neste trabalho foi considerada como um aspecto educacional de conhecimento sobre ciência. Portanto as discussões sobre o desenvolvimento do conhecimento científico envolvem sobre o significado da abordagem científica, sua construção como atividade humana, o ser cientista, a realidade histórica e a compreensão de aspectos processuais da ciência.

De acordo com Abd-El-Khalick e Lederman (2000), estudar sobre NdC é buscar compreender como o cientista desenvolve o conhecimento científico em diversos contextos e em cada época, tendo como relevante suas concepções científicas, filosóficas, ideológicas e metodológicas.

De acordo com Santos e Schnetzler (2003) para potencializar a participação democrática em processos decisórios envolvendo ciência e tecnologia, é necessário a problematização da concepção empírico-indutivista da ciência, mais desenvolvida no próximo subtópico desta dissertação.

Conforme mencionado anteriormente, os conceitos de NdC evoluem. Isto ocorre com trabalhos, discussões e reflexões da História, da Filosofia, da Sociologia e das Ciências. Para Abd-El-Khalick e Lederman (2000) os aspectos que se discutem atualmente não devem ser considerados superiores que os anteriores, é necessário descrever os sentidos e os significados diante da realidade histórico e cultural em que foram construídas.

Concomitantemente a educação científica na escola também passou por transformações, o que levou a diversos entendimentos sobre NdC. Segundo RozentalSKI (2018) a renovação na educação nos EUA, nos anos 1950, recebeu forte investimento após o lançamento do satélite artificial *Sputnik* em 1957. Este episódio foi considerado uma consequência de deficiências do sistema educacional do país. A partir de 1960, a maioria dos projetos estava baseada na filosofia de que o estudante aprende ciência praticando ciência, então a experimentação e a investigação científica seriam as principais estratégias para alcançar os objetivos educacionais (ROZENTALSKI, 2018).

Assim para recuperar a hegemonia mundial, os EUA começaram a investir pesadamente na renovação da educação científica, principalmente a partir de 1980. Sobre os currículos, anteriormente organizados de forma disciplinar e baseado na transmissão e memorização de conteúdo, inicia uma renovação curricular para destacar os desenvolvimentos históricos e as relações entre ciência, tecnologia e sociedade (ROZENTALSKI, 2018).

De acordo com Forato, Pietrocola e Martins (2011), promover discussões sobre NdC em sala de aula, contribui para a compreensão, além dos conteúdos científicos, dos conhecimentos que um cidadão do século XXI precisa. Assim os conteúdos técnicos continuam fazendo parte dos currículos e a educação sobre ciência é desenvolvida.

A discussão sobre aspectos de NdC levam os alunos a discutir e refletir sobre como a ciência funciona, as particularidades do trabalho científico, a natureza histórica e provisória dos conhecimentos. Assim as aulas possibilitam que os alunos participem de debates sobre ciência e a tomar decisões responsáveis em sociedade (MOURA, 2014; LEDERMAN, 2000). Para desenvolver uma imagem real sobre ciência, é importante conhecer as discussões no âmbito da HFSC (ROZENTALSKI, 2018).

Então, a NdC está diretamente envolvida com as compreensões sobre HFSC, para isto é fundamental conhecer sua epistemologia e como o conhecimento é desenvolvido. Este envolvimento é essencial para os alunos compreenderem a ciência como um empreendimento humano, com influências históricas, filosóficas e sociológicas. Uma das visões pouco elaboradas descritas por Lederman (1992), Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007) é a concepção rígida, algorítmica, exata e infalível capaz de mostrar uma imagem divergente da ciência real.

De acordo com Reis (2009), Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007) os filmes de ficção científica e as notícias sobre ciência e tecnologia são, para a grande parte da população, a forma de aproximação entre ciência e sociedade. Entretanto as notícias rápidas e os filmes mostram um tipo de pesquisa científica muito diferente da convencional, realizada por gênios da ciência e com conhecimento fora do normal.

Segundo Lederman, Antink e Bartos (2014), a concepção que os professores apresentam sobre a NdC influencia a sua própria prática pedagógicas. Então se o docente apresentar a ciência dos filmes, desenvolvida por cientistas que viajam no tempo e que são incapazes de controlar seu próprio trabalho, os estudantes e cidadãos podem ter dificuldades para distinguir a realidade dos estereótipos. Este panorama ainda se agrava quando as instituições não tem a prática de trabalhar aspectos da NdC na formação inicial e continuada dos docentes.

Então para entender sobre como a NdC pode desenvolver uma visão mais elaborada sobre ciência, os próximos tópicos abordam sobre: 1. O que considerado uma concepção pouco elaborada sobre ciência; 2. O que epistemólogos, a HFSC e a literatura discutem e constroem sobre uma visão mais elaborada sobre ciência; e 3. Como a NdC está presente nas salas de aula.

Conforme se discute na Filosofia da Ciência, a base epistemológica de Popper (1962), Kuhn (1962), Lakatos (1979), Feyerabend (1977) e Fleck (1935) reconhece que o desenvolvimento do conhecimento ocorre pela interação não neutra entre sujeito e objeto. No ensino alunos trazem concepções e conhecimentos anteriores à aprendizagem escolar, é necessário interpretar e reconhecer os conteúdos como historicamente contextualizados de modo a refletir o mundo físico e social.

As compreensões sobre o que é ciência e como ela funciona é concebida a partir de discussões nas áreas de HFSC. Gil-Pérez e Vilches (2005) justificam a importância da NdC para compor uma abordagem que inclui os consensos da História, da Filosofia e da Sociologia da Ciência.

#### 4.1 VISÕES POUCO ELABORADAS SOBRE CIÊNCIA

Inicialmente os estudos sobre NdC procuravam entender quais eram as concepções de alunos e professores em relação à ciência e ao cientista. Então professores e pesquisadores começaram a desenvolver instrumentos para avaliar quais as visões que estudantes e professores entendem do que é ser um cientista.

De acordo com Lederman (1992), a gênese dos estudos sobre NdC envolve a aplicação de questionários conhecidos como Views of Nature of Science (VNOS) Questionnaire. Por volta dos anos 60, os VNOS eram desenvolvidos empiricamente com questões de múltipla escolha após uma intervenção ou sequência didática desenvolvida em sala de aula. As dificuldades desse tipo de pesquisa envolvem que, os alunos não conseguiam interpretar as afirmações da mesma maneira que os professores.

Outra adversidade é o momento de enquadrar as posturas filosóficas com os itens escolhidos pelos alunos. É importante cuidar para não rotular as visões dos participantes como adequadas ou inadequadas, resultados numéricos, baseados na média das pontuações podem não explicar o significado real do fenômeno que está sendo estudado (ABD-EL KHALICK; LEDERMAN, 2000; LEDERMAN et al., 2002).

Uma maneira que resolvia estes tipos de dificuldades foi o desenvolvimento de questionários abertos, quando os alunos podiam escrever sobre a concepção de ciência. Vale salientar ainda que Abd-El-Khalick e Lederman (2000) sugerem a realização de entrevistas com os participantes para que os sujeitos expressem suas próprias concepções acerca da NdC, minimizando uma possível imposição do pesquisador acerca de algum enquadramento filosófico específico. Além disso, o pesquisador pode ainda compreender os motivos que levou o estudante a desenvolver determinada concepção.

Os resultados de Lederman et. al. (2002) apontam diferenças significativas entre as respostas de iniciantes em discussões sobre NdC e estudantes e professores que já desenvolveram alguma atividade relacionada a NdC na formação inicial e continuada. Os iniciantes nas discussões acreditavam que a ciência se desenvolve a partir de observações neutras, objetivas e esquecem-se do papel da teoria durante a observação. Existiria um método específico e que garante resultados praticamente infalíveis.

Já os outros participantes que já tinham participado de discussões sobre NdC, entendiam que as práticas científicas são influenciadas pelas teorias, tentativas de explicar e compreender um fenômeno. Entendiam também que a

ciência é influenciada pela sociedade e a cultura das pessoas que trabalham com as pesquisas. Estes participantes, já iniciados na NdC, compreendem que é possível interpretar um fenômeno por diversos métodos, as metodologias são fundamentadas e servem como pressuposto para o entendimento do fenômeno.

Segundo Moura (2014), nas últimas três décadas, o termo Natureza da Ciência (NdC) tem sido tema em diversas pesquisas acadêmicas e em documentos oficiais para a educação. Lederman (1992), aponta que muitos trabalhos sobre formação de professores, avaliação das concepções de alunos e professores sobre ciência, tentativas de melhorar a concepção de professores sobre NdC e análise de livros didáticos servem de estudo para levantar as concepções que são apontadas sobre NdC.

Krupczak e Aires (2018) mapeiam como estão distribuídas as teses e dissertações brasileiras que abordam sobre NdC e suas tendências na pesquisa. Em 2001, Gil-Pérez et. al. categorizam visões de senso comum, por eles consideradas deformadas de ciência, as quais são corroboradas por vários autores. São elas:

1. Visão empírico-indutivista da ciência: estudantes aprendem que cientistas começam seus trabalhos com uma observação neutra, desprovidas de orientações teóricas, ou revisões bibliográficas sobre o tema. Baseado nessas observações, cientistas criam hipóteses. Após criarem as hipóteses, o cientista produz as 'proposições científicas'. Se essas 'proposições científicas' forem confirmadas por experiências e observações repetidamente, pode-se dizer que a hipótese ganha força e a investigação volta-se para uma compreensão aprofundada do fenômeno (GIL-PÉREZ, 1993; LEDERMAN, 2006; ROZENTALSKI, 2013).

Lederman (2006) destaca que certamente alguns cientistas relatam trabalhos dessa maneira de forma equivocada em reuniões científicas e em periódicos. No entanto essa visão sobre um método científico livre de preconceitos - e que até certo ponto pode nos levar a acreditar na existência de cientistas incorruptíveis, que trabalhariam de uma maneira neutra e não tendenciosa - não acontece na prática científica há muito tempo.

Para Gil-Pérez et. al. (2001) a linguagem lógica, supostamente pura, desviaria a atenção da linguagem cotidiana e seu importante papel nas práticas científicas, nas instituições, enfim, nos próprios conceitos científicos. As experiências e as observações são orientadas por teorias ou leis que já estão escritas na



'literatura especializada' e essas são as orientadoras do 'modo de pensar' na prática científica.

2. Visão rígida (algorítmica, exata, infalível e etc.): o método científico é apresentado como um conjunto de etapas para seguir mecanicamente. Ressalta-se o tratamento cuidadoso, rigoroso, preciso e que garantiria resultados inquestionáveis. Já para Gil-Pérez (1993), Lederman (2006) e Rozentaliski (2013) desenvolver essa forma 'dogmática' de prática científica não reconhece a diversidade de abordagens entre as disciplinas científicas.

Como discutido no capítulo 2, a história da radioatividade é um bom exemplo para exemplificar como diferentes personagens podem interpretar o mesmo fenômeno de diferentes maneiras uma vez que Charles Henry e Gaston Henri Niewenglowski apresentaram trabalhos que confirmavam a 'conjectura de Poincaré' enquanto J. J. Thomson e Lea desenvolveram experimentos semelhantes e a 'conjectura de Poincaré' apresentou resultados negativos.

3. Visão não problematizada e ahistórica: os conhecimentos são transmitidos e memorizados, sem mostrar quais foram os problemas que geraram seu desenvolvimento. Ao invés de apresentar apenas os produtos finalizados da atividade científica, deve-se mostrar como foi realizado o processo de construção do conhecimento científico para a elaboração da teoria. (GIL-PÉREZ ET. AL., 2001; ROZENTALSKI, 2013).

Gil-Pérez (1993), Lederman (2006) e Rozentaliski (2013) apontam que é importante mencionar o contexto da época, quais eram os incentivos para pesquisar o fenômeno naquela comunidade, os cientistas que estavam envolvidos, quem financiava as atividades, onde eram os locais que essas pessoas trabalhavam e etc.

4. Visão exclusivamente analítica: este aspecto evidencia a parcialização e a disciplinarização do conhecimento. Os conteúdos específicos geralmente são apresentados de uma forma distante/separada dos outros conhecimentos, isso reforça uma ideia limitada, simplista e que omite os esforços para a unificação de diferentes modos de pensar sobre ciência (GIL-PÉREZ, 2001; ROZENTALSKI, 2013).

A História e Filosofia da Ciência (HFC) é um exemplo importante de como diferentes campos do conhecimento unificam-se e promovem uma educação sem 'fronteira' entre as disciplinas. A partir da reflexão kantiana, sobre a teoria transcendental empirismo/racionalismo já que "pensamentos sem conteúdo são

vazios; intuições sem conceitos são cegos” (KANT, 1987; p. 273-274), faz Lakatos ressaltar a abordagem histórica da Filosofia da Ciência que entende a História como fonte e/ou sentenças parciais de afirmações filosóficas sobre a ciência. “A Filosofia da Ciência sem a História da Ciência é vazia; a História da Ciência sem a Filosofia da Ciência é cega.” (LAKATOS, 1983, p.107).

5. Sobre a visão acumulativa e de crescimento linear da ciência: discute-se a construção de conhecimento como uma linha homogênea, contínua e acumulativa de práticas, esquecendo as contradições, mutações, crises e controvérsias científicas que ocorreram historicamente, ou seja, o centro do conhecimento científico está nos resultados e informações interessantes sobre processo científico são ignoradas (GIL-PÉREZ, 2001; ROZENTALSKI, 2013).

Bransford, Brown, Cocking (1999) e Rozentalski (2013) apontam que as reflexões sobre os problemas e fatores presentes na pesquisa científica, fazem parte do processo de desenvolvimento do conhecimento científico, esquecer-se das influências de fatores que levaram o cientista a desenvolver seus resultados, pode levar a uma digressão das suas conclusões.

Um exemplo da história da radioatividade foi quando Marie Curie problematizou seus resultados de medida de condutividade com o mineral pechblenda e com o urânio puro, procurar compreender este fenômeno levou a uma contribuição, não apenas pessoal, mas para pesquisas futuras também (MARTINS, 2012; CORDEIRO, 2011).

6. Visão de senso comum: os conhecimentos científicos são apresentados como óbvios claros e não poderiam ser entendidos de outra forma. A motivação de se fazer ciência parte do questionamento do sistematicamente óbvio. Essa visão é reforçada quando apresentamos as fórmulas matemáticas prontas, sem mostrar toda a construção científica que levou até a dedução da fórmula. A formulação das teorias é banalizada como uma simples troca de ideias metodológicas e ignorasse as diferenças que existem de pensamento de senso comum e tratamento científico dos problemas (GIL-PÉREZ, 2001; LEDERMAN, 2006; ROZENTALSKI, 2013).

Uma atividade equivocada na prática docente é a tentativa de simplificar o conhecimento para que os alunos não fiquem preocupados e tensos com as avaliações. O que acontece é que os professores criam músicas, inventam frases, enfim, desenvolvem esquemas voltados para a transmissão e memorização de

conteúdos sem refletir sobre o sentido e os significados do conhecimento que está sendo estudado.

7. Visão elitista e individualista da ciência: as leis e teorias científicas seriam produzidas por gênios isolados e independentes, geralmente homens. Perde-se em vista a natureza corporativa do trabalho científico. Essa concepção mostra o cientista como um 'descobridor' das leis e teorias, e destaca o papel de 'grandes homens' e 'gênios da ciência'. Além disso, essa visão reforça a discriminação social, na qual o trabalho científico seria reservado a minorias intelectuais e ainda a discriminação sexual, pois evidencia a atividade científica masculina (GIL-PÉREZ, ET. AL. 2001; LEDERMAN, 2006; ROZENTALSKI, 2018).

Gil-Pérez (2001), RozentalSKI (2013) discutem em apresentar o desenvolvimento científico como um trabalho coletivo e como fenômeno social e cultural. Um esforço possível é mostrar como a ciência pode ser acessível, com espaços para centros de popularização na ciência, como acontece em eventos científicos populares, um exemplo é o Pint of Science (ciência nos bares) e os museus de divulgação científica.

Contrariamente à visão elitista e individualista, temos um exemplo relevante para ser discutido no Brasil. Um grupo de pesquisa da USP, coordenado por Ester Sabino (diretora de Medicina Tropical da USP) e pela pós-doutoranda Jaqueline Goes de Jesus, sequenciaram, em aproximadamente 48 horas, o genoma do corona vírus (COVID-19). Este trabalho ajudou no desenvolvimento das vacinas, de remédios e no entendimento das mutações do vírus. Além disso, esta pesquisa brasileira desestabiliza a ideia que tais questões são restritas apenas aos países de alto investimento em ciência e tecnologia.

8. Visão descontextualizada e socialmente neutra: a suposta observação neutra dos fatos científicos, defendida pelos empírico-indutivistas, pode infundir a ideia que o processo de desenvolvimento do conhecimento científico estão distantes de aspectos tecnológicos, sociais, religiosos, políticos e econômicos, proporciona uma imagem de cientistas como seres que estão 'acima do bem e do mal' (GIL-PÉREZ, 1993; ROZENTALSKI, 2018; LEDERMAN, 2006).

É importante salientar que podem existir mais visões pouco elaboradas, fora as explicadas acima, e que estes aspectos dificilmente aparecem isoladamente, na prática as visões estão inter-relacionadas. Para exemplificar podemos entender como a visão empírico-indutivista está diretamente relacionada a uma visão de

senso comum, se o conhecimento estivesse pronto, bastaria apenas realizar os passos do método científico para garantir a neutralidade.

Mesmo que o objetivo da educação não seja exclusivamente de alterar as visões dos alunos sobre ciência e os cientistas. O ensino e educação são capazes de proporcionar uma concepção mais elaborada sobre o processo de aprendizagem e de desenvolvimento do conhecimento científico. Conseqüentemente é necessário que alunos e professores participem de reflexões e atividades que promovam e facilitem a construção de um entendimento mais elaborado sobre ciência.

No próximo tópico, são explicitadas as visões elaboradas sobre a NdC que foram desenvolvidas a partir de pesquisadores, cientistas, historiadores, filósofos, sociólogos e são relevantes na Educação em Ciências.

## 4.2 VISÕES SOBRE CIÊNCIA

Apesar de não existir uma definição exata sobre NdC, diversos pesquisadores como Gil-Pérez et. al. (2001), Lederman (1992) e RozentalSKI (2018) se preocuparam em definir o que se entende por NdC. Mesmo sendo praticamente impossível definir precisamente o que é NdC, podemos mencionar duas concepções que são consideradas mais elaboradas sobre ciência: 1. Aspectos consensuais; e 2. Conceito de semelhança familiar.

Segundo Hodson (1985), apesar de diferentes perspectivas filosóficas, existem aspectos que já possuem um elevado grau de concordância entre epistemólogos, filósofos, sociólogos e historiadores da ciência. Constitui-se assim o que vem sendo chamado de abordagem (ou visão) consensual da NdC, “entendida como os aspectos a respeito do empreendimento científico sobre os quais a maioria dos pesquisadores concorda, ou em torno dos quais há pouca discordância” (ROZENTALSKI, 2018, p. 113).

Para RozentalSKI (2018), as considerações sobre NdC não visam a formação de especialistas em HFSC, mas de alunos e professores capazes de compreender e interpretar o conhecimento que está sendo desenvolvido com os estudantes.

Então para construir uma imagem mais elaborada sobre o cientista, o conhecimento científico e a prática científica, em 2014, Silva e Aires elaboraram um

conjunto de categorias que dizem respeito ao enfrentamento das visões pouco elaboradas discutidas no tópico anterior.

A primeira visão consensual é **1. O caráter histórico e dinâmico da ciência**, seu objetivo principal é explicar sobre a natureza histórica e provisória da ciência. Portanto, embora determinadas teorias resistam por séculos (por exemplo, a Física Aristotélica) a ciência é provisória e sujeita a mudanças. Então as leis e teorias estão em constante evolução e não existem verdades absolutas. Esta visão está em desacordo com a corrente do positivismo lógico que se desenvolveu no século XX, a ciência constantemente está sujeita a refutações, não sendo possível garantir que algo é comprovadamente verdadeiro (SILVA; AIRES, 2014; GIL-PÉREZ ET. AL. 2001; LEDERMAN, 2006).

Outro consenso é que não existe um método científico rígido. **O 2. Pluralismo metodológico** consiste em que existem diversas metodologias científicas capazes de produzir conhecimento, um fenômeno pode ser analisado, interpretado e compreendido de diferentes maneiras. De acordo com Gil-Pérez et. al. (2001) e Lederman (2002) o termo método científico dependendo de como ele for mencionado nas aulas de ciências e a forma como é apresentado em livros didáticos pode levar a população a acreditar que existe um conjunto de passos infalíveis que conduzem ao conhecimento.

Em *Contra o Método*, Feyerabend destina um livro para problematizar a visão de um método científico infalível. Segundo Leal (2016), a obra é contribuição para a Filosofia da Ciência em que se questiona sobre as questões de um conhecimento científico institucionalizado e rigoroso. Feyerabend (1977), explica que a ciência deve interagir com diversas formas de conhecimento, para que exista diálogo entre culturas e que o conhecimento não seja exclusivo e contribua para a divulgação científica.

**3. A observação e a experimentação são influenciadas pela teoria e vice-versa.** Relacionado com a ideia que não existe um método científico único, as leis e teorias **não** derivam exclusivamente de experimentos e nem vice-versa. Contrariamente a visão empírico-indutivista da ciência, mesmo quando um experimento pode ser repetido inúmeras vezes, não significa que estes testes comprovam definitivamente as afirmações. (CHALMERS, 1993; GIL-PÉREZ ET. AL., 2001; LEDERMAN ET AL., 2002; PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011). Além disso, não são todas as teorias que podem

ser testadas corriqueiramente, algumas necessitam de tecnologias específicas e outras postulam explicações sobre fenômenos irreprodutíveis e não observáveis.

De acordo com Lederman et. al. (2002) os pressupostos teóricos, conhecimentos prévios, experiências e expectativas dos cientistas influenciam o trabalho científico. Os dados puramente descritos não significam conhecimento. Com base nas teorias que fundamentam o estudo o pesquisador é capaz de atribuir sentidos e significados, e então o conhecimento é elaborado.

Além do mais os pressupostos teóricos possuem papel essencial em mostrar as lacunas e gerar novos problemas de pesquisa. Todos estes fatores segundo Lederman et. al. (2002) afetam as problematizações e a forma como os cientistas desenvolvem suas investigações, o que eles manipulam e como interpretam os fenômenos.

É consenso que a ciência busca leis e teorias para explicar o quanto possível fenômenos e situações mais gerais, para Popper (1962) conjecturas isoladas apresentam baixo status científico. Segundo Gil-Pérez et. al. (2001) este consenso é chamado de **4. Coerência global**. A ideia é problematizar a fragmentação e/ou simplificação do conhecimento, desenvolver explicações aplicáveis a um maior número de fenômenos, “para uma teoria ser aceita não basta um experimento, é necessário obter os mesmos resultados em diferentes situações e a teoria precisa ter coerência global” (GIL-PÉREZ ET. AL, 2001, p. 137).

O aspecto consensual **5. A ciência é uma atividade coletiva, influenciada por fatores externos** considera que a ciência é uma atividade humana, influenciada pelo contexto histórico, social, cultural, econômico e político. Segundo Lederman et. al. (2001) o cientista não é neutro e incorruptível, suas ideias, observações, interpretações e compreensões são influenciadas por suas crenças, valores, metodologias e instituições em que o trabalho é realizado por um coletivo de pesquisadores (SILVA; AIRES, 2014; GIL-PÉREZ ET. AL. 2001; LEDERMAN, 2006).

As pessoas não necessariamente trabalham isoladamente do universo e existem influências internas e externas às instituições que desenvolvem as pesquisas. Então a realidade histórica e social influencia e altera a forma como os cientistas desenvolvem suas pesquisas (GIL-PÉREZ ET. AL., 2001; LEDERMAN, ET. AL., 2002; PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).

Um exemplo de como a ciência é influenciada pelas teorias científicas e pelo contexto social foi o desenvolvimento de um dos primeiros pesticidas, o diclorodifeniltricloroetano (DDT), nos níveis que é usado como inseticida não é tóxico para outros animais, entretanto 30 gramas da dose pode ser letal para um ser humano (COUTEUR, P. L.; J. BURRESON, 1991).

O desenvolvimento deste inseticida está intimamente ligado à malária. Essa doença é transmitida de um ser humano para outro a partir da picada do mosquito anófele. Se os mosquitos (fêmeas) picarem uma pessoa infectada com malária, o mosquito pode continuar o ciclo de vida da doença e transmitirá a outro ser humano (COUTEUR, P. L.; J. BURRESON, 1991).

Segundo Couteur e Burreson (1991), em 1914, nos EUA, mais de meio milhão de casos de malária afetavam a população. Enfim, nem sempre é fácil evitar picadas do mosquito, telas nas janelas não são eficientes e drenar a água estagnada para impedir a proliferação dos mosquitos não era prático para os governos da época, entretanto contra o mosquito anófele a forma de conter a proliferação foi o uso de inseticidas potentes e medidas coletivas de contenção.

Para Couteur e Burreson (1991), durante o século XX, melhores aperfeiçoamentos da saúde pública, melhores condições de habitação, drenagem de águas estagnadas e a facilidade de acesso aos medicamentos contra a malária, fizeram a doença diminuir significativamente na Europa e na América do Norte. O DDT foi o episódio final para eliminar a doença em países desenvolvidos.

Assim segundo Couteur e Burreson (1991), quando a pulverização com DDT começou, por volta de 1955, cerca de 1,8 bilhão de pessoas viviam em áreas maláricas. Então, em 1969, a malária já havia sido erradicada para quase 40% destas pessoas e em 1975 a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que a Europa estava praticamente livre da malária.

Entretanto estes aspectos consensuais não são únicos e exclusivos, de acordo com a própria natureza provisória do conhecimento científico, estas visões podem evoluir e somente estes aspectos não são suficientes para definir tudo o que a NdC envolve. Existem outras pesquisas, como por exemplo, de Azevedo e Scarpa (2017), que realizando uma revisão bibliográfica em artigos de revistas científicas na área de educação e ensino descrevem 25 aspectos consensuais sobre ciência, este tipo de dado demonstra a variedade de aspectos e visões sobre ciência que podem ser considerados quando se estuda sobre NdC.

A outra forma que vem sendo desenvolvida sobre NdC é o que vem sendo chamado de conceito de semelhança familiar. O conceito desenvolvido por Irzik e Nola (2011), é uma forma que os autores consideram mais dinâmica e diversa em relação aos aspectos consensuais da ciência. Assim Irzik e Nola (2011) acreditam que apesar dos aspectos consensuais serem considerados adequados, a ciência não é uma construção simples e a descrição por meio de listas de aspectos consensuais pode levar aos estudantes relacionarem a NdC como uma ciência fixa e atemporal.

Segundo Irzik e Nola (2011), o conceito de semelhança familiar baseia na ideia características comuns. Quando aplicada para a ciência podemos entender que existem características comuns na prática científica e algumas diferentes. Então, segundo Moura (2014), para investigar sobre como a ciência funciona, deve-se levar em consideração as semelhanças em seus objetivos ou em seus produtos, como se fossem traços característicos de uma mesma família.

Irzik e Nola (2011) trabalham com quatro categorias de semelhança familiar: 1. Atividades; 2. Objetivos e valores; 3. Metodologias e regras metodológicas; e 4 produtos. O conceito de semelhança familiar pode ser exemplificado relacionando as áreas de eletromagnetismo e geociências, então “podem ter objetivos, metodologias e fundamentos diferentes, mas possuem semelhanças entre si que as caracterizam como áreas da ciência.” (MOURA, 2014, p. 35). As categorias propostas por Irzik e Nola (2011) estão descritas a seguir:

Segundo Irzik e Nola (2011), as práticas científicas como observar e experimentar são ações tipicamente científicas e constituem a categoria **1. Atividades**.

Para exemplificar, Irzik e Nola (2011) explicam sobre as diferenças no ato de observar na astronomia e na arqueologia. Então o astrônomo deve ter habilidade em posicionar o telescópio, enquanto que o arqueólogo deve ser capaz de diferenciar fósseis e rochas. Estes tipos de atividades são chamados de atividades observacionais (MOURA, 2014).

A calibração de instrumentos científicos, o planejamento, a criação e realização de experimentos são chamadas de atividades materiais (IRZIK; NOLA, 2011).

Problematizar e buscar soluções são práticas fundamentais da atividade científica, então de acordo com Irzik e Nola (2011), é importante o uso de métodos



adequados para aplicar equações a casos concretos, este tipo de prática é chamado de atividades matemáticas.

Em resumo as atividades científicas podem ser observacionais, materiais ou matemáticas. Enfim, para Irzik e Nola (2011), pensando de modo amplo ou geral, todas as ciências terão práticas observacionais, mas de um ponto de vista mais específico (refinado) as práticas observacionais não serão idênticas, como no exemplo da arqueologia e da astronomia.

A categoria **2. Objetivos e valores** se referem aos propósitos e valores da ciência (MOURA, 2014). De acordo com Irzik e Nola (2011), as ciências buscam realizar previsões, fornecer explicações, e verossimilhança. Para os autores as diferenças de valores nas ciências são reflexos da concepção filosófica de ciência.

Então, elevada confirmação por experimentação são realizadas por empiristas, o realismo científico também está próximo da filosofia de Popper, o pluralismo metodológico de Feyerabend vai contra a visão rígida e infalível do método, as rupturas e revoluções são preferidas pelos Kuhnianos e a ciência como uma atividade socialmente construída e compartilhada são pressupostos de Fleck.

Portanto segundo Irzik e Nola (2011), os objetivos e os valores estão diretamente relacionados com os critérios de preferência para os pressupostos teóricos e metodológicos que fundamentam as pesquisas. Isso leva a categoria **3. Metodologias e regras metodológicas**.

A terceira categoria, de acordo com Irzik e Nola (2011), entende que as pesquisas não são desenvolvidas aleatoriamente, mas que existem diferentes métodos dependendo da área do conhecimento. Semelhantemente à visão consensual da ciência, não há uma metodologia única e que garante resultados impecáveis. No entanto “a ciência está repleta de regras, algumas alvos de controvérsias, outras aceitas e consideradas importantes” (MOURA, 2014, p.36). Exemplos destas normas estão descritas por Irzik e Nola (2011, não paginado, tradução nossa):

- Construir hipóteses/teorias/modelos que são altamente testáveis;
- Evitar a utilização de ad-hoc;
- Em caso de teorias semelhantes, escolher a mais abrangente;
- Escolha a teoria que faz novas previsões verdadeiras ao invés de teorias que predizem o que já é conhecido;

- Rejeitar teorias inconsistentes;
- Entre teorias que explicam o mesmo fenômeno, aceite a teoria mais simples e rejeite a mais complexa;
- Aceite uma teoria apenas se ela for capaz de explicar o sucesso das teorias anteriores; e
- Use experimentos controlados para testar hipóteses casuais.

Então certamente não existe um conjunto exato e infalível de métodos para se desenvolver ciência. Existe uma coerência que devem levar para resultados consistentes, estas regras e metodologias estão intimamente ligadas com os pressupostos teóricos, concepções filosóficas, com os objetivos e valores que fazem da ciência um processo auto-organizado (MORAES; GALIAZZI, 2007).

Portanto mesmo que diferentes áreas do conhecimento não compartilhem exatamente das mesmas regras, ainda possuem aspectos metodológicos semelhantes (MOURA, 2014). Esta característica, segundo Irzik e Nola (2011), é contemplada pela visão de semelhança familiar.

A quarta categoria são **4. Produtos** que a ciência desenvolve, quando os objetivos são alcançados, através dos métodos, os resultados pelo conceito de semelhança são chamados de produtos. Estes produtos podem ser hipóteses, leis, teorias, modelos, descrições experimentais e dados experimentais.

De acordo com Irzik e Nola (2011), todas as áreas das ciências possuem algum grau de igualdade em seus produtos, entretanto os produtos podem ser diferentes, exemplificando, os autores citam o caso da 'lei científica' que comumente existem na Física, enquanto que na Biologia as leis como produtos acontecem em uma menor frequência.

Diante destes pressupostos, para Irzik e Nola (2011), o conceito de semelhança familiar destaca as atividades, os objetivos as metodologias, e quando bem desenvolvidos produzem resultados, os chamados produtos da ciência, portanto aborda sobre o processo de construção do conhecimento científico. Assim o conceito de semelhança familiar entende a natureza dinâmica e provisória da ciência, considerando a realidade histórica e social que o conhecimento é elaborado.

Diante do exposto é possível entender porque uma definição do que é a NdC não é um trabalho fácil. Entendendo melhor a visão consensual e a concepção de semelhança familiar foi possível perceber similaridades, diferenças, limitações,

resultados e contribuições relevantes para a ciência. Estas são as duas principais concepções que estão sendo trabalhadas contemporaneamente, entretanto seguindo para estudos do que historiadores, filósofos e sociólogos desenvolvem, são construídas infinitas concepções iguais, parecidas ou diferentes com as discutidas acima (MOURA, 2014).

De acordo com Rozentaliski (2018), diversos epistemólogos, sociólogos e historiadores da ciência se preocupavam em desenvolverem definições para a NdC. Historicamente as pessoas construíram explicações restritivas e abertas sobre o que é científico. Por exemplo, o positivismo lógico acredita que para ser científico as pesquisas devem seguir um método neutro, enquanto que para Feyerabend (1977) criar restrições e critérios para discriminar o que é considerado científico pode prejudicar os trabalhos desenvolvidos e inibir atividades úteis.

Pensando nestas discussões uma forma de construir concepções mais elaboradas sobre ciência é incentivar a inclusão de discussões sobre HFSC e NdC tanto no ensino médio quanto no ensino superior. A partir de reflexões epistemológicas, é possível entender melhor como a ciência se desenvolve e possibilita aos estudantes e professores a capacidade de refletir e discutir sobre o conhecimento científico.

#### 4.3 A NATUREZA DA CIÊNCIA E A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Após estudar e entender o que é a NdC, conhecer as visões pouco elaboradas e maneiras adequadas de compreender a ciência, neste tópico discutimos o que as pesquisas apontam sobre a NdC no Ensino e Educação em Ciências e conhecer algumas estratégias que estão sendo desenvolvidas para trabalhar com NdC na educação.

De acordo com Gil-Pérez et. al. (2001), a partir de discussões e reflexões sobre NdC é possível esclarecer sobre a natureza do trabalho científico. Então para orientar as atividades, devemos perguntar o que se pretende no ensino e educação e também na análise de materiais didáticos. Para Gil-Pérez et. al. (2001):

Trata-se definitivamente, de elaborar uma rede conceptual ou mesmo um guião para orientar o plano das atividades (ou para facilitar a sua análise), cujos itens recolham todos aqueles aspectos que consideramos

convenientes para não cair em visões simplistas da ciência (GIL-PÉREZ, 2001, p.139).

Assim a partir de uma revisão abrangente da literatura, Lederman (1992) descreve que as pesquisas relacionadas à NdC podem ser divididas em quatro linhas de pesquisa relacionadas, entretanto distintas. São elas:

(a) avaliações das concepções de estudantes sobre natureza da ciência; (b) desenvolvimento, uso e avaliação de currículos destinados a 'melhorar' as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência; (c) avaliação e tentativas de melhorar as concepções dos professores sobre a natureza da ciência; e (d) identificação da relação entre as concepções dos professores, a prática em sala de aula e as concepções dos alunos (LEDERMAN, 1992, p. 332, tradução nossa).

Inicialmente durante a **avaliação das concepções de estudantes sobre a NdC** as pesquisas consistiam em realizar questionários que avaliavam as concepções dos alunos sobre a ciência e os cientistas, entretanto existem limitações nesta forma de avaliação e os pesquisadores começaram a desenvolver instrumentos para melhor elaborar quais as visões que estudantes e professores entendem do que é a ciência e ser um cientista.

Contudo segundo Lederman (1992), as pesquisas mostravam que tanto alunos do ensino médio, do ensino superior e professores apresentavam concepções pouco elaboradas sobre a ciência. Então, para entender melhor estas questões, os pesquisadores precisavam desenvolver estratégias educacionais que discutissem aspectos da NdC.

Primeiramente foi realizada uma revisão curricular para entender como os aspectos da NdC estavam sendo contemplados. Assim os pesquisadores entenderam que os currículos estavam centrados apenas nos conteúdos exclusivamente científicos e não promoviam o entendimento de fatores históricos, filosóficos e sociais que fazem parte da ciência.

Para isto, a segunda categoria, **desenvolvimento, uso e avaliação de currículos destinados a 'melhorar' as concepções dos estudantes sobre a NdC**, se fortaleceu e segundo Lederman (1992) os primeiros currículos tratavam de como a História da Ciência pode contribuir com uma visão mais elaboradas sobre a ciência e o trabalho dos cientistas.

Então segundo Aikenhead (1979), o currículo também começou a contemplar práticas em laboratório e História da Ciência. Os principais objetivos

destes currículos eram: (1) possibilitar ao estudante desenvolver uma realista e desmistificada compreensão da natureza, do processo e de aspectos sociais sobre ciência, (2) o desenvolvimento de habilidades questionadoras e competências como interpretação e argumentação e finalmente (3) a compreensão da inter-relação entre Ciência e Tecnologia e com a Sociedade (CTS).

Pesquisas posteriores de Lederman (2006), Tamir (1972), Durkee (1974) e Gil-Pérez et. al. (2001) mostram que apesar de resultados da proposta curricular indicar mudanças nas concepções dos estudantes também há casos em que não houve efeito nas visões de estudantes inseridas nestes currículos. Portanto, apenas a base curricular não foi suficiente para desenvolver um entendimento mais elaborado sobre a NdC.

Pensando além da questão curricular, é importante instrumentalizar o professor para possibilitar que o docente seja capaz de trabalhar a NdC na educação. Inicialmente para elaborar os cursos de formação inicial e continuada de educação em NdC era necessário compreender sobre a terceira categoria de Lederman (1992), **avaliação e tentativas de melhorar as concepções dos professores sobre a NdC.**

Esta categoria foi essencial para compreender que mesmo no ensino superior os professores manifestavam ideias pouco elaboradas sobre o processo de desenvolvimento do conhecimento científico. Além disso, a ideia que o professor apresenta de ciência afetava a prática pedagógica e a compreensão que os alunos desenvolviam sobre como os conteúdos científicos foram construídos. (LEDERMAN, 1992; GIL-PÉREZ ET. AL., 2001).

Ou seja, se o professor acredita cegamente que o método científico é um conjunto de passos a serem seguidos neutralmente, os alunos também podem acreditar que a ciência é uma construção acima do bem e do mal, realizada por pessoas incorruptíveis e de intelecto inigualável (LEDERMAN, 1992; GIL-PÉREZ ET. AL., 2001).

Para que a população compreenda sobre o processo de construção do conhecimento científico é necessário dialogar para que as pessoas entendam que toda teoria possui uma história por trás, o papel das instituições e dos grupos de pesquisa, a construção coletiva do conhecimento, o papel da fundamentação teórica, enfim, ao invés de apresentar os produtos prontos da ciência, discutir e

entender como aquela teoria em estudo foi construída (LEDERMAN, 1992; GIL-PÉREZ ET. AL., 2001).

Assim, as pesquisas buscavam entender quais eram as ideias sobre ciência após cursos de formação inicial e continuada e se após a intervenção a prática docente dos professores evoluiu. Entretanto a docência envolve inúmeros fatores, a realidade histórica da escola, fatores sociais, experiência do professor, relações de poder dentro das instituições e outros aspectos de ensino e aprendizagem (LEDERMAN, 1992; GIL-PÉREZ ET. AL. 2001).

Os estudos de Lederman (2002), Praia, Cachapuz e Gil-Pérez (2002) entendem que vários aspectos podem inibir as discussões sobre NdC na educação. Estas dificuldades envolvem o Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola, a falta de instrumentalização do professor com o tema, o tempo para o conteúdo programático, a questão da avaliação e o receio do professor em alterar aulas programatizadas. Então para a NdC ser implementada é necessário que os docentes tenham uma visão elaborada sobre a NdC e superar diversas condições para levar a discussão aos alunos.

Portanto devido à necessidade de superar os obstáculos pedagógicos e que os professores desenvolvam uma concepção mais elaborada sobre NdC a categoria **identificação da relação entre as concepções dos professores, a prática em sala de aula e as concepções dos alunos** se fortaleceu. Segundo Lederman (1992), este processo começou com cursos de formação de professores, antes dos docentes começarem os trabalhos em sala foi necessário entender as condições para levar as discussões sobre NdC para o campo.

Uma vez que as atividades foram preparadas pela equipe pedagógica, Lederman (1992), alerta que a prática docente está intimamente relacionada com a concepção que o professor entende sobre NdC, então segundo o autor, quando os professores estão preocupados com uma linguagem mais elaborada sobre o processo de construção do conhecimento científicos, os alunos possuem maiores possibilidades de compreender como habilidades de argumentação, criatividade e imaginação fazem parte do universo científico e social.

Atualmente estas categorias continuam sendo focos de pesquisas sobre NdC, além disso, é possível encontrar investigações sobre NdC, por exemplo, na mídia, em livros didáticos, revistas, em propagandas enfim em diversas formas de comunicação que carregam ideias de ciência e do cientista (ABD-EL-KHALICK;

LEDERMAN, 2000). Segundo Abd-El-Khalick e Lederman (2000), as estratégias didáticas para discutir a NdC em sala de aula são as pesquisas que representam a maioria dos estudos sobre NdC.

No sentido de desenvolver estratégias didáticas para discutir a NdC, Abd-El-Khalick e Lederman (2000) entendem que foram desenvolvidos dois tipos de abordagens elementares, a abordagem implícita e a explícita. Na primeira abordagem é esperado que os estudantes refletissem sobre suas atividades e sobre ciência após o envolvimento com os temas, o papel do professor, neste caso especificamente, não envolve uma discussão em torno de aspectos de visões elaboradas ou pouco elaboradas sobre ciência, existe uma esperança em que o aluno perceba automaticamente, pelo envolvimento com o tema e/ou experimentos, como o conhecimento científico é construído.

Já segundo Abd-El-Khalick e Lederman (2000) a abordagem explícita envolve o entendimento das questões que influenciam no desenvolvimento do conhecimento científico e também de reflexões diretas sobre os aspectos da NdC.

Um exemplo de abordagem explícita foi desenvolvido durante o Estágio de Ensino de Química (2016) na intervenção: abordando Tabela Periódica e Distribuição Eletrônica a partir da História e Filosofia da Ciência. Primeiramente perguntamos aos estudantes como eles imaginavam que a tabela periódica foi desenvolvida?

Então durante duas aulas de 50 minutos trabalhamos sobre o contexto histórico que as primeiras tabelas periódicas começaram a ser desenvolvidas. Seguindo para a contribuição de cientistas como Antoine Lavoisier, John Dalton e Johann Wolfgang Döbereiner que trabalharam com a classificação de elementos e na sequência apresentamos as diferentes tabelas periódicas que foram construídas historicamente, a tabela de Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois ficou conhecida como o modelo do parafuso telúrico, a de John Alexander Newlands foi inspirada em notas musicais e então a partir das tabelas periódicas desenvolvidas por Julius Lothar Meyer e Dmitri Mendeleev a tabela periódica começou a apresentar características mais semelhantes com a que conhecemos atualmente.

É comum após cursos de formação de professores e a internalização das discussões sobre NdC os professores desenvolverem, inconscientemente, a abordagem implícita. Um exemplo foi o trabalho de Silva e Nagatomy (2017),

Compostos Nitrados: a Química explosiva, desenvolvido pelo projeto PIBID – Química UFPR.

Foi realizada uma intervenção para trabalhar a história do explosivos para introduzir a função orgânica presente em compostos nitrados ( $-\text{NO}_2$ ). Apesar da NdC não ter sido abordada diretamente, os aspectos do conhecimento científico (e aspectos da NdC) estavam presentes em todas as atividades desenvolvidas durante a intervenção. Segundo Silva e Nagatomy (2017), com a intervenção foi possível possibilitar aos alunos entenderem sobre o papel das teorias anteriores durante a observação, foi possível perceber a ciência como uma atividade coletiva, o caráter histórico e dinâmico da ciência e os fatores externos que influenciam na prática científica.

Independentemente deste resultado em uma intervenção, de acordo com Abd-El-Khalick e Lederman (2000) a abordagem implícita é considerada difícil de ser compreendida pelos estudantes. O principal obstáculo consiste no fato que a abordagem parte do pressuposto que os aspectos da NdC podem ser entendidos através dos conteúdos e dos temas. Todavia, para compreender sobre como a ciência se desenvolve é necessário discussão e reflexão, as concepções mais elaboradas sobre NdC foram desenvolvidas através do trabalho de inúmeros cientistas, historiadores, filósofos e sociólogos para entender o papel do cientista e o funcionamento da ciência. Portanto, não basta esperar que os alunos desenvolvessem uma visão mais elaborada de ciência apenas praticando os conteúdos.

Outro cuidado importante em trabalhar tanto com a visão implícita quanto na explícita é com o material e os textos utilizados. Esta preocupação é importante, pois alguns textos trazem concepções que podem distorcer a realidade do trabalho científico. Exemplos são as lendas da ‘descoberta’ da radioatividade por Becquerel e a ‘maçã de Newton’. Ambas distorcem a história, fortalecem estereótipos e noções pouco elaboradas sobre ciência e o trabalho do cientista. Fatores essenciais como o papel das teorias pré-existentes, o aspecto coletivo, os erros e a realidade cultural são deixados de lado (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; GIL-PÉREZ ET. AL., 2001).

Autores como Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007), consideram que é possível o professor internalizar tanto a abordagem explícita e implícita no trabalho. Então no momento de preparo das aulas, junto com a equipe pedagógica, é essencial uma



revisão crítica dos materiais e das atividades que são desenvolvidas no Ensino e Educação em Ciências. Os pressupostos teóricos que fundamentam os aspectos da NdC, quando levados em consideração, contribui com o entendimento de outros focos temáticos em conjunto.

Martins (2015), na intenção de evitar uma forma rígida e dogmática de trabalhar com os aspectos da NdC, sugere que ao invés de transmitir os aspectos da NdC como afirmações, é possível trabalhar com a problematização. Por exemplo, ao invés de afirmar que a observação científica é influenciada pela teoria, desenvolver problematizações como: O que os cientistas fazem nos laboratórios? Como os cientistas desenvolvem suas pesquisas?

Discutidas estas questões foi possível conhecer as visões pouco elaboradas, as elaboradas e como a NdC vem sendo trabalhada na educação. Este trabalho parte como pressuposto que o ensino e educação são capazes de proporcionar aos alunos a habilidade de interpretar o mundo e ciência como ela realmente é. Para isto é essencial que a comunidade reflita e discuta sobre as atividades que promovam a construção de conhecimento sobre ciência.

## **5. METODOLOGIA**

Neste capítulo descrevemos a metodologia da pesquisa, para responder nossa questão de investigação, que consiste em responder ‘se e como a ‘NdC’ está sendo discutida nas TD brasileiras sobre radioatividade?’. Este estudo, de natureza qualitativa, configura-se como uma pesquisa bibliográfica do tipo ‘estado do conhecimento’, ou seja, em uma determinada área.

Os dados foram constituídos a partir do Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Para tal, foi utilizado o termo de busca ‘radioatividade’ e como nosso foco foi Educação/Ensino, no descritor área do conhecimento, foram selecionados os descritores ‘educação’, ‘ensino’ e ‘ensino em ciências e em matemática’. A análise foi realizada em três partes:

Parte 1 – Caracterização dos Descritores Gerais (DG): ‘ano de defesa’, ‘grau de titulação’, ‘região’, ‘natureza das instituições’, ‘nível de ensino’ e ‘temas’;

Parte 2 – Caracterização dos Descritores Específicos (DE): ‘focos temáticos’ e ‘metodologia’; e

Parte 3 – Análise do foco temático ‘NdC’, por meio da Análise Textual Discursiva.

Segundo Neto (1999) os DG buscam fornecer uma visão ampla e sistemática do que vem sendo produzido. Então nesta primeira parte foram levantados os autores, o ano de publicação, o grau de titulação, qual a região, a natureza das instituições, os níveis educacionais focalizados e o que vem sendo discutido nas teses e dissertações. Estes dados são importantes para se compreender sobre as características dos trabalhos, bem como a evolução das pesquisas ao longo do tempo.

Em relação aos DE, Neto (1999) caracteriza como elemento de conteúdo com propriedades próprias. Portanto seu estudo possibilita investigar as concepções epistemológicas dos textos, identificar as concepções fenomenológicas, o sentido e o significado das produções.

Finalmente, na terceira parte, desenvolvemos o estudo do estado do conhecimento da NdC a partir da ATD. Nesta etapa buscamos compreender quais os aspectos da NdC presentes nos trabalhos de educação sobre radioatividade.

## 5.1 CONSTITUIÇÃO DOS DADOS

Os dados foram constituídos a partir do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES. Tal catálogo foi escolhido por ser um banco muito completo das TD desenvolvidas no Brasil, o qual existe desde 1987 e é onde todos os programas de pós-graduação (PPG) devem disponibilizar cópias das TD defendidas. Então teoricamente, os trabalhos defendidos depois de 1987 devem estar disponíveis nesta plataforma (CAPES, 2017).

O site também possibilita ao pesquisador refinar as buscar de acordo com os descritores disponíveis. Como esta pesquisa busca entender qual o estado do conhecimento da radioatividade na Educação em Ciências, foram selecionados todos os trabalhos brasileiros que abordavam sobre radioatividade no ensino e educação.

Para tanto, o termo de busca utilizado foi a palavra 'radioatividade', no título, resumo ou palavras-chave. Em seguida, utilizamos dois descritores de restrição: tipo e área de avaliação, em que restringimos apenas as teses, dissertações de mestrado acadêmico e dissertações de mestrado profissional na área de ensino e educação.

Após a busca, foi realizada a leitura de todos os resumos para verificar se o trabalho envolvia radioatividade. Este processo é importante, pois pode acontecer que o termo radioatividade apareça no título ou nas palavras-chaves, mas não seja um trabalho sobre o tema. Foram localizadas 40 TD sobre radioatividade. Portanto 4 teses e 36 dissertações que estão identificadas no Quadro 1 e Quadro 2 (capítulo 6). Esta busca foi realizada durante o período de 10 de junho de 2019 até dia 4 de abril de 2020.

## 5.2 A PESQUISA QUALITATIVA

Como um campo científico do conhecimento a pesquisa em educação também compartilha dos obstáculos do universo científico como falta de verbas, limitações, linguagens, relações de poder, confiabilidade, reprodutibilidade e precisão. Uma preocupação da pesquisa educacional é definir e esclarecer sobre a metodologia da pesquisa para garantir a credibilidade dos conhecimentos desenvolvidos (MORAES; GALIAZZI, 2007).

As abordagens mais conhecidas cientificamente são: quantitativa e qualitativa. Este trabalho parte do pressuposto que não existe uma opção metodológica única, melhor ou que vai garantir resultados exatos, o que podemos destacar é que cada uma das abordagens tem características específicas e segundo Flick (2009) a preferência por determinada metodologia surge a partir de visões de mundo e de ciência relativos a cada pesquisador ou grupo de pesquisadores.

Pesquisadores que pensavam a ciência a partir dos pressupostos epistemológicos compartilhados pelo Círculo de Viena entendem que, a partir de um método, o conhecimento se desenvolve pela observação, descrição e quantificação, conseqüentemente preferem abordagens quantitativas. Enquanto que pesquisadores que entendem a ciência como Kuhn (1962), Bachelard (1996), Feyerabend (1977) e Fleck (1935) mostram que o desenvolvimento do

conhecimento pode ser construído por diferentes metodologias e para entender o fenômeno apenas a quantificação pode não ser suficiente, assim é necessária uma compreensão dos contextos históricos, filosóficos e sociais que envolvem a prática científica, portanto desenvolvem abordagens mais qualitativas.

Pesquisas baseadas em ideias positivistas, como aquelas somente quantitativas construídas por reflexões de cientistas que faziam parte do Círculo de Viena, partem de observações de um cientista que procura garantir a cientificidade dos conhecimentos por procedimentos estatísticos, indução e dedução. Já as metodologias qualitativas podem apresentar tratamentos quantitativos, mas também entender os fenômenos a partir dos diversos contextos sociais e levando em consideração a natureza provisória e dinâmica do conhecimento científico. (CONDÉ, 2018; FILHO; GAMBOA, 2002; SOUZA; KERBAUY, 2017).

Com isso, de acordo com Alves (1991), apesar das dificuldades decorrentes da natureza da pesquisa qualitativa, a abordagem é mais utilizada por pesquisadores das áreas sociais e educacionais, portanto são poucas pesquisas da área de ensino e educação que utilizam apenas a metodologia quantitativa.

A abordagem qualitativa, segundo Alves (1991), parte do pressuposto que os pesquisadores agem em função das suas percepções, valores, sentimentos, subjetividade e interpretações dos fenômenos relativos ao contexto histórico. Conseqüentemente o cientista é orientado pelos pressupostos teóricos que fundamentam a pesquisa. Então, a metodologia qualitativa afasta-se do padrão do positivismo lógico e seus pressupostos frequentemente são expressos em contraposição ao paradigma compartilhado pelos participantes do Círculo de Viena.

Dessa forma Souza, Kerbauy (2017) e Alves (1991) mostram que as discussões entre qualitativo e quantitativo fortaleceram as diferentes características, consideradas essenciais para o desenvolvimento das pesquisas. Os autores ainda salientam que essas características não são suficientes para evidenciar superioridade de uma metodologia em relação a outro, Alves argumenta que “a questão é de ênfase e não de exclusividade.” (ALVES, 1991, p. 54).

Articuladamente a abordagem qualitativa envolve subjetividade, foco na qualidade, ideia de construção e envolve a interpretação do pesquisador com os diversos fatores que influenciam uma pesquisa científica.

É importante entender que o fato de existir tratamento de dados numéricos não é suficiente para caracterizar uma pesquisa quantitativa. Quantidade e

qualidade podem ser aspectos complementares em uma pesquisa qualitativa. Amostras numéricas se apresentam ao pesquisador que quando internalizadas levam a interpretação e compreensão do fenômeno (MORAES; GALIAZZI, 2007).

Dessa forma, esta pesquisa caracteriza-se como uma abordagem predominantemente qualitativa. Assim, os descritores gerais e específicos foram analisados a partir de uma atitude fenomenológica de pesquisa compreendendo a Análise Textual Discursiva (ATD).

### 5.3 A PESQUISA ESTADO DO CONHECIMENTO

De acordo com Ferreira (2002) o estudo desta pesquisa configura-se como pesquisa do tipo 'estado do conhecimento' e apresenta caráter qualitativo. Essas pesquisas são de caráter bibliográfico e buscam mapear e explicar sobre a produção de conhecimento em um setor das publicações, no caso desta, as Teses e Dissertações (TD) sobre radioatividade no ensino e educação.

As pesquisas do tipo 'estado da arte' buscam fornecer uma visão panorâmica sobre a produção de um tema conforme sua realidade histórica. De caráter bibliográfico, essas pesquisas buscam mapear e explicar sobre a elaboração de trabalhos em determinada área, destacando as tendências, lacunas e informações nas pesquisas que foram produzidas em uma área específica. (ROMANOWSKI; ENS, 2006).

De acordo com Soares e Maciel (2000), pesquisas do tipo 'estado da arte' são fundamentais para os pesquisadores conhecerem as orientações das pesquisas científicas. Carvalho e Gamboa (2014) ainda reforçam que essas pesquisas permitem uma conjugação de informações, elaborando uma fonte de dados interessante.

Segundo Romanowski e Ens (2006) o que incentiva o pesquisador a buscar a realizar este tipo de trabalho é entender como uma área está construindo o conhecimento, o que é compartilhado, o que é controverso e as lacunas que podem ser estudadas. Estas motivações encaminham para uma exploração que desvende e examine o conhecimento descrito na literatura, apontem as tendências, os temas mais pesquisados e as necessidades existentes.

Para Alves (1992), as pesquisas brasileiras denominadas ‘estado da arte’ ficam muito restritas a capítulos de teses e dissertações de mestrado e doutorado. De acordo com Romanowski e Ens (2006) no Brasil faltam pesquisas que desenvolvam levantamentos e descrevam o que já existe, apontando as lacunas, organizando as pesquisas e mostrem as evoluções e a relevância para a sociedade.

Segundo Palanch e Freitas (2015) um dos obstáculos encontrados para a realização das pesquisas do tipo ‘estado da arte’ é o fato de poucos autores se dedicarem às pesquisas amplas, complexas e trabalhosas deste tipo que ainda encaram pouca teorização na literatura.

Portanto ainda existem algumas controvérsias em relação ao que é considerado um trabalho do tipo ‘estado da arte’. Entretanto, a distinção entre estado da arte e estado do conhecimento é algo já conhecido nos trabalhos de revisão bibliográfica.

Segundo Romanowski e Ens (2006) os estudos denominados ‘estado da arte’ abrangem toda a área uma área do conhecimento, nos diferentes aspectos. Nesse tipo de pesquisa não basta estudar os resumos de dissertações e teses, “são necessários estudos sobre as produções em congressos na área, estudos sobre as publicações em periódicos da área” (ROMANOWSKI; ENS, 2006, p. 39).

Assim, esta pesquisa configura-se como um estado do conhecimento, pois o estudo concentra-se nas Teses e Dissertações sobre radioatividade na Educação em Ciências.

As motivações dos pesquisadores que se dedicam a desenvolver pesquisas de revisão bibliográfica consistem em conhecer o que está sendo produzido em uma área de conhecimento, evidenciar avanços articulados com as teorias que fundamentam as pesquisas, resgatar pesquisas e conduzir a compreensão acerca da totalidade do contexto de estudo (ROMANOWSKI; ENS, 2006; FERREIRA, 2002).

De acordo com Ferreira (2002), os pesquisadores que trabalham com estados da arte ou do conhecimento costumam constituir as amostras a partir de teses, dissertações, publicações em revistas científicas e produções em congressos e eventos. Uma discussão pertinente entre Ensino, Pesquisa e Extensão (EPE) é sobre a política de divulgação científica na Universidade, com o fortalecimento da produção acadêmica as fontes para o levantamento de dados, como as bibliotecas virtuais das universidades e faculdades começaram a constituir-se como uma forma

de informar sua produção à comunidade, assim os trabalhos não ficam restritos à universidade.

Para compreender sobre a evolução das pesquisas, primeiramente busca-se a constituição de um 'corpus' para mapear a produção de conhecimento em uma área do conhecimento. Após a análise dos descritores gerais, inicia-se o trabalho de analisar os dados, compreender e interpretar o que vem sendo produzido nas pesquisas.

Romanowski e Ens (2006) ainda salientam que não é suficiente apenas numerar os trabalhos para configurar uma pesquisa de revisão bibliográfica, ainda é necessário categorizar, analisar, compreender, interpretar e discutir sobre a evolução, as características históricas e os obstáculos das pesquisas na área.

Uma dificuldade mencionada por Romanowski e Ens (2006) são os resumos das teses e dissertações apresentarem incoerências teóricas, instrumentais, metodológicas, por vezes sucintas ou parciais. Por isso Ferreira (2002) argumenta que apenas lendo os resumos, é muito difícil desenvolver uma perspectiva completa do estado da arte ou do conhecimento de uma área, e é neste momento que o pesquisador deve se sensibilizar para leituras complementares dos textos e a identificação de informações relevantes que não foram apresentadas nos resumos.

Também é necessário entender que pesquisas do estado da arte ou do conhecimento são amplas, complexas e extensas, exigem tempo para a constituição dos dados e principalmente para leitura e análise dos resumos (ROMANOWSKI; ENS, 2006). Articuladamente também existe a dificuldade de acesso a certos materiais, muitos jornais e artigos tem acesso limitado ou restrito, quando uma tese ou dissertação não está disponível no banco de dados, é necessário consultar a biblioteca da instituição, o que torna a pesquisa demorada.

Sabendo destes pressupostos e como esta pesquisa tem seu foco em um setor das publicações, Teses e Dissertações (TD) brasileiras, denomina-se um trabalho do tipo 'estado do conhecimento'.

Para estudos posteriores é possível dizer que, analisando também os artigos de revistas científicas e anais de todos os eventos da área Educação em Ciências sobre como a radioatividade é trabalhada, seria elaborado um trabalho do tipo 'estado da arte'. Entretanto a análise de TD são representativas das pesquisas realizadas no Brasil, já que muitos artigos decorrem da elaboração de TD. Esta investigação é capaz de conduzir a compreensão do estado atingido que os

conteúdos de radioatividade são desenvolvidos no contexto brasileiro de Ensino e Educação em Ciências.

#### 5.4 A ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA

Para a análise do foco temático 'NdC', foi utilizada a Análise Textual Discursiva (ATD) descrita por Moraes e Galiazzi (2007). De acordo com os autores, este tipo de análise é usualmente desenvolvido em pesquisas qualitativas com o objetivo de entender o fenômeno, construindo conhecimentos sobre o assunto investigado.

O processo de ATD é apropriado para buscar a compreensão dos fenômenos que os textos revelam, estes dados podem ser textos já existentes ou que foram desenvolvidos para a pesquisa especificamente, como diários de bordo, entrevistas, vídeos e etc. (MORAES; GALIAZZI, 2007).

A ATD é desenvolvida com a finalidade de produzir novas compreensões, ampliar o significado dos discursos e possibilitar ao pesquisador ressignificações, diferentemente dos pressupostos dos empiristas que buscam refutações e comprovações de hipóteses (MORAES; GALIAZZI, 2007). Articuladamente a abordagem qualitativa envolve subjetividade, foco na qualidade, ideia de construção e envolve a interpretação do pesquisador com os diversos fatores que influenciam uma pesquisa científica.

O processo de análise é dividido em três etapas principais que compõem um ciclo e o quarto foco entende este ciclo como um processo auto-organizado. As etapas são: 1. Desmontagem dos textos; 2. Estabelecimento de relações; 3. Captando o novo emergente; e 4. Um processo auto-organizado.

1. Desmontagem dos textos: a primeira etapa, denominada unitarização, consiste em leitura e significação inicial. Nesta fase o analista deve desenvolver uma relação profunda com os dados, significando e interpretando os dados da pesquisa. Neste momento o pesquisador deve identificar os textos que são importantes para o objetivo de pesquisa e constituir os dados do trabalho.

De acordo com Moraes e Galiazzi (2007) para compreender sobre o fenômeno estudado, o conhecimento das teorias que fundamentam a pesquisa facilita o processo da análise textual e aprofunda a compreensão dos fenômenos



investigados. “Toda leitura é feita a partir de alguma perspectiva teórica, seja consciente ou não” (MORAES; GALIAZZI, 2007, p.15). As teorias possibilitam atribuir os sentidos aos fenômenos e a leitura exige uma atitude fenomenológica do analista para aprofundar sobre os significados dos textos. Além disso, é preciso lembrar que diferentes pessoas constroem diversas interpretações dos fenômenos, mesmo que em um grupo possam acontecer leituras semelhantes, os dados podem mostrar diversos sentidos e significados.

Em função do objetivo de pesquisa, durante a desmontagem dos textos, o analista deve identificar os textos relevantes para o estudo, formando o ‘corpus’ da pesquisa.

Costuma-se denominar de dados o ‘corpus’ textual da análise. Assumindo, contudo, que todo dado torna-se informação a partir de uma teoria, podemos afirmar que nada é ‘realmente dado’, mas tudo é construído (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 17).

Então delimitados os dados, se inicia a desmontagem dos textos. De acordo com Moraes e Galiazzi (2007), este é um processo de desconstrução e unitarização do ‘corpus’, a ação envolve em manifestar as ‘unidades de significados’, frases ou palavras envolvendo o sentido do fenômeno incorporado nas ‘unidades de contexto’, no caso desta pesquisa, os resumos das TD sobre radioatividade. Para isto, é importante conhecer as teorias que fundamentam as pesquisas e as categorias ‘*a priori*’ para separar as unidades de acordo com esses temas ou categorias.

As unidades de significado são identificadas e organizadas em função de categorias ‘*a priori*’ (definidas anteriormente pela literatura) ou emergentes (que se manifestam da análise a partir dos conhecimentos do pesquisador). Segundo Moraes e Galiazzi (2007), durante a unitarização, os textos são fragmentados e codificados, os significados são obtidos durante a reescrita das unidades, e finalmente é atribuído um nome ou título para cada unidade produzida.

Os autores ainda enfatizam que estas análises exigem envolvimento e impregnação do analista com os textos, então “a fragmentação dos textos é concretizada por uma ou mais leituras identificando-se e codificando-se cada fragmento destacado, resultando daí as unidades de análise” (MORAES; GALIAZZI, 2007, p.19). Brevemente:

A impregnação persistente nas informações dos documentos do 'corpus' passa por um processo de desorganização e desconstrução. É preciso desestabilizar a ordem estabelecida, desorganizando o conhecimento existente. Tendo como referência as ideias dos sistemas complexos, esse processo consiste em levar o sistema semântico ao limite do caos. A unitarização é um processo que produz desordem a partir de um conjunto de textos ordenados. Torna caótico o que era ordenado. Nesse espaço uma nova ordem pode constituir-se à custa da desordem (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 21).

Dessa forma, após a fragmentação é fundamental expressar com clareza os sentidos de cada unidade de significado. Isso é necessário, pois quando as unidades forem categorizadas, seus sentidos estão claros e a ideia central da unidade é expressa (MORAES; GALIAZZI, 2007).

2. Estabelecimento de relações: também chamada de categorização, os dados unitarizados são agrupadas a partir de elementos semelhantes e categorizadas, desenvolvendo uma definição e um nome para cada categoria. Conforme a ATD é entendida como um processo auto-organizado, as categorias podem ser aperfeiçoadas conforme a validade e a pertinência aos objetivos e ao objeto de análise (MORAES; GALIAZZI, 2007).

A partir do 'corpus' novas compreensões dos fenômenos são desenvolvidas e as categorias podem ser produzidas por diferentes metodologias (MORAES; GALIAZZI, 2007). Articuladamente os pressupostos que fundamentam a análise estão incorporados entre os métodos. Os dois principais métodos descritos por Moraes e Galiuzzi (2007) são:

O método dedutivo, um movimento do geral para o particular, implica construir categorias antes mesmo de examinar o 'corpus'. As categorias são deduzidas das teorias que servem de fundamento para as pesquisas. [...] Já o método indutivo implica produzir as categorias a partir das unidades de análise construídas a partir do 'corpus' (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 23).

As categorias '*a priori*' geralmente são definidas pelas teorias que fundamentam as pesquisas, as categorias começam a ser construídas antes de analisar o 'corpus'. De outra forma, as categorias 'emergentes' são resultados de um processo de comparar e aperfeiçoar as unidades de análise com o conhecimento e o conjunto de elementos que o pesquisador desenvolve (MORAES; GALIAZZI, 2007).

De acordo com Moraes e Galiuzzi (2007), estes dois métodos podem ser desenvolvidos simultaneamente, as categorias '*a priori*' estão previamente descritas

e o pesquisador pode elaborar transformações gradativas nas categorias iniciais. Ambas as metodologias foram desenvolvidas nesta dissertação.

Outro processo que desestabiliza a visão acumulativa e de desenvolvimento linear descrita por Gil-Pérez et. al. (2001), é o que Moraes e Galiuzzi (2007) apresentam como método intuitivo.

O processo intuitivo pretende superar a racionalidade linear que está implícita tanto no método dedutivo quanto no indutivo e defende que as categorias tenham sentido a partir do fenômeno focalizado como um todo (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 24).

E “tanto o método dedutivo quanto o indutivo requerem em algum grau a intuição” (MORAES; GALIAZZI, 2007, p.24). O método intuitivo envolve criatividade do pesquisador, para possibilitar os novos entendimentos durante as investigações. Entende-se que o desenvolvimento de qualquer destes métodos envolvem pressupostos teóricos e instrumentalização do pesquisador para entender o que suas opções implicam em cada caso.

Para possibilitar o estabelecimento de relações as categorias estabelecidas, sejam ‘*a priori*’ ou ‘*emergentes*’, precisam ser pertinentes e válidas aos objetivos e ao problema de pesquisa (MORAES; GALIAZZI, 2007). Também é razoável considerar que as categorias sejam organizadas por pressupostos conceituais semelhantes. Então para analisar quais visões de ciência são desenvolvidas nas Teses e Dissertações sobre radioatividade, as categorias utilizadas descrevem as concepções sobre a ciência.

O processo de ATD considera que uma mesma unidade pode ser lida de diferentes perspectivas, possibilitando diversas interpretações para uma mesma unidade, então um texto pode ser classificado em mais de uma categoria. De maneira similar diversas categorias podem ser atribuídas para um mesmo dado. O que é positivo, pois torna a possibilidades de sentidos e significados mais completos. Assim o pesquisador, com influência do referencial teórico, estabelece as relações entre os elementos dos textos e os fenômenos (MORAES; GALIAZZI, 2007).

Segundo Moraes e Galiuzzi, (2007) para o estabelecimento de categorias é necessário obedecer a um conjunto de critérios, o pesquisador deve explicitar os argumentos que as descrevem e indicar as relações entre as unidades de

significados. A argumentação rigorosa desenvolve os conhecimentos sobre os fenômenos nas abordagens qualitativas.

Portanto após a fragmentação das unidades, a categorização envolve o estabelecimento de relações em um processo que reúne os aspectos semelhantes possibilitando compreensões sobre os fenômenos (MORAES; GALIAZZI, 2007).

3. Captando o novo emergente: na terceira etapa as categorias são interpretadas possibilitando o desenvolvimento de novas compreensões sobre os dados. A construção de novos conhecimentos sobre os fenômenos são utilizadas para a confecção dos metatextos.

Os metatextos são constituídos de descrição e interpretação, representando o conjunto um modo de teorização sobre os fenômenos investigados (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 32).

A construção do metatextos exige interpretação e argumentação do pesquisador, textos descritivos são mais focalizados no 'corpus' enquanto que argumentos interpretativos precisam de uma abstração e teorização do pesquisador com os fenômenos (MORAES; GALIAZZI, 2007).

Neste momento deve ocorrer a relação dos entendimentos com as teorias já existentes. Este processo amplia os conhecimentos da área, sendo uma relevante contribuição do pesquisar para a área de estudo. Durante a análise dos textos, o pesquisador se envolve com a teoria, interpreta os dados e desenvolve novas teorias em um processo cíclico. Durante o desenvolvimento das teorias, as construções não são necessariamente exclusivas, o pesquisador pode ampliar, complementar e ressignificar as teorias que fundamentam o estudo (MORAES; GALIAZZI, 2007).

A validade e a confiabilidade dos resultados de uma análise são construídas ao longo do processo. O rigor com que cada etapa da análise é conduzida é uma garantia delas. Assim, uma unitarização e categorização rigorosa encaminham metatextos válidos e representativos dos fenômenos investigados. (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 39).

Os metatextos são entendidos como os resultados de um esforço de construção intenso e rigoroso para elaborar novos sentidos e significados teóricos às categorias, isto segundo Moraes e Galiuzzi (2007) é captar o novo emergente. Esse

movimento de crítica, abstração, afastamento e interpretação, busca uma compreensão mais confiável, aprofundada e lúcida.

Outro fator relevante do processo de ATD é o pesquisador assumir a autoridade de seus argumentos. Apesar dos aspectos de confiabilidade e validade serem relevantes, o papel da criatividade e do conhecimento do pesquisador possibilita o desenvolvimento das pesquisas futuras (MORAES; GALIAZZI, 2007).

Então para Moraes e Galiazzi (2007) a ATD tem como objetivo a produção de metatextos. Em síntese, a ATD é uma metodologia que se inicia a partir da desconstrução dos textos (etapa 1), segue para a categorização e resulta nos metatextos ou novo emergente que, consiste nas interpretações e entendimentos sobre os dados.

Pesquisar fenomenologicamente consiste em um desafio de trabalhar com sentidos e significados que vão se constituindo e se mostrando em diferentes modos. Trata-se de respeitar a realidade histórica e cultural, elucidar sobre o que está sendo pesquisado e refletir sobre as possibilidades e os limites da humanidade.

Segundo Giorgi (1979) e Bicudo (2011), existem estudos fenomenológicos estruturais e hermenêuticos. Em relação aos primeiros se objetiva descrever e estudar todo o espectro do fenômeno, enquanto que a hermenêutica se diz respeito ao entendimento e interpretação dos resultados.<sup>13</sup>

Nesta dissertação a ATD deve ser considerada para além de métodos procedimentais e mais como uma atitude dialética e fenomenológica do pesquisador com o assunto. Pelo fato da ATD possibilitar as análises como um processo auto-organizado, a forma que o analista atribui sentido e significado pode se modificar e evoluir. Essa interação envolve o amadurecimento conceitual e epistemológico do pesquisador com sua realidade histórico-cultural.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após refinar as buscas das TD a partir do termo 'radioatividade' no título, no resumo e palavras-chave, foi realizada a leitura de todos os resumos.

---

<sup>13</sup> Nesta pesquisa a fenomenologia exigiu complementaridade entre os aspectos estruturais e hermenêuticos. Primeiramente foi realizado o estudo sobre como a radioatividade está sendo apresentada nas pesquisas educacionais de mestrado e doutorado, após uma maior interação com os dados, foi possível identificar quais as características sobre ciência que estavam presentes, entender e interpretar como a NdC vem sendo discutida nas Teses e Dissertações.

Posteriormente a essa leitura chegamos ao ‘corpus’, constituído por 40 trabalhos, sendo 4 teses e 36 dissertações, identificadas nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

QUADRO 1: TESES SOBRE RADIOATIVIDADE NA EDUCAÇÃO.

Código	Ano	Referência
T1	2012	CIRINO, M. M. <b>OBJETOS DE APRENDIZAGEM COMO FERRAMENTAS SOCIOCULTURAIS PARA O ENSINO DE QUÍMICA.</b> 306 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Universidade Est. Paulista Júlio de Mesquita Filho/Bauru, Bauru, 2012.
T2	2013	RESQUETTI, S. O. <b>UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA RADIOATIVIDADE NO NÍVEL MÉDIO, COM ENFOQUE NA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E NO MOVIMENTO CTS.</b> 280 f. Tese (Doutorado em Educação para Ciências e Matemática) - Universidade Est. Maringá, Maringá, 2013.
T3	2015	OLGIN, C. A. <b>CRITÉRIOS, POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE TEMÁTICAS NO CURRÍCULO DE MATEMÁTICA DO ENSINO MÉDIO.</b> 266 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.
T4	2018	GOMES, A. T. <b>(RE)FLEXÃO: QUEBRANDO PARADIGMAS EM TEMPOS DE PERDA DE AUTONOMIA DOCENTE.</b> Undefined f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências Química da Vida e Saúde). Universidade Federal de Santa Maria, Porto Alegre, 2018.

FONTE: O autor (2020).

QUADRO 2: DISSERTAÇÕES SOBRE RADIOATIVIDADE NA EDUCAÇÃO.

Código	Ano	Referência
D1	2003	KOEPSEL, R. <b>CTS NO ENSINO MÉDIO:</b> aproximando a escola da sociedade. 180 f. Dissertação (Mestrado em Educação) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
D2	2007	ANELE, A. C. <b>O ENFOQUE CTS EM SALA DE AULA:</b> uma abordagem diferenciada utilizando a Unidade de Aprendizagem na Educação Química. 109 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
D3	2007	SILVA, G. J. <b>EPISTEMOLOGIA EM USO:</b> imagem de ciência em livros didáticos de Química. 289 f. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
D4	2008	FERREIRA, M. J. <b>O USO TERAPÊUTICO DOS RAIOS X E DA RADIOATIVIDADE NA BAHIA DE 1906 A 2005.</b> Uma visão da História da Ciência. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Fed. Da Bahia, Salvador, 2008.

D5	2009	SILVA, L. C. M. <b>A RADIOATIVIDADE COMO TEMA EM UMA PERSPECTIVA CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE COM FOCO EM HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA.</b> 172 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências) - Universidade de Brasília, 2009.
D6	2010	KANACIRO, M. <b>CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA PARA A ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO.</b> 83 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2010.
D7	2010	WATANABE, M. <b>DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE HIPERMÍDIA SOBRE O TEMA RADIOATIVIDADE VISANDO A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA.</b> 130 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Ensino de Ciências) - Universidade Fed. do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010.
D8	2011	CORDEIRO, M. D. <b>DOS CURIE A RUTHERFORD: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica.</b> 226 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Fed. de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
D9	2011	FILHO, W. V. S. <b>COSTA RIBEIRO: ensino, pesquisa e o desenvolvimento da Física no Brasil, no período de 1929 a 1960.</b> 312 f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
D10	2011	MONTEIRO, F. A. <b>DISCUTINDO A CIÊNCIA ATRAVÉS DE EPISÓDIOS HISTÓRICOS: o caso dos raios-X e da radioatividade.</b> 97 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Est. da Paraíba, Campina Grande, 2011.
D11	2011	VASCONCELOS, F. C. G. C. <b>UTILIZAÇÃO DE RECURSOS AUDIOVISUAIS EM ESTRATÉGIA FLEXQUEST SOBRE RADIOATIVIDADE.</b> 215 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) - Universidade Fed. Rural de Pernambuco, Recife, 2011.
D12	2012	RODRIGUES, A. A. <b>DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NA FORMAÇÃO DOCENTE: construindo e divulgando conhecimento por meio do Rádio e da Internet.</b> 106 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Ensino de Física). Universidade Fed. do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
D13	2012	TIMM, N. R. <b>FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA E A SAÚDE: uma proposta envolvendo energia nuclear e radioatividade na formação inicial de professores de Física.</b> 167 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências Química da Vida e Saúde). Universidade Fed. do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
D14	2013	ARAÚJO, M. C. <b>ENERGIA NUCLEAR E RADIOATIVIDADE NA ESCOLA DE NÍVEL MÉDIO: um olhar a partir dos acidentes nucleares.</b> Undefined f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

D15	2013	DIAS, R. S. <b>RADIOATIVIDADE: um módulo didático para o Ensino Médio.</b> 21 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2013.
D16	2013	GOMES, I. C. P. <b>A MEDIAÇÃO SEMIÓTICA DE INSTRUMENTOS CULTURAIS NA APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO.</b> Undefined f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) Universidade Fed. de Goiás, Goiânia, 2013.
D17	2013	SILVA, F. C. V. <b>RESOLUÇÃO DE UMA SITUAÇÃO-PROBLEMA SOBRE RADIOTERAPIA PARA CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO SUPERIOR DE QUÍMICA.</b> 115 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
D18	2014	CORTEZ, J. <b>O LEGADO DE MADAME CURIE: uma abordagem CTS para o ensino da radioatividade.</b> 66 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
D19	2014	ANDREA, A. D. Q. D. <b>CÂMARA DE WILSON ELETRÔNICA PARA O AUXÍLIO NA APRENDIZAGEM DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO.</b> Undefined f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências Exatas) - Universidade Fed. de São Carlos, São Carlos, 2014.
D20	2014	MELLO, A. D. <b>A HISTÓRIA E A FILOSOFIA DA CIÊNCIA COMO UM CAMINHO PARA PROBLEMATIZAR O TEMA ENERGIA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO: as imagens como uma estratégia didática.</b> 71 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática). Centro Fed. de Educação Tecn. Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2014.
D21	2015	BATISTA, C. A. S. <b>FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: subsídios teóricos-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula.</b> 180 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências). Universidade Est. de Santa Cruz, Ilhéus, 2015.
D22	2015	GOMES, T. G. <b>UMA HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE PARA A ESCOLA BÁSICA: desafios e propostas.</b> Undefined f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
D23	2015	PRADO, G. F. <b>O ENSINO DE ESTRUTURA DA MATÉRIA NA DISCIPLINA DE FÍSICA: uma análise de estruturas conceituais para a modelagem do currículo.</b> 119 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Universidade Est. Paulista Júlio de Mesquita Filho/Bauru, Bauru, 2015.
D24	2015	SANTOS, T. M. G. <b>ENQUANTO ISSO NA SALA DE JUSTIÇA... HISTÓRIA EM QUADRINHOS NO ENSINO DE QUÍMICA.</b> 123 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
D25	2016	ANTISZKO, T. R. <b>SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE RADIOATIVIDADE COM ENFOQUE CTS NO ENSINO MÉDIO.</b> 123 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciência e Tecnologia) -



		Universidade Tecnológica Fed. do Paraná, Ponta Grossa, 2016.
D26	2016	FURTADO, L. P. <b>RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA</b> – Uma abordagem em aulas de Química do ensino médio em busca da (re)significação do conhecimento dos alunos. 128 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências). Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
D27	2016	OLIVEIRA, F. M. <b>DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS E ESTRATÉGIAS PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DE RADIOATIVIDADE</b> . 119 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências) - Universidade Fed. Fluminense, Niterói, 2016.
D28	2017	CARDOSO, S. P. <b>FÍSICA DAS RADIAÇÕES</b> : um enfoque CTS para alunos do ensino médio da área industrial. 251 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Física). Universidade Fed. do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
D29	2017	FREITAS, A. B. <b>O ENSINO INTERDISCIPLINAR DE PILHAS E RADIOATIVIDADE NO ÂMBITO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL</b> . 182 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação). Universidade Fed. de Goiás, Jataí, 2017.
D30	2017	OLIVEIRA, C. A. I. <b>TECNOLOGIA COMO PROJETO DE TRABALHO: ESTRATÉGIA DE ENSINO E DE APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS NO 9º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL</b> . 170 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.
D31	2017	PEREIRA, L. L. <b>A APRENDIZAGEM DO CONTEÚDO DE RADIOATIVIDADE POR ESTUDANTES SURDOS USUÁRIOS DE LIBRAS EM UM CONTEXTO DE ARGUMENTAÇÃO</b> : um estudo de caso. 213 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática). Universidade Fed. de Pernambuco, Caruaru, 2017.
D32	2017	SILVA, R. M. <b>A RADIOATIVIDADE AMBIENTAL NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE QUÍMICA NA PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</b> . 142 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) Universidade Fed. Rural de Pernambuco, Recife, 2017.
D33	2017	VANZ, L. <b>A UTILIZAÇÃO DE WEBQUEST PARA O ENSINO DE RADIOATIVIDADE</b> . 99 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Fundação Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.
D34	2018	BOCH, L. B. <b>ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR COM ENFOQUE CTS POR MEIO DA EXPERIMENTAÇÃO</b> . 91 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências Naturais e Matemática). Universidade Est. do Centro-Oeste, Guarapuava, 2018.
D35	2018	FARIAS, R. M. S. <b>O LEGADO CIENTÍFICO DE MARIE CURIE</b> : desafios e perspectivas da mulher na ciência. 88 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Est. da Paraíba, Campina Grande 2018.

D36	2018	ROCHA, J. A. <b>A COMPREENSÃO DA NATUREZA DA CIÊNCIA A PARTIR DO ESTUDO DE RADIOATIVIDADE:</b> contribuições de uma sequência de ensino-aprendizagem. 319 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Fundação Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.
-----	------	--

FONTE: O autor (2020).

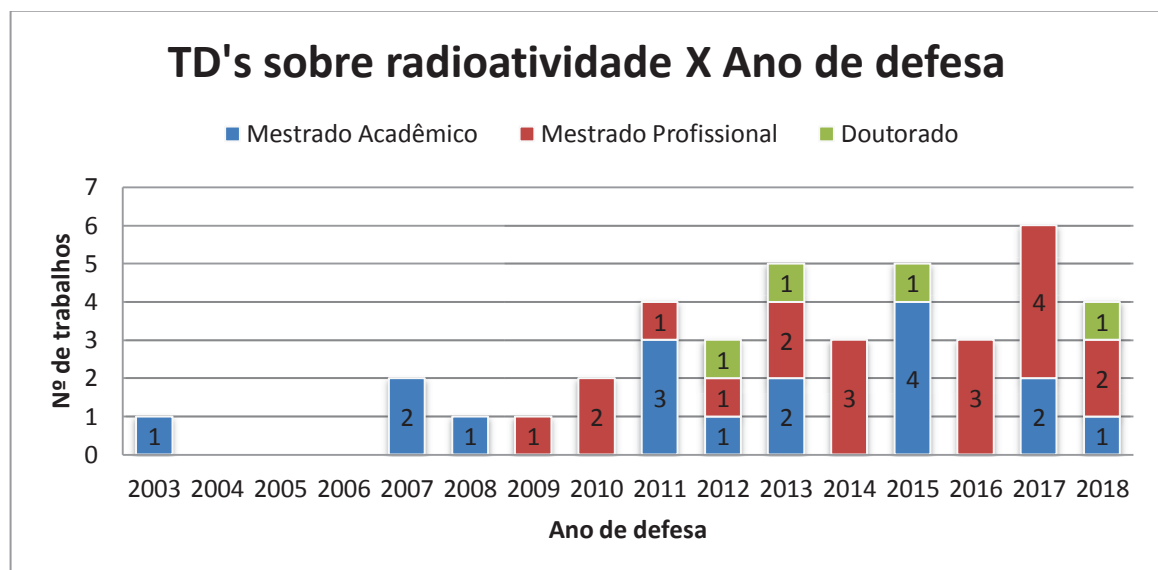
## 6.1 ANÁLISES DOS DESCRITORES GERAIS E ESPECÍFICOS

Após o levantamento das 4 teses e 36 dissertações, procedemos a análise destas por meio dos Descritores Gerais (DG) e Descritores Específicos (DE). Tal análise foi estruturada em 3 partes, as quais já foram descritas na metodologia (capítulo 5).

**Parte 1 – ANÁLISE DOS DESCRITORES GERAIS (DG):** ‘ano de defesa’, ‘grau de titulação’, ‘região’, ‘natureza da instituição’, ‘nível de ensino’ e ‘temas’;

Os DG ‘ano de defesa’ e ‘grau de titulação’ são apresentados na Figura 1:

FIGURA 1: DISTRIBUIÇÃO DAS TD POR ANO DE DEFESA.



FONTE: O autor (2020).

A primeira dissertação brasileira sobre radioatividade na educação (D1) foi defendida em 2003 e é sobre ‘CTS’. A partir deste dado foi possível compreender que a produção da temática na educação ainda é muito recente no Brasil e provavelmente se deve ao PCN (2000) que sugere incluir os conteúdos de radioatividade no currículo do ensino médio brasileiro.

Após quatro anos de interrupção, se observa que as pesquisas sobre radioatividade no ensino passaram a ser contínuas no Brasil. É possível observar

também que a temática teve o maior pico de número de trabalhos em 2017, quando o número de TD dobra em relação ao ano de 2016.

Em relação ao DG **'grau de titulação'**, no mesmo gráfico observamos 19 dissertações de mestrado profissional (47,5%), 17 dissertações de mestrado acadêmico (42,5%) e 4 teses de doutorado (10%). A primeira dissertação de mestrado profissional (D5) foi desenvolvida em 2009 e defendida por Luciana da Cruz Machado da Silva da Universidade de Brasília, sob orientação da Profa. Dra. Joice de Aguiar Baptista.

No ano seguinte (2010), foram defendidas mais duas dissertações de mestrado profissionalizante, uma em 2011, uma em 2012, duas em 2013, três em 2014, três em 2016, quatro em 2017 e duas em 2018. Estes dados sugerem uma tendência de mestrados profissionalizantes sobre radioatividade, visto que a maioria destes trabalhos são sequências didáticas para o ensino médio.

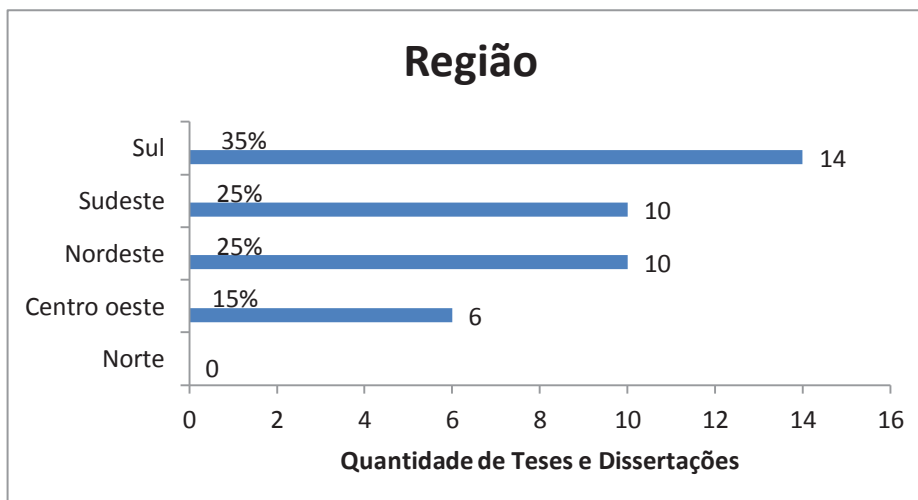
Cursos de mestrado e doutorado acadêmico procuram formar professores pesquisadores. Já os cursos de mestrados profissionalizantes buscam preparar o professor para incluir as pesquisas já realizadas ou desenvolvidas em sua profissão (CAPES, 2017).

Segundo o relatório de avaliação da CAPES (2017) dos 140 Programas de Pós-Graduação (PPG) ativos da área de ensino avaliados, 73 programas são de ensino profissionalizante. Assim a quantidade de dissertações profissionais sobre radioatividade deve se manter maior que a quantidade de dissertações acadêmicas.

Observamos que, como a maioria das dissertações que discutem a temática radioatividade, são de mestrado profissional e têm como foco sequências didáticas e práticas docentes no ensino médio, parece ser possível afirmar que se está construindo um bom repertório de atividades que podem ser desenvolvidas sobre a temática, o que é positivo.

A Figura 2 apresenta o DG 'região'.

FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DAS TD POR REGIÃO.



FONTE: O autor (2020).

Em relação ao DG 'região' a Figura 2 indica que a maior parte (35%) das teses e dissertações sobre radioatividade foram desenvolvidas no Sul. O que era inesperado, pois existe uma concentração de PPG na região sudeste e consequentemente maior investimento (CAPES, 2017).

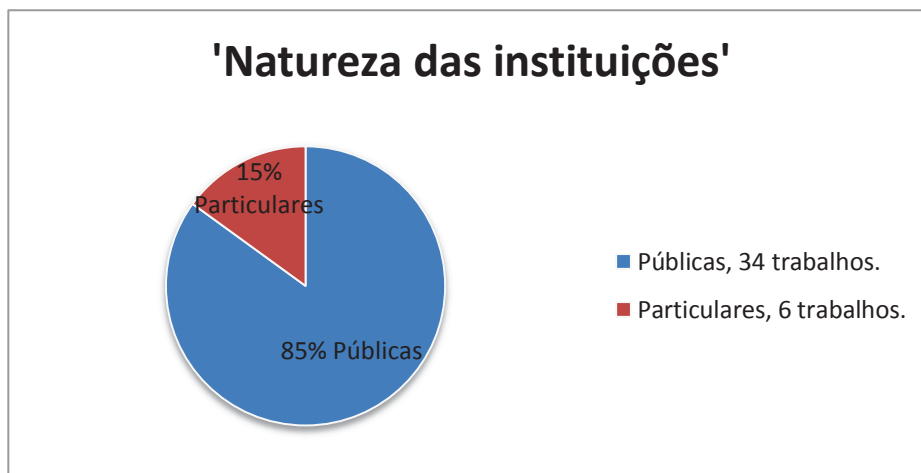
Um aspecto curioso e que pode explicar a quantidade de trabalhos na região Sul é o fato de o principal historiador da radioatividade no Brasil ter se formado em São Paulo e atuado como professor de Física na Universidade em Londrina e em Curitiba.

Este professor é Roberto de Andrade Martins, trabalhou aproximadamente 30 anos com o tema radioatividade. O Prof. Dr. Roberto ministrava disciplinas como História da Física, Filosofia da Ciência, Física Geral, Física Moderna e Evolução do Pensamento Filosófico e Científico. Entre as linhas de pesquisa de interesse do autor está a História da Ciência e Ensino.

Também foi possível identificar uma concentração de trabalhos de 25% na região Nordeste, igual, portanto, ao Sudeste. O que é muito positivo, pois existe uma ideia distorcida de que os estados da região Nordeste não produzem trabalhos como a região Sudeste. Entretanto neste recorte de pesquisas sobre radioatividade, podemos identificar que a quantidade de trabalho produzidos nesta região é igual ao Sudeste. Segundo o relatório de avaliação da CAPES (2017), em 2016, enquanto o Sudeste tinha 52 PPG da área de ensino, o Nordeste apresentava 11 programas.

A Figura 3 apresenta o DG **'natureza da instituição'**.

FIGURA 3: NATUREZA DAS INSTITUIÇÕES.



FONTE: O autor (2020).

Sobre o DG **'natureza das instituições'**, podemos identificar que a Figura 3 indica que a maior parte (85%) dos trabalhos é proveniente de instituições públicas. Isso era esperado, pois de acordo com a Clarivate Analytics (2017) apenas a produção científica da USP representa por mais de 20% da produção científica nacional. Além disso, o físico, professor e presidente da Academia Brasileira de Ciências, Luiz Davidovich, enfatiza que as universidades públicas respondem por mais de 95% da produção científica do Brasil (MOURA, 2019).

Nossos argumentos encontram respaldo no levantamento da Leiden Ranking (2020), que mostra que das 20 Universidades que mais publicam no Brasil, não há nenhuma privada (MOURA, 2019).

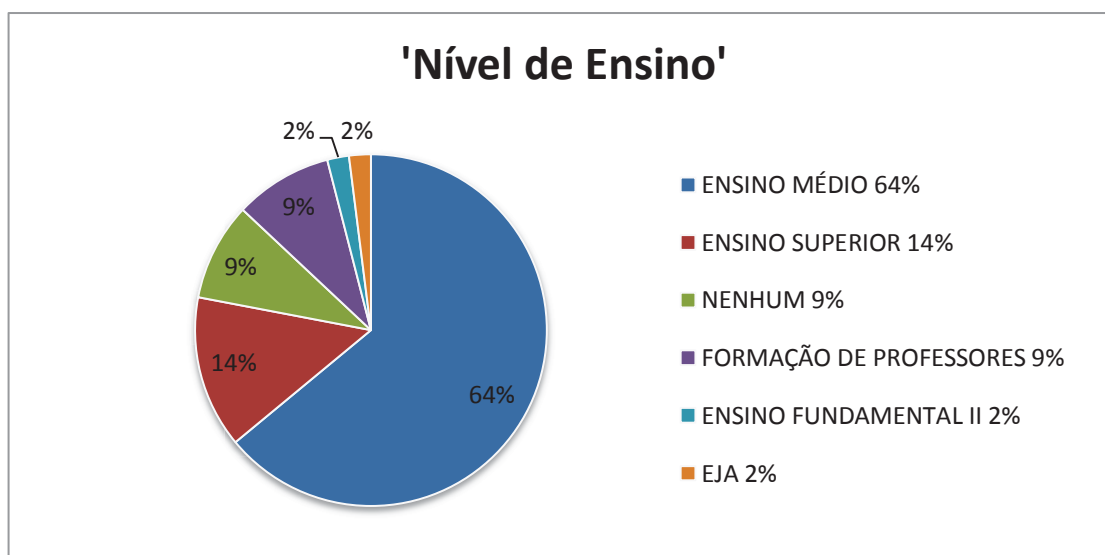
Apesar da USP possuir uma quantidade muito grande de publicações, é importante considerar a porcentagem de publicações de impacto. De acordo com a Leiden Ranking (2020) este indicador se refere à proporção de publicações de uma Universidade que, em comparação com outras publicações da mesma área e do mesmo ano, pertencem aos 10% principais citados com mais frequência. Este tipo de dado é capaz de elucidar se a quantidade de publicações está sendo proporcional à qualidade dos trabalhos.

Segundo a Leiden Ranking (2020) a instituição com melhor aproveitamento de impacto é a Universidade Federal de Pelotas (Sul), com 8,6%, seguida da Universidade Federal de Santa Catarina (Sul), com 7,3%, e a terceira é a Universidade Federal de São Carlos (Sudeste) com 7,1%.

A presença destas Universidades também foi observada nos trabalhos sobre radioatividade na educação. D1 e D8 foram defendidas na UFSC, D30 foi desenvolvida na Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e D19 é uma dissertação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

A Figura 4 apresenta o DG 'nível de ensino'.

FIGURA 4: NÍVEIS DE ENSINO FOCALIZADOS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.



FONTE: O autor (2020).

Quanto ao 'nível de ensino', interpretando a Figura 3 nota-se que o nível mais focado nos trabalhos sobre radioatividade é o Ensino Médio (EM), com 64%<sup>14</sup> dos trabalhos. Seguido de ensino superior (14%), nenhum<sup>15</sup> (9%), formação de professores (9%), ensino fundamental II (2%) e ensino de jovens e adultos (2%). Certa predominância do ensino médio era esperada, pois como TD sobre radioatividade são provenientes de mestrados profissionalizantes e, como os PCN (2000) orientam que os conteúdos de radioatividade devam ser desenvolvidos no ensino médio, é normal que a maioria dos trabalhos focalize este nível.

Todavia, os dados relativos ao ensino superior e formação de professores são preocupantes, uma vez que somados totalizam apenas 23% das TD. Observa-se, portanto que existe uma quantidade baixa de TD que têm como foco os professores. Segundo Monteiro (2011), Martins (2007) e Rocha (2018), as

<sup>14</sup> As porcentagens foram calculadas em relação aos 43 níveis de ensino focalizadas nas 40 TD que abordam sobre radioatividade no ensino e educação.

<sup>15</sup> As TD chamadas de **nenhum**, são teses e dissertações de análise de materiais didáticos, biografias, filosofia da ciência e análise de currículo que não focam em um nível de ensino específico.

concepções que os professores desenvolvem e apresentam sobre a história da radioatividade influenciam diretamente na sua prática. Então é essencial que os docentes conheçam a história, tenham recursos e instrumentos para trabalhar com a radioatividade em sala de aula.

Outros níveis pouco explorados são o Ensino Fundamental (EF) e o Ensino de Jovens e Adultos (EJA), ambos sendo foco de estudo em apenas uma dissertação cada (D30) e (D34). De acordo com D30, o intuito de trabalhar com biotecnologia, lixo eletrônico, viajando no espaço e radioatividade no 9º ano, foi pela possibilidade de articular Biologia, Física e Química com a tecnologia.

A pesquisa de D30 é um exemplo relevante que mesmo com uma quantidade elevada de disciplinas nos anos finais de EF é importante trabalhar temáticas contextualizadas na educação. Já as dificuldades no ensino EJA, segundo Krummenauer, Costa e Silveira (2010), envolvem as considerações sobre o tempo que os estudantes estão longe da educação, na compreensão dos conteúdos e a metodologia dos docentes nas aulas.

A D34, *‘Ensino de Física Nuclear com enfoque ‘CTS’ por meio da experimentação’*, buscou entender se a abordagem ‘CTS’ poderia contribuir para o ensino de Física Nuclear em uma turma do EJA. Para D34, as aulas possibilitaram que os estudantes estabeleçam relações entre a ciência, à tecnologia e a sociedade.

Uma das dificuldades de ensinar sobre radioatividade consiste em aproximar os conteúdos científicos da vida do aluno. Então segundo D34, refletir como a radioatividade afeta a vida das pessoas, contribuiu para a formação de alunos preocupados, participantes e conscientes com as decisões políticas sobre a temática.

O Quadro 3 apresenta o DG **‘temas’**:

QUADRO 3: TEMAS DISCUTIDOS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.

Tema	Descrição	%
Radiações	Partículas $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ , ondas eletromagnéticas, modelos atômicos, tempo de meia vida e núcleo atômico.	18%
Catástrofes	Bombas atômicas e de hidrogênio, 2ª Guerra Mundial, Hiroshima, Nagasaki, Chernobyl, césio-137 em Goiânia, acidentes nucleares e projeto Manhattan	18%
Histórias	Pesquisa de Marie Curie, biografia de cientistas, Röntgen e os raios X e pesquisa de Antoine-Henri Becquerel	17%
Energia Nuclear	Energia nuclear, fontes de energia e fontes alternativas de energia	15%

Saúde	Radioterapia, medicina nuclear radiografia, rádioisótopos, contaminação e hospital do câncer	15%
Alimentos	Irradiação de alimentos e conservação de alimentos	11%
Ambiente	Lixo radioativo, poluição, crise hídrica, impacto ao meio ambiente, resíduos radioativos e contaminação ambiental	6%

FONTE: O autor (2020).

Em relação ao DG **'temas'**, o Quadro 3 foi desenvolvido com a intenção de organizar os temas que são trabalhados a partir das discussões sobre radioatividade. As possibilidades de discussões a respeito da radioatividade não estão limitadas a este quadro, as reflexões podem envolver aspectos sociais, ambientais, políticos, tecnológicos, históricos, filosóficos, entre outros. Assim os temas estão intimamente ligados ao 'foco temático', que será discutido no próximo tópico.

Das 40 TD que foram analisadas, apenas 6 desenvolveram uma temática específica nos trabalhos. Isso mostra como os conceitos de radioatividade envolvem diferentes áreas do conhecimento. O que é positivo, pois as outras 34 pesquisas tiveram a possibilidade de contemplar mais temas em um trabalho. Portanto as porcentagens foram calculadas para um total de 148 temas encontrados nas 40 TD.

O tema mais focado diz respeito às radiações do ponto de vista conceitual. Este fato pode ser explicado devido à obrigatoriedade de trabalhar os conteúdos específicos de partículas e modelos atômicos na educação. Como estes conteúdos estão interligados e geralmente os livros didáticos apresentam tais conteúdos próximos, ou até no mesmo capítulo, facilita o trabalho do professor, otimiza o tempo e a busca por informações.

As temáticas catástrofes e histórias estão presentes em 18% e 17% dos trabalhos respectivamente. Em relação às catástrofes, é importante a compreensão de aspectos da 'NdC' pelo fato que de acordo com Gil-Pérez et. al. (2001) se o professor não estiver instrumentalizado para trabalhar com este tema ele pode enfatizar uma visão deformada da ciência, como se a Física, ou principalmente a Química fosse desenvolvida por pessoas perigosas, ou loucas, que gostam de armas e explosões. O que é muito diferente da realidade das pessoas que realmente trabalham com Física, Química e com a ciência.

No que se refere à História, a maioria dos trabalhos discutem sobre as pesquisas de Röntgen, Marie Curie, Pierre Curie e Becquerel. Assim também é



possível notar que muitos estudantes conhecem os nomes destes cientistas. O que Gil-Pérez, et. al. (2001), Lederman (2006) e Rozentaliski (2018) aconselham é que deve ser evitado que sejam mencionados apenas os ‘grandes nomes’ da ciência e enfatizar que estes pesquisadores trabalhavam em grupos e que outras pessoas também contribuem no desenvolvimento e na análise dos resultados.

Os temas energia nuclear e saúde correspondem a 15% dos trabalhos cada. O fato destes temas serem desenvolvidos se deve a constante presença das discussões na mídia. Adicionalmente, sobre a energia nuclear e saúde existe uma facilidade em perceber estes temas com as relações entre ‘CTS’ e como afetam a vida das pessoas, também sendo bastante desenvolvido de forma interdisciplinar.

E finalmente as temáticas alimentos e ambiente estão presentes em 11% e 6% dos trabalhos respectivamente. Em relação aos alimentos, como a radiação utilizada provoca ionização<sup>16</sup>, as cargas resultantes produzem efeitos químicos e biológicos que impedem a formação de bactérias. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), alimentos irradiados com doses de até 10 quilograys (kGy) não necessitam de avaliação toxicológica ou nutricional.<sup>17</sup>

Já sobre o meio ambiente as discussões envolvem as questões da quantidade de lixo radioativo, os danos à saúde e a contaminação radioativa. Então são trabalhos sobre os tipos de fontes energéticas e os efeitos de exposições prolongadas à cada tipo de radiação nas pessoas, animais ou no meio ambiente.

**Parte 2 – ANÁLISE DOS DESCRITORES ESPECÍFICOS (DE):** ‘focos temáticos’ e ‘metodologia’.

Em relação aos DE, todos os trabalhos foram caracterizados a partir de elementos de conteúdo com propriedades próprias. Portanto foi necessário investigar as concepções, epistemológicas, fenomenológicas, o sentido e o significado das produções (MORAES, GALIAZZI, 2007). Articuladamente o analista assume a autoridade de seus argumentos, o que envolveu o modo de leitura e interpretação como ferramenta epistemológica.

---

<sup>16</sup> Na Química e na Física, ionização é nome do processo do qual um átomo ou uma molécula perde ou ganha elétrons, ou seja, geram cargas positivas ou negativas, para formar íons.

<sup>17</sup> Para retardar o amadurecimento de frutas, por exemplo, não é necessário mais do que 1 kGy. Para inibir o brotamento de raízes e tubérculos (batata, cebola, alho, etc.) a dose necessária varia de 0,05 a 0,15 kGy. Para prevenir que os grãos sejam infestados por insetos, 0,1 a 2 kGy são suficientes. (KOEPEL, 2003, p.113).

Como estudante de Licenciatura e da área educacional houve expectativas sobre os elementos de conteúdos que fundamentam as pesquisas. As categorias ‘a priori’ consistem em ‘Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)’, ‘História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC)’, ‘ensino aprendizagem’, ‘aprendizagem significativa’, ‘Natureza da Ciência (NdC)’, ‘Educação Ambiental (EA)’, metodologia investigativa e estudo de caso. Já a categoria emergente foi a ‘análise documental’.

As categorias que descrevem os ‘focos temáticos’ foram ‘CTS’, ‘HFSC’, ‘ensino aprendizagem’, ‘aprendizagem significativa’, ‘NdC’ e ‘EA’.

A descrição de cada ‘foco temático’ e a distribuição dos trabalhos estão no Quadro 4.

QUADRO 4: FOCOS TEMÁTICOS DISCUTIDOS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.

Foco temático	Descrição	Código
CTS	Apresentam aspectos que inter-relacionam a Ciência, Tecnologia e Sociedade e contribuem para democratizar a educação científica.	D1, D2, D5, D6, T2, D18, D25, D26, D27, D28, D34, D36
HFSC	Apresentam a ciência e seus aspectos históricos, filosóficos e sociológicos, de modo que abordam sobre o processo de construção da ciência.	D5, D8, D10, T2, D18, D20, D22, D23, D35, D36
Ensino Aprendizagem	Apresentam estratégias, propostas, analogias e análise de livros didáticos sobre o ensino de radioatividade.	D11, D13, D16, D17, D19, D21, D30, D31, D33
Aprendizagem significativa	Apresentam aspectos da teoria da aprendizagem significativa defendida por Ausubel (1968), médico e psicólogo com doutorado em psicologia.	D7, T1, D12, D15, D18, D32, T4
NdC	Apresentam aspectos que envolvem sobre o processo de desenvolvimento científico. Podem discutir sobre visões pouco elaboradas de ciência, visões de ciência e concepções das pessoas sobre ciência.	D3, D8, D10, D20, D22, D36
Educação ambiental	Apresentam discussões como a energia nuclear, contaminações, impactos ambientais, o acidente do Césio-137 em Goiânia e desmatamento.	D29, D32

FONTE: O autor (2020).<sup>18</sup>

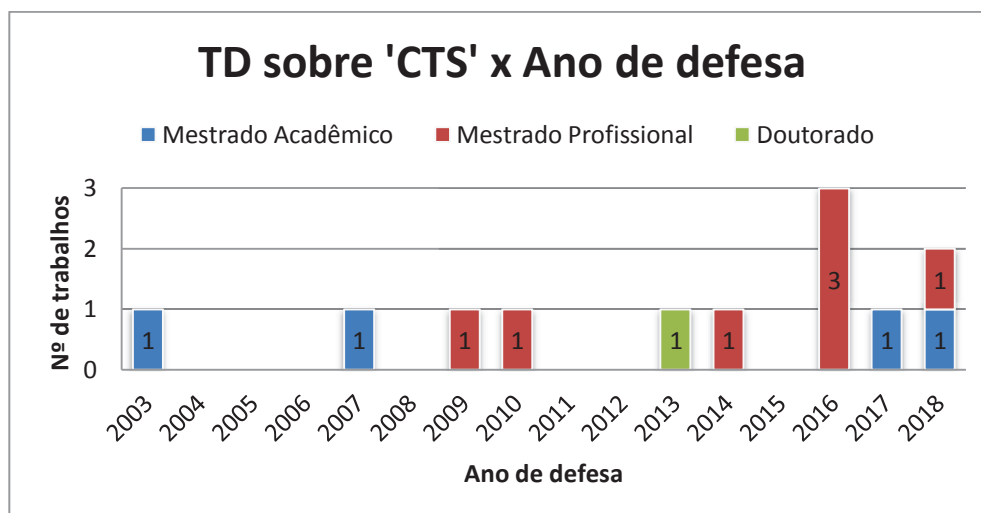
O foco temático ‘**CTS**’ apresenta 12 pesquisas, sendo 11 dissertações e 1 tese. Estão neste foco temático: D1, D2, D5, D6, T2, D18, D25, D26, D27, D28, D34 e D36. Enquanto que a D6 elaborou uma planilha no Excel para analisar as relações ‘CTS’ sobre radioatividade e energia nuclear nos livros didáticos do ensino médio,

<sup>18</sup> Este quadro possibilita que o professor encontre o foco temático ou a metodologia presente na tese ou dissertação. Apesar do foco temático e a metodologia estarem presentes em quadros semelhantes, todos os trabalhos foram analisados separadamente. Para compreender o estado do conhecimento que a radioatividade está presente nos trabalhos, foi necessário investigar o enfoque epistemológico, histórico, filosófico e social.

todos os outros trabalhos investigaram sobre estratégias didáticas no ensino, apresentando sequências didáticas ou atividades para abordar sobre radioatividade e as relações 'CTS'.

A Figura 5 apresenta as TD sobre 'CTS' por ano de defesa:

FIGURA 5: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'CTS' POR ANO DE DEFESA.



FONTE: O autor (2020).

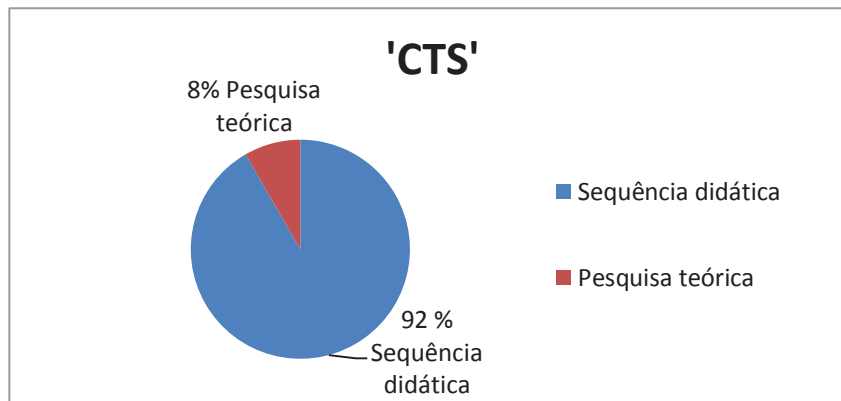
A primeira dissertação brasileira sobre radioatividade na educação (D1) foi defendida em 2003, o nome é '*CTS no Ensino Médio: aproximando a escola da sociedade*' e investiga sobre a possibilidade de diversos temas para trabalhar a interação entre 'CTS' no ensino médio, principalmente envolvendo questões sociocientíficas sobre a utilização da energia nuclear na medicina e como fonte de energia.

Após quatro anos foi defendida a D2. Esta dissertação investiga, no ensino médio, uma unidade de aprendizagem sobre energia nuclear e radioatividade para trabalhar as relações entre 'CTS'.

Os trabalhos que apresentam sequências didáticas 'CTS' no ensino são: D1, D2, D5, T2, D18, D25, D26, D27, D28, D34 e D36. Sendo uma para o 1º ano (D2), quatro para o 2º ano (D5, D25, D28 e D36), quatro para o 3º ano (T2, D18, D26 e D27), D1 não indicou o ano das turmas e D34 trabalhou com EJA.

A Figura 6 descreve as TD sobre '**CTS**':

FIGURA 6: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE '**CTS**'.



FONTE: O autor (2020).

Em relação aos trabalhos '**CTS**' apenas D6 e D34 não apresentaram sequências didáticas para o ensino médio. Como já mencionado, o EF e o EJA são pouco explorados no ensino de radioatividade, pois o PCN (2000) descreve que os conteúdos de radioatividade são trabalhados no ensino médio, então apenas o trabalho D34 investigou sobre '**CTS**' no EJA.

As propostas '**CTS**' foram desenvolvidas em duas disciplinas: Química (D1, D2, D5, D25, D26 e D27) e Física (T2, D18, D28 e D34). As sequências didáticas discutem temas como radiações, catástrofes, energia nuclear, história, ambiente, indústria e alimentos. Portanto as possibilidades temáticas são abrangentes, mas é importante ter em mente as concepções de '**NdC**' para entender se está sendo trabalhada visões adequadas da atividade científica (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; GIL-PÉREZ, ET. AL. 2001).

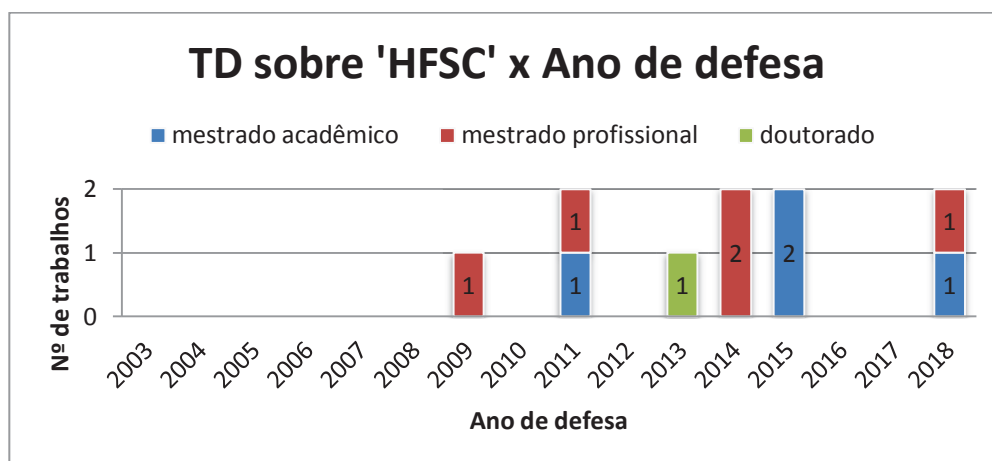
Em relação aos objetivos '**CTS**' na educação de radioatividade, temos que os trabalhos buscam: (1) investigar como uma sequência didática baseada em '**CTS**' pode facilitar o ensino e aprendizagem dos conteúdos de radioatividade; (2) investigar se os estudantes compreendem as relações entre '**CTS**' após a sequência didática; (3) possibilitar que os alunos tomem decisões democráticas envolvendo ciência e tecnologia; e (4) investigar se o material didático sobre radioatividade relaciona aspectos '**CTS**'.

O segundo foco temático com mais trabalhos foi '**HFSC**', em que estão as pesquisas que investigam aspectos históricos, filosóficos, sociológicos e científicos envolvendo a radioatividade e a educação. As distribuições destas TD por ano de

defesa estão na Figura 7. Estão neste foco temático: D5, D8, D10, T2, D18, D20, D22, D23, D35, D36.

A Figura 7 apresenta a distribuição das TD sobre 'HFSC' por ano de defesa:

FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'HFSC' POR ANO DE DEFESA.

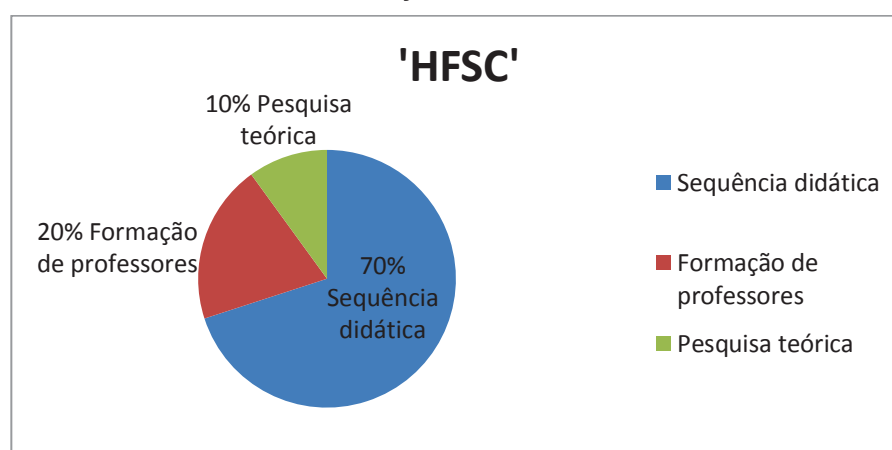


FONTE: O autor (2020).

A maioria destes trabalhos apresentam sequências didáticas de abordagem 'HFSC' na radioatividade, dois trabalhos apresentam cursos de formação de professores (D8 e D23) e um trabalho é uma pesquisa teórica (D35).

A Figura 8 descreve as TD sobre 'HFSC':

FIGURA 8: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'HFSC'.



FONTE: O autor (2020).

Dentre os trabalhos que apresentam sequências didáticas ou atividades isoladas de abordagem 'HFSC' ou 'HFC' na educação estão: D5, D10, T2, D18, D20, D22 e D36. Todas sugerem sequências didáticas para o ensino médio, sendo três para o 2º ano (D5, D20 e D36) e quatro para o 3º ano (D10, T2, D18 e D22).

Como visualizado em análises anteriores, a interpretação para **'HFSC'** não é diferente para os níveis de ensino fundamental e EJA, nenhum dos trabalhos de **'HFSC'** focaram estes níveis de ensino.

Quanto às atividades realizadas nas sequências didáticas, quatro dissertações tiveram como objetivo principal a de discussão da **'NdC'**, foram D10, D20, D22 e D36. Nestes trabalhos os aspectos da **'NdC'** foram estudados e discutidos a partir da história da radioatividade.

Em D10 os resultados indicam que os textos utilizados para trabalhar com episódios históricos devem ser selecionados com cuidado, pois como Forato, Pietrocola e Martins (2011) afirmam, a seleção do texto deve ser desenvolvida com cautela, caso contrário pode levar a uma distorção tanto da história quanto da complexidade do conhecimento científico.

Já D22 destaca também sobre as dificuldades imprevistas de trabalhar com a radioatividade e a **'NdC'**, são elas: (1) problemas conceituais nos sites de pesquisa; (2) resistência com o transdisciplinar, dificuldade teórica com a definição dos conceitos de multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade; (3) a controvérsia da continuidade e descontinuidade da matéria; (4) a pressão do mestrado; (5) dificuldades com a divulgação da pesquisa; e (6) dificuldade na proposição das aulas.

O autor de D36 problematizou os sentidos dos termos descoberta, método científico e ciência. Os resultados da pesquisadora indicam que com o desenvolvimento da sequência didática na perspectiva **'HFSC'** foi possível “desestabilizar as concepções empirista, linear, neutra e masculina de ciência” (D36, 2018, p.8).

Em relação às duas dissertações com foco nos professores (D8 e D23): Cordeiro (2011), em um curso de formação inicial na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), investiga que aspectos **'HFSC'** podem auxiliar no entendimento de radioatividade; e Prado (2015) investiga a partir dos pressupostos **'HFSC'**, sobre os conceitos da estrutura da matéria em curso de formação continuada com professores que ministram aulas de Física no ensino médio.

Em D8, Cordeiro (2011) constatou que os professores tiveram uma compreensão mais elaborada da história da radioatividade e de características da atividade científica. A partir da associação dos aspectos da **'NdC'** com a história da

radioatividade foi possível encontrar contraexemplos às visões pouco elaboradas da ciência descritas por Gil-Pérez et. al. (2001).

Já em D23, a partir das respostas dos professores sobre o entendimento da estrutura da matéria, o autor destaca que entre os professores existem divergências conceituais dos sujeitos em relação ao conhecimento científico atual. Demonstrando como diferentes personagens podem compreender o mesmo fenômeno de diferentes maneiras (CHALMERS, 1993).

O trabalho que apresenta uma pesquisa teórica sobre '**HFSC**' foi o D35. Neste trabalho a partir de uma pesquisa qualitativa com abordagem historiográfica, Farias (2018) apresenta a História de Marie Curie, as dificuldades que as mulheres enfrentavam na ciência, o contexto histórico da França e a construção social e coletiva do conhecimento científico.

Existem propostas '**HFSC**' para duas disciplinas: Química (D5 e D22), Física (D8, D10, T2, D18, D20, D22 e D23) e a D36 não foi desenvolvida em uma turma regular. Todas as propostas apresentam diversas possibilidades temáticas, além de discutirem aspectos diversos como '**CTS**', '**NdC**', histórico, filosófico e social. Por exemplo, D22 é uma sequência didática preparada para Química e Física, cujo tema da segunda aula foi os primeiros contatos com a radioatividade. Para além da Química, foi problematizado: (1) a ideia de descoberta científica; e (2) cientistas que não erram e resolvem sozinhos enigmas da natureza. Ao final, o professor sugere que os alunos pesquisem sobre mulheres que se destacaram na ciência.

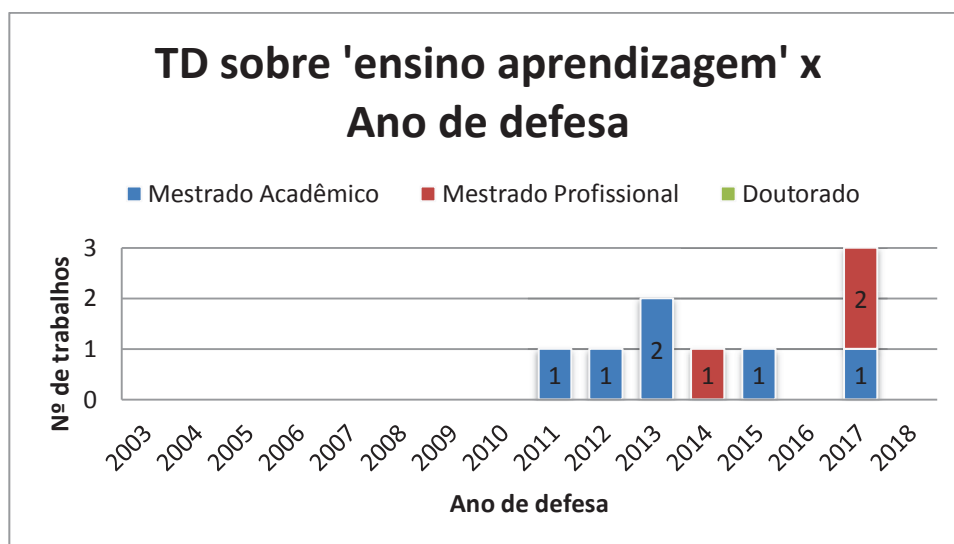
Em relação aos objetivos da '**HFSC**' na Educação de radioatividade, temos que os trabalhos buscam: (1) investigar como uma sequência didática baseada em '**HFSC**' pode facilitar o ensino dos conteúdos de radioatividade; (2) identificar concepções prévias e após a sequência didática sobre o entendimento dos alunos sobre radioatividade; (3) compreender se a abordagem '**HFSC**' possibilita que os alunos entendam a ciência e a tecnologia como uma construção social; (4) a partir da abordagem '**HFSC**', contextualizar os conteúdos e estimular a curiosidade dos alunos; (5) verificar se a abordagem '**HFSC**' da radioatividade melhoram as concepções de ciência dos estudantes; e (6) instrumentalizar professores preparados para as dificuldades do ensino de radioatividade.

A categoria '**ensino aprendizagem**' apresenta 9 dissertações. Estão nesta categoria: D11, D13, D16, D17, D19, D21, D30, D31, D33. Este foco temático busca

discutir, refletir e produzir propostas de ensino e aprendizagem na educação sobre radioatividade (VASCONCELOS, 2011; TIMM, 2012; GOMES, 2013).

A Figura 9 apresenta as TD sobre 'ensino aprendizagem' por ano de defesa:

FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'ENSINO APRENDIZAGEM' POR ANO DE DEFESA.

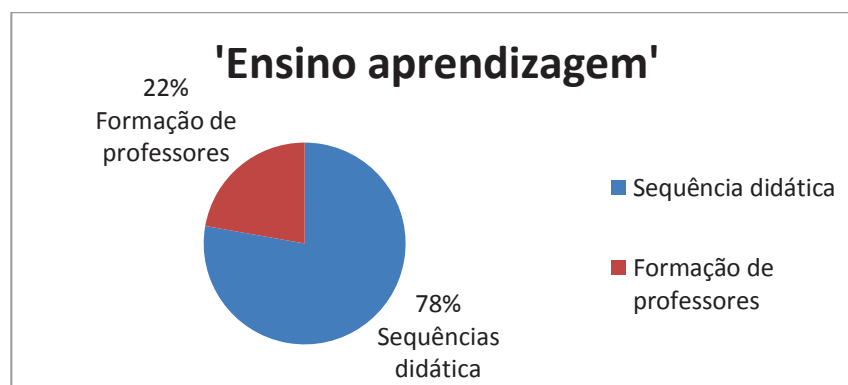


FONTE: O autor (2020).

Enquanto que D13 e D17 trabalharam com cursos de formação inicial de professores de Física e Química na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) respectivamente, todas as outras pesquisas desenvolveram sequências didáticas para o ensino de radioatividade.

A Figura 10 descreve as TD sobre 'ensino aprendizagem':

FIGURA 10: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'ENSINO APRENDIZAGEM'.



FONTE: O autor (2020).



D13 investigou como que o tema transversal saúde articulado com os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) pode contribuir para a elaboração de planejamentos didáticos sobre energia nuclear e radioatividade. O autor argumenta que utilizar temas apenas como uma ferramenta ilustrativa não é suficiente para que os alunos relacionem os conteúdos com a realidade aplicada da temática.

Já Silva (2013), em D17, investigou como a resolução de uma situação-problema pode contribuir para o ensino e aprendizagem de radioatividade de graduandos de Química da UFRPE. Então a partir de uma situação adaptada, problematizando uma reportagem sobre Radioterapia, Silva (2013) argumenta que a abordagem destacou o trabalho cooperativo, a construção do conhecimento e o desejo pela pesquisa.

Os trabalhos que apresentam sequências didáticas de 'ensino e aprendizagem' são: D11, D16, D19, D21, D30, D31 e D33. Sendo uma para o 9º ano do EF (D30), uma para duas turmas de segurança do trabalho (D21), uma para o 1º ano (D11), duas para o 2º ano (D16 e D33), uma não descreveu em que turma desenvolveu as pesquisas (D31) e uma não desenvolveu a sequência didática em alguma turma (D19).

D30 investigou como os alunos entendiam as atividades em torno dos temas biotecnologia, lixo eletrônico, viajando no espaço e radioatividade, em 29 aulas em uma turma do 9º ano do EF. O autor considera que trabalhar os conteúdos científicos de maneira integrada, levou os alunos para além da repetição de conceitos e teorias.

Batista (2015), em D21, avaliou as potencialidades de sobrevivência do tópico radioatividade e elaborou uma sequência de ensino e aprendizagem para desenvolver em sala de aula. Em relação às potencialidades, o autor entende que diversos grupos, sejam cientistas ou não, precisam compreender sobre radiações e suas aplicações na sociedade. Após desenvolver a sequência didática de ensino e aprendizagem, o autor conclui que o processo tornou-se mais didático do ponto de vista construtivista, permitiu trabalhar os tópicos de radioatividade de forma mais abrangente e levou os alunos a ressignificação das concepções prévias sobre radioatividade.

Já no ensino médio, enquanto D11 e D33 elaboraram uma WebQuest (WQ) sobre radioatividade, D16 investigou como diferentes ferramentas culturais contribuem no aprendizado dos conceitos de radioatividade.

D11 discute que com a estratégia foi possível mostrar uma imagem mais próxima da realidade do que o que é transmitido pela televisão. Vanz (2017), em D33, considera que a WQ estimulou os estudantes do 2º ano ao estudo dos conceitos científicos sobre radioatividade, bem como suas aplicações.

Já D16, identificou que os estudantes confundem a utilização do termo radiação, ora se referem à radiação nuclear, ora se referem à radiação eletromagnética. Entretanto este fator não impediu possibilitar que os alunos estabeleçam relações dos conteúdos com os temas desenvolvidos nas ferramentas culturais (energia nuclear, saúde, radiações, história e catástrofes).

Os trabalhos D19 e D31 não aparecem exclusivamente em uma categoria. Assim estes dois trabalhos se encontram nas categorias **‘ensino aprendizagem’** (D19 e D31), **‘metodologia investigativa’** (D19) e **‘estudo de caso’** (D31). O que é positivo, pois ambos possibilitam desenvolver diferentes abordagens.

D’ Andrea (2014), em D19, primeiramente identifica uma das dificuldades de trabalhar com estrutura da matéria, radioatividade, raios cósmicos e partículas elementares: São fenômenos físicos que não são facilmente observáveis. Então a autora propõe a construção de uma Câmara de Wilson Eletrônica com materiais de fácil acesso. Segundo a autora o instrumento educacional deve ser apresentado a partir do contexto de ensino por investigação, para contornar os obstáculos referentes ao ‘ver’ e ao ‘ouvir’ a radioatividade.

D31 investigou a aprendizagem da radioatividade por estudantes surdos. Nesta dissertação, os temas discutidos foram catástrofes, energia nuclear, alimentos e saúde, nesta perspectiva além de utilizar estratégias didáticas, Pereira (2017) argumenta sobre as condições sociais, linguísticas e culturais. Para concluir a autora afirma:

Chegamos a conclusão que houve de fato a construção do conhecimento científico pelos estudantes surdos a partir do conteúdo radioatividade via argumentação (PEREIRA, 2017, p. 169).

Foram identificadas propostas de **‘ensino e aprendizagem’** de radioatividade para três disciplinas: Química (D11, D31 e D33), Física (D13, D16,

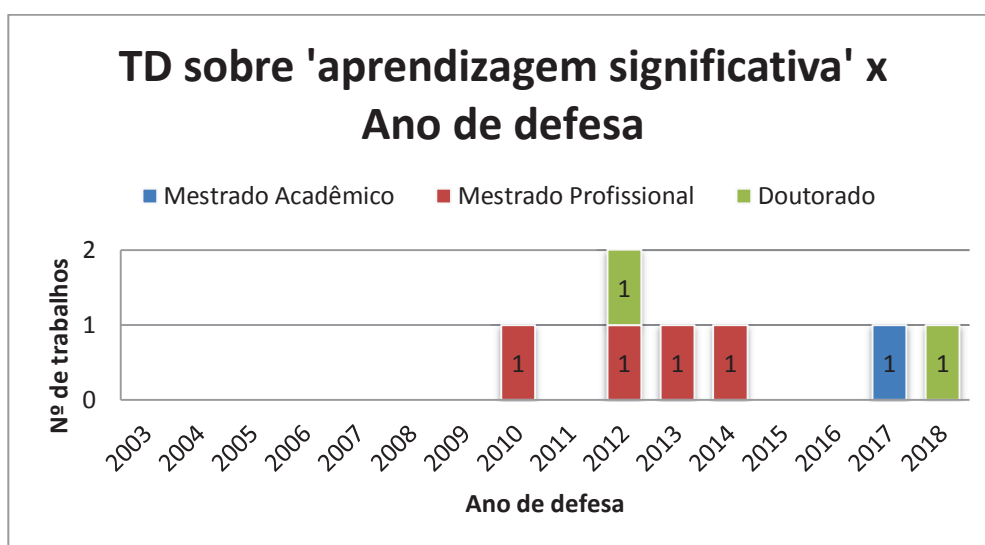
D19 e D21) e ciências (D30). Como foi possível identificar, todas as propostas apresentam conceitos para além da Química, da Física e das ciências. Por exemplo, D31 trabalhou com a inclusão, D11 e D13 desenvolveram WebQuest e D13 trabalhou com o tema saúde e radioatividade em um curso de formação de professores.

Então os objetivos do **‘ensino e aprendizagem’** na radioatividade consistem em: (1) entender como uma proposta de ‘ensino e aprendizagem’ pode contribuir para que os alunos entendam os significados dos conteúdos; (2) desenvolver instrumentos de aprendizagem para a radioatividade; (3) investigar as potencialidades didáticas das temáticas sobre radioatividade; e (4) instrumentalizar professores para trabalhar com o ‘ensino e aprendizagem’ de radioatividade.

Na Figura 11 estão as TD sobre **‘aprendizagem significativa’**. Estes investigam a partir da teoria do conhecimento de David Ausubel. Estão nesta categoria: D7, T1, D12, D15, D18, D32 e T4. De acordo com Ausubel (1968) a aprendizagem significativa se desenvolve quando existe interação entre a informação nova com os subsunçores (estrutura do conhecimento) (MOREIRA, 1999).

A Figura 11 apresenta as TD sobre **‘aprendizagem significativa’** por ano de defesa:

FIGURA 11: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE ‘APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA’ POR ANO DE DEFESA.

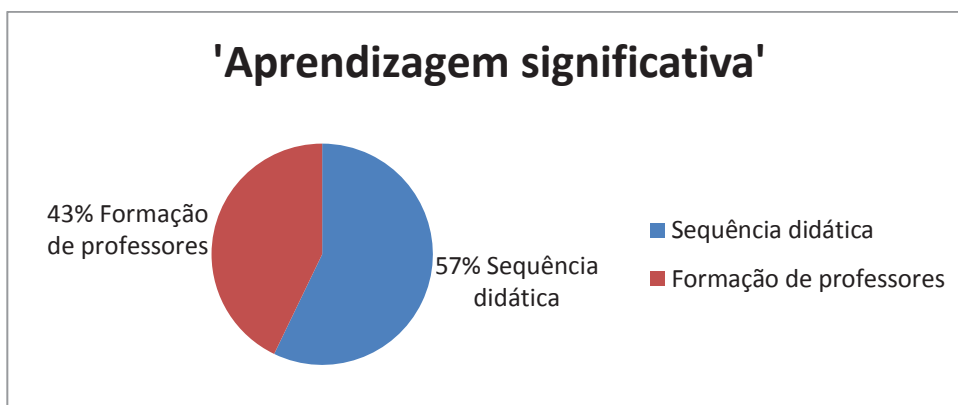


FONTE: O autor (2020).

Quatro trabalhos são sequências didáticas de **'aprendizagem significativa'** na radioatividade (D7, T1, D15 e D18) e três trabalhos desenvolveram cursos de formação de professores (D12, D32 e T4).

A Figura 12 descreve as TD sobre **'aprendizagem significativa'**:

FIGURA 12: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA'.



FONTE: O autor (2020).

Dentre as sequências didáticas, todas desenvolveram sua pesquisa no ensino médio, sendo trabalhos para o 2º ano e 3º ano de Química e Física. Enquanto que D7, T1 e D15 desenvolveram uma hiperídia, um software e um software respectivamente, para desenvolver os conceitos de radioatividade, D18 trabalhou com a vida e o legado de Marie Curie para uma introdução multidisciplinar sobre radioatividade.

D7 e D15 consideram que as ferramentas didáticas digitais desenvolvidas são materiais viáveis para professores trabalharem o assunto de radioatividade de forma dinâmica e contextualizada.

Cortez (2014), em D18, discute que contrariando o que outros professores falavam sobre uma turma do interior não se preocupar com ciência e tecnologia, os alunos se envolveram, pesquisaram e questionaram sobre a História de Marie Curie. Assim, para o autor, o objetivo foi alcançado, alunos desmotivados e desinteressados pelo estudo da Física, passaram a perceber que “fórmulas matemáticas, leis e conceitos são importantes.” (CORTEZ, 2014, p. 50).

Quanto aos trabalhos que apresentam cursos de formação de professores D12 e D32 trabalharam com a formação inicial de professores e T4 trabalhou com a formação inicial e continuada de professores. Enquanto que D12 e D32 desenvolveram disciplinas na graduação de ciências da natureza (habilitação em

Física) e Química respectivamente, T4 investigou como estratégias metodológicas em um curso de formação inicial e continuada em educação do campo podem possibilitar reflexões entre tecnologia, gênero, sexualidade e os impactos na sociedade.

D12 desenvolveu sua pesquisa em uma turma de licenciatura em ciências da natureza com habilitação em Física do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). O autor investiga como a produção textual e a construção de um blog sobre radioatividade auxilia os estudantes no entendimento de estratégias de aprendizagem significativa, na divulgação científica, no conhecimento de radioatividade e energia nuclear.

Já, em D32, Silva (2017) apresenta um plano de formação para os professores que o autor chama de radioatividade ambiental. O projeto foi desenvolvido no curso de licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e investiga como uma ressignificação no ensino de radioatividade, sem deixar de abordar as problemáticas socioambientais, possibilita problematizar as imagens pouco elaboradas sobre radioatividade.

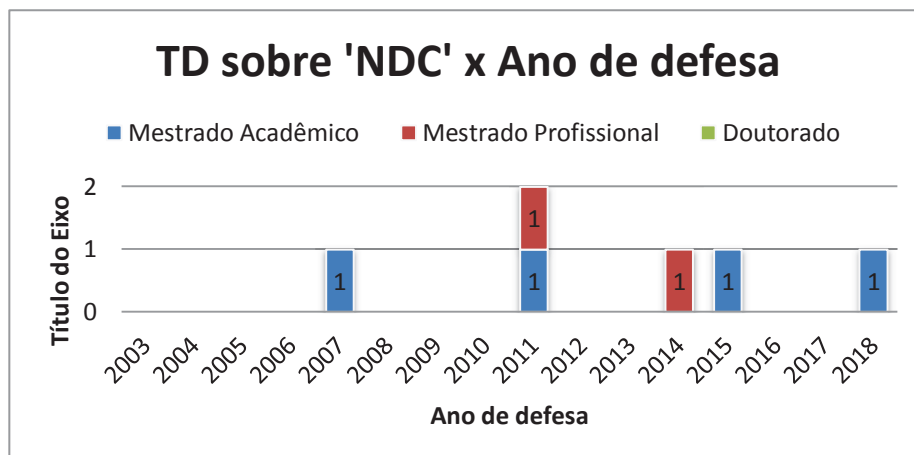
T4 após trabalhar com um teatro sobre 'Lady Marie Curie', desenvolver oficinas em um projeto de formação inicial e continuada da educação do campo da UFSC e propor a ferramenta Portfólio para avaliar estudantes defende que a questão da reflexão sobre a prática docente é capaz auxiliar e modificar a atuação do professor em sala de aula.

Então os objetivos da '**aprendizagem significativa**' na Educação de radioatividade consistem em: (1) desenvolvimento de ferramentas digitais para professores; (2) inclusão e divulgação científica; (3) problematizar visões simplistas sobre radioatividade; (4) instrumentalizar professores para trabalhar com a radioatividade; e (5) discutir as relações entre a radioatividade e a sociedade.

Na Figura 13 estão as TD do foco temático '**NdC**'. Estes investigam como as visões de ciência são compreendidas na educação sobre radioatividade. Estão neste foco temático seis dissertações: D3, D8, D10, D20, D22 e D36.

A Figura 13 apresenta as TD sobre '**NdC**' por ano de defesa:

FIGURA 13: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'NDC' POR ANO DE DEFESA.

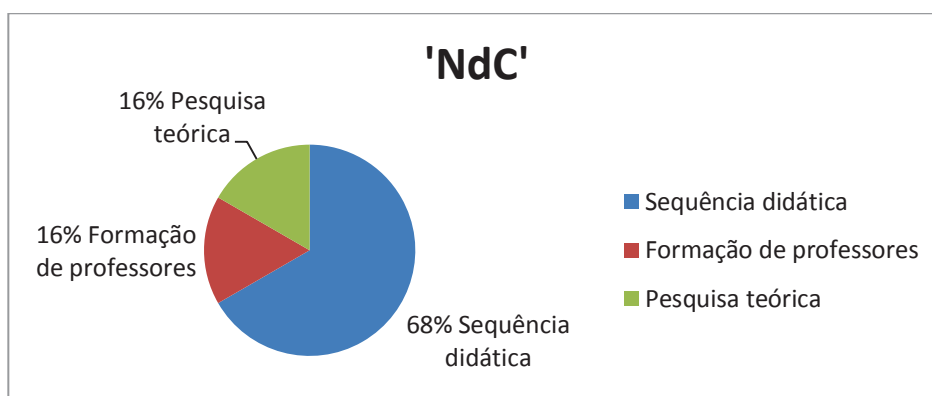


FONTE: O autor (2020).

Quatro dissertações apresentam seqüências didáticas (D10, D20, D22 e D36), um foi curso de formação de professores (D8) e um trabalho é uma pesquisa teórica (D3).

A Figura 14 descreve as TD sobre '**NdC**':

FIGURA 14: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'NDC'.



FONTE: O autor (2020).

A pesquisa D3, defendida por Geraldo José da Silva, em 2007, analisa livros de ciência para entender qual imagem de ciência e tecnologia é trabalhada em sala de aula e foram selecionados três livros de Química que tiveram três capítulos fragmentados (dois escolhidos pelo pesquisador: Introdução e pilhas e um sorteado: radioatividade).

De modo que D8, D10, D20 D22 e D36 também contemplam o foco temático '**HFSC**', vimos que em D8 a partir da história da radioatividade os professores

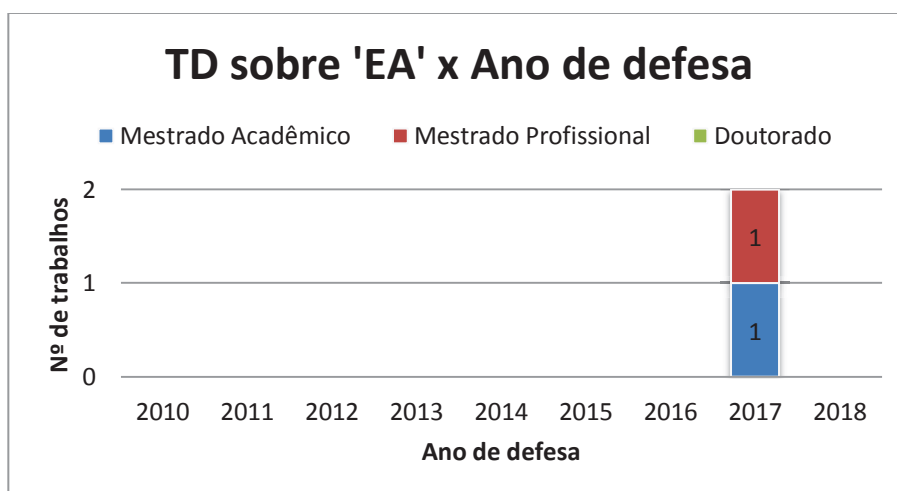
entenderam sobre a importância de trabalhar a **'NdC'** em sala de aula e que em D10, D20, D22 e D36 as sequências didáticas foram desenvolvidas problematizando aspectos de visões de ciência de Gil-Pérez, et. al. (2001).

Uma vez que o objetivo desta dissertação consiste em analisar se e como a **'NdC'** vem sendo abordada em pesquisas brasileiras sobre radioatividade, o próximo capítulo foi dedicado exclusivamente à análise e interpretação do foco temático **'NdC'**. Então no capítulo 7, se encontra uma análise detalhada, bem como os objetivos das pesquisas deste foco temático.

O foco temático **'Educação Ambiental (EA)'** contempla dois trabalhos: D29 e D32. Apesar desta quantidade de TD baixa, não significa que as questões ambientais são abordadas exclusivamente nesta categoria, tanto que questões ambientais estão presentes em diversos trabalhos. Nesta categoria estão as pesquisas que apresentam a **'educação ambiental'** como objetivo principal da pesquisa.

A Figura 15 apresenta as TD sobre **'EA'** por ano de defesa:

FIGURA 15: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'EA' POR ANO DE DEFESA.

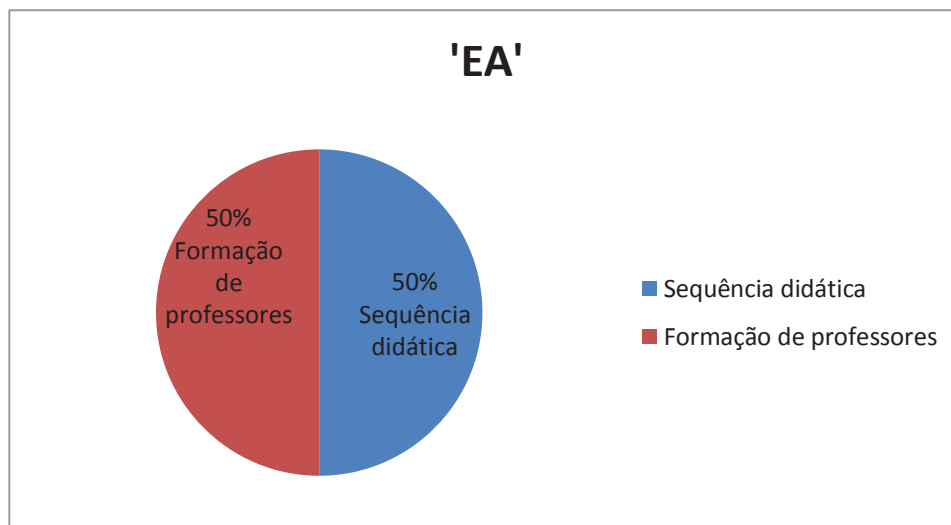


FONTE: O autor (2020).

Um trabalho apresenta estratégias didáticas (D29) e o outro apresenta um curso de formação de professores (D32). O trabalho que apresenta a sequência didática desenvolveu sua pesquisa no ensino médio, sendo que a D29 foi desenvolvida em duas escolas. A D32 trabalhou com a licenciatura em Química.

A Figura 16 descreve as TD sobre 'EA':

FIGURA 16: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE 'EA'.



FONTE: O autor (2020).

D29 desenvolveu aulas sob uma perspectiva interdisciplinar com professores de História, Química e Física, uma gincana educacional e uma visita ao Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO). Ao total as atividades atenderam 94 alunos, 73 alunos na escola 1 e 21 alunos na escola 2.

O autor considera que todo o trabalho teve maior possibilidade de formação de pessoas críticas. Trabalhando sobre o ensino de radioatividade e as causas originárias do acidente radiológico em Goiânia (1987) o pesquisador considera que foi possível “reabrir os sentidos históricos que possibilitaram a superação da inanição de sentidos” (D29, 2017, p. 152).

Já, em D32, Silva (2017) optou por investigar os alunos da UFRPE devido à instituição trabalhar os conteúdos de radioatividade tanto na formação teórica como na prática de ensino. A pesquisa contava com 21 estudantes, entretanto após um licenciando não responder o questionário e dois não elaborarem os mapas individuais, os dados foram analisados referentes a 18 estudantes.

D32 considera que pelo fato de identificar apenas uma instituição que aborda a radioatividade teoricamente e pedagogicamente a formação do professor de Química em radioatividade é frágil.

Analisando os mapas conceituais produzidos pelos alunos, a autora discute que as informações dos alunos sobre a história da radioatividade se restringem aos acidentes nucleares. Além disso, a pesquisadora identificou que mesmo após o



processo formativo, os licenciandos construíram a maioria dos planos de aula limitando-se à exposição oral dos conteúdos.

Então os objetivos da ‘EA’ na radioatividade consistem em: (1) possibilitar uma melhor integração no ensino interdisciplinar das temáticas que envolvem radioatividade; (2) formar alunos críticos e preparados para decisões democráticas; (3) identificar concepções que alunos em formação inicial apresentam sobre radioatividade; e (4) instrumentalizar licenciandos para trabalhar com a radioatividade ambiental.

Já as categorias que descrevem as ‘metodologias’ foram ‘metodologia investigativa’, ‘estudo de caso’, e ‘outros’. Uma breve descrição de cada ‘metodologia’ e a distribuição dos trabalhos estão no Quadro 5.

QUADRO 5: METODOLOGIAS DISCUTIDAS NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Código</b>
Metodologia investigativa	Baseado nos pressupostos que fazer ciência significa se apropriar de teorias do campo científico para investigar e explicar fenômenos. Apresentam investigações de propostas para alunos, professores e de temas para o currículo.	D14, D19, T3
Metodologia estudo de caso	Apresentam uma intensiva e holística análise de uma entidade, fenômeno ou unidade social.	D24, D31
Análise documental	Trata-se de uma metodologia que estuda, a partir de documentos, sobre a evolução de indivíduos, grupos, conceitos, conhecimentos, comportamentos, mentalidades, práticas, etc (TREMBLAY, 1968).	D4, D9

FONTE: O autor (2020).

Na Figura 17 estão as TD sobre ‘**metodologia investigativa**’. O ensino por investigação possui gênese associada ao filósofo e pedagogo John Dewey em seu livro *Logic: The theory of inquiry* (1938). As principais características das atividades são aprendizagem por projetos e questionamentos, a base do trabalho é a problematização e a resolução pode ser resolvida por pesquisas, experimentação e embasamento teórico.

Estas pesquisas apresentam projetos para investigar a partir do pressuposto que fazer ciência significa se apropriar de teorias do campo científico para explicar fenômenos. Estão nesta categoria os trabalhos: D14, D19 e T3.

A Figura 17 apresenta as TD sobre ‘**metodologia investigativa**’ por ano de defesa:

FIGURA 17: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE ‘METODOLOGIA INVESTIGATIVA’ POR ANO DE DEFESA.

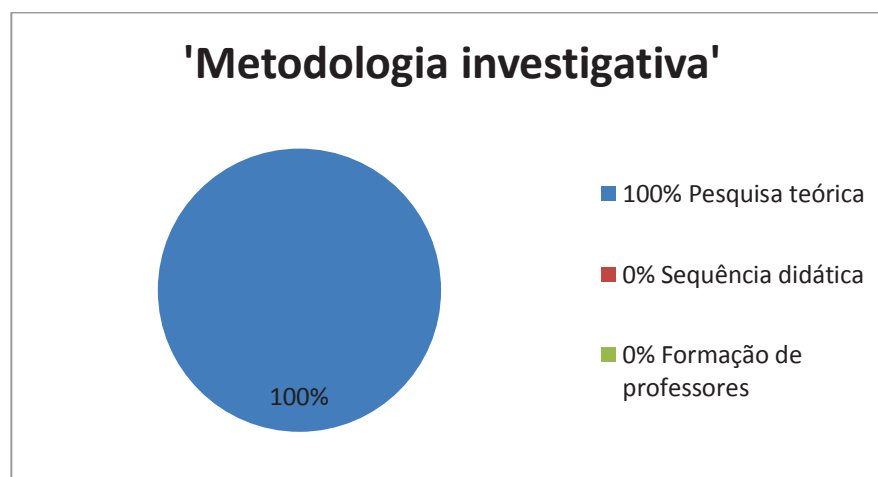


FONTE: O autor (2020).

Todos os trabalhos desta categoria (D14, D19 e T3) foram pesquisas teóricas. D14 e D19 elaboraram propostas para professores trabalharem com radioatividade, radiação e Física Moderna. Apesar de T3 identificar possíveis conteúdos sobre radioatividade e Matemática, o autor não apresentou uma proposta que discute como trabalhar o assunto. Uma vez que conceitos como período de meia-vida, vida média e velocidade de desintegração são matemáticos, uma maior quantidade de pesquisas na área da Educação em Matemática sobre o assunto seria relevante.

A Figura 18 descreve as TD sobre ‘**metodologia investigativa**’:

FIGURA 18: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE ‘METODOLOGIA INVESTIGATIVA’.



FONTE: O autor (2020).

Araújo (2013), em D14, realizou uma pesquisa de revisão bibliográfica sobre artigos de Física Moderna e contemporânea no ensino médio, investigou junto aos professores as dificuldades de ensinar energia nuclear e radiação e finalmente elabora uma proposta didática sobre energia nuclear e radioatividade baseado na discussão de acidentes nucleares famosos.

Em relação à pesquisa de revisão bibliográfica, D14 considera que o ensino de energia nuclear e radioatividade são praticamente ignorados em relação aos conteúdos de mecânica clássica, termodinâmica e eletromagnetismo.

A partir da investigação, junto aos professores, sobre a dificuldade no ensino de Física Nuclear e radioatividade, os professores que responderam o questionário consideram que o grau de dificuldade no ensino deste conteúdo é mediano. Já os professores que declararam muita dificuldade, reclamam de falta de materiais com linguagem acessível. Um fator importante desta pesquisa foi que a maioria dos educadores possui formação em Física e possuem especialização *lato sensu*.

Esta conclusão vai ao encontro do que Gil-Pérez, et. al. (2001) e Lederman (1992) argumentam sobre como as concepções dos professores sobre 'NdC' influenciam na prática docente. Professores com pós-graduação acabam articulando os conteúdos e as temáticas para uma discussão mais elaborada sobre ciência.

Finalmente, D14 descreve uma atividade baseada nas ideias de Freire e nos três momentos pedagógicos de Delizoicov. O material consiste de seis módulos para trabalhar energia nuclear e radiação com textos, reportagens, desenhos animados, documentários, entrevistas, filmes, imagens, livros e websites. O autor espera que o material possa contribuir para a prática docente dos professores em futuros trabalhos.

D' Andrea (2014), como mencionado anteriormente em D19, também desenvolveu um instrumento educacional para auxiliar no ensino de Física Moderna. As atividades estão previstas para quatro aulas de cinquenta minutos e discutem-se temas como radiações, história, alimentos, saúde e energia nuclear.

T3 realiza uma ampla pesquisa bibliográfica para investigar temas de interesse para o currículo de Matemática do ensino médio. Então o autor teve como objeto de pesquisa os temas presentes em livros didáticos, no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e no Banco de Teses e Dissertações da Capes.

Em relação à radioatividade, o autor identificou que os conteúdos de funções exponenciais podem ser articulados ao tempo de meia-vida, fontes de energia, desmatamento, saúde, tecnologia e idade fóssil.

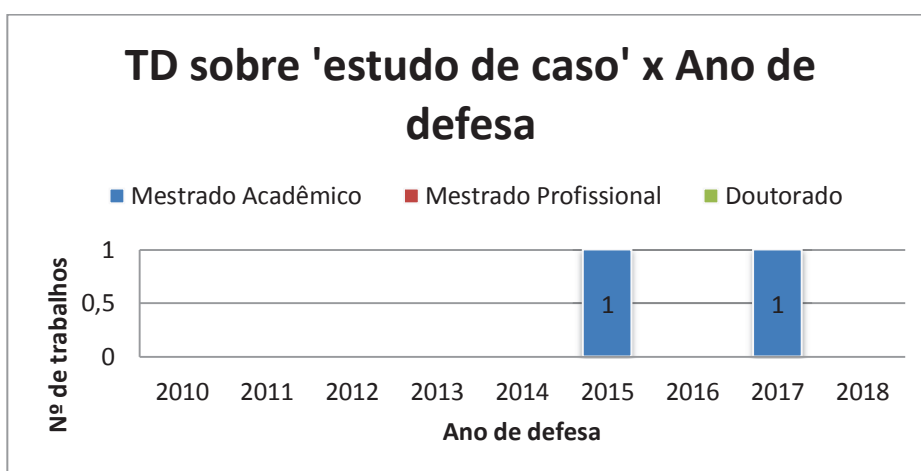
Dessa forma, foram identificados trabalhos de **'metodologia investigativa'** para duas disciplinas: Física (D14 e D19) e Matemática (T3). Nesta categoria foi possível identificar que estas propostas não foram desenvolvidas em campo, sendo assim, um referencial teórico e metodológico para os professores elaborarem suas propostas didáticas.

Os objetivos da **'metodologia investigativa'** na radioatividade consistem em: (1) identificar como a radioatividade está presente na educação; (2) identificar as dificuldades dos professores no ensino de radioatividade; (3) investigar temas possíveis de trabalhar a radioatividade no ensino médio; e (4) desenvolver propostas didáticas para professores trabalharem com radioatividade no ensino médio.

As pesquisas cujas metodologias foram um **'estudo de caso'**, consistem em duas dissertações: D24 e D31. Os estudos envolveram uma intensa e holística análise da aprendizagem de estudantes do 3º ano (D24) e de estudantes surdos (D31).

A Figura 19 apresenta as TD sobre **'estudo de caso'** por ano de defesa:

FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO DAS TD 'ESTUDO DE CASO' POR ANO DE DEFESA.

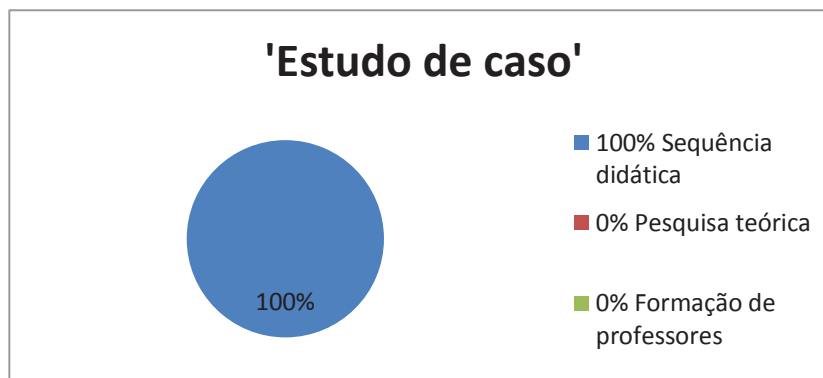


FONTE: O autor (2020).

Os dois trabalhos investigam sobre o aprendizado da radioatividade a partir de sequências didáticas para o ensino médio. Foram analisadas as produções textuais e argumentativas desenvolvidas pelos alunos. Para tal, filmagens de sala de aula foram transcritas e analisadas pelos professores pesquisadores.

A Figura 20 apresenta a metodologia ‘**estudo de caso**’:

FIGURA 20: DESCRIÇÃO DAS TD SOBRE ‘ESTUDO DE CASO’.



FONTE: O autor (2020).

Em dez turmas do 3º ano de Química, D24 investiga como Histórias em Quadrinhos (HQs) podem ajudar na aprendizagem da radioatividade. Então, a partir de um estudo de caso, a autora analisa as relações entre a radioatividade e as HQs produzidas.

Para D24, as dificuldades de ensinar a partir de HQs estão além da boa vontade da professora e dos alunos. A autora considera necessário que a infraestrutura da escola forneça biblioteca, gibiteca, enfim materiais de apoio e espaço físico para reuniões.

Pereira (2017), em D31, investigou sobre a aprendizagem da radioatividade por estudantes surdos. Então, a partir de um ‘**estudo de caso**’, a autora analisou a aula de radioatividade pela professora de Química, mediada por uma intérprete em Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) e três estudantes surdos em uma escola da rede estadual de Caruaru – PE.

Da atividade resultaram quatro vídeos, dois com foco na professora e na intérprete e dois nas ações discursivas sinalizadas pelos estudantes. Um dos principais fatores de análise da pesquisadora foi a argumentação dos estudantes surdos, para D31 possibilitar que os estudantes apresentem seus questionamentos significa fornecer um ambiente social, linguístico e cultural favorável para o aprendizado.

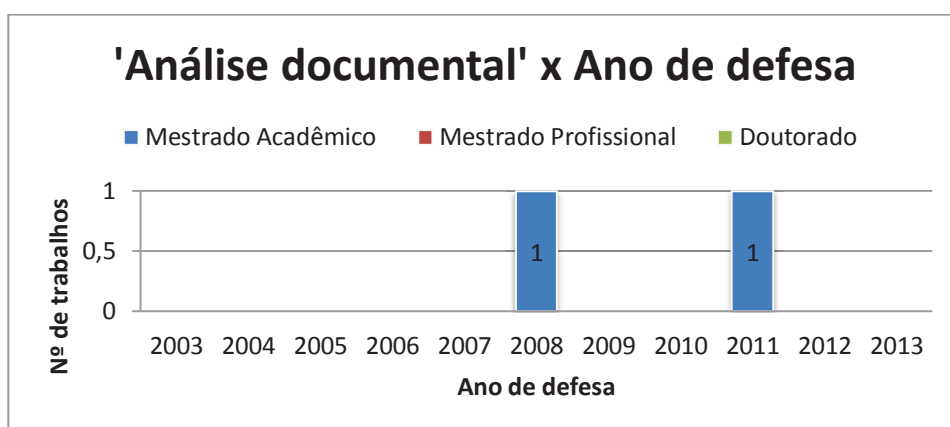
Os objetivos dos ‘**estudos de caso**’ na radioatividade consistem em: (1) superar dificuldades no ensino de radioatividade; (2) entender como a educação inclusiva trabalha com as temáticas de radioatividade; (3) fornecer um ambiente

favorável à aprendizagem da radioatividade; e (4) investigar como estratégias didáticas ajudam no entendimento da radioatividade.

A categoria **'análise documental'** apresenta duas dissertações: D4 e D9. Enquanto a pesquisa de D4 está voltada principalmente para a área de saúde e educação, D9 pode ser utilizada para conhecer melhor sobre a influência do físico brasileiro Joaquim Costa Ribeiro na história da radioatividade.

A Figura 21 apresenta a distribuição das TD sobre **'análise documental'** por ano de defesa:

FIGURA 21: DISTRIBUIÇÃO DAS TD SOBRE 'ANÁLISE DOCUMENTAL' POR ANO DE DEFESA.

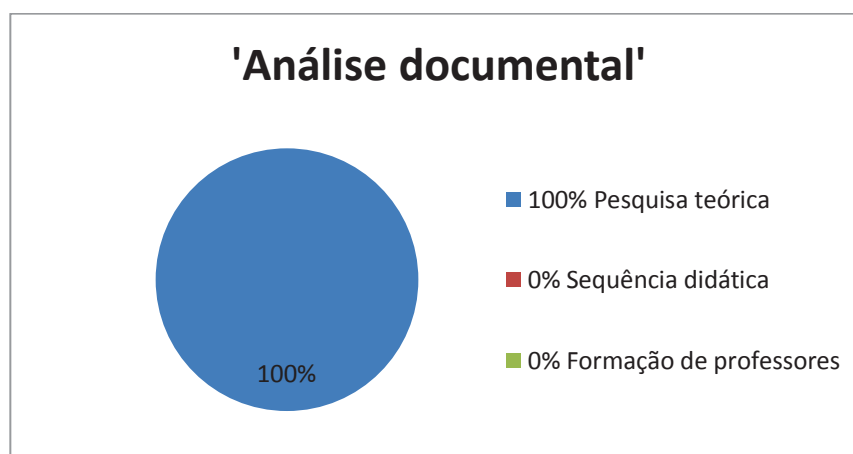


FONTE: O autor (2020).

As duas pesquisas investigaram documentos históricos que envolvem radioatividade. D4 dissertou sobre o desenvolvimento da radioterapia na Bahia e D9 apresentou a trajetória acadêmica e científica do físico Joaquim da Costa Ribeiro.

A Figura 22 descreve a categoria **'análise documental'**:

FIGURA 22: DESCRIÇÃO DA CATEGORIA 'ANÁLISE DOCUMENTAL'.



FONTE: O autor (2020).

O autor de D4, analisando monografias do curso de Faculdade da Bahia nos anos de 1905, 1924 e 1927, constatou que o combate contra o câncer foi um fator decisivo para a renovação da radioterapia na Bahia. Apesar disso, o autor indica uma falta de abrangência dos programas governamentais no ensino de Física e na área de vigilância sanitária.

Filho (2011), em D9, discute como as pesquisas de Costa Ribeiro em radioatividade e Física do estado sólido resultou na pesquisa sobre o efeito termoelétrico. O fenômeno está associado ao surgimento de correntes elétricas durante a fusão e solidificação da cera de carnaúba, parafina e naftaleno.

Existe uma controvérsia científica a respeito da prioridade do fenômeno, o periódico *Digest of the Literature on Dielectrics* atribuiu o pioneirismo do fenômeno aos físicos estadunidenses Workman e Reynolds e ao brasileiro Costa Ribeiro. Sem retirar os méritos das pesquisas, é possível mencionar sobre a relevância de pesquisas brasileiras sobre radioatividade, uma vez que poucos autores brasileiros são citados nos trabalhos sobre radioatividade. Além disso, trabalhar com esta controvérsia possibilita desestabilizar a visão elitista da ciência, uma vez que a ciência não é restrita aos europeus e americanos.

## 6.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO CAPÍTULO

A partir das análises dos descritores gerais, vimos que: (1) a produção de pesquisas sobre radioatividade na educação ainda é recente no Brasil, a primeira dissertação foi defendida em 2003; (2) a concentração dos trabalhos está na região sul, provavelmente devido ao físico e historiador da ciência Roberto de Andrade Martins ter atuado como professor em Londrina e Curitiba; (3) 85% dos trabalhos são provenientes de instituições públicas de ensino, condizente com os levantamentos da Leiden Ranking (2020) e Clarivate Analytics (2017); (4) a maioria dos trabalhos foca principalmente no ensino médio, conforme orienta os PCN; e (5) o tema mais predominante são as radiações, pois as temáticas também contemplam os conteúdos específicos.

Em relação aos focos temáticos e metodologias, a maioria dos trabalhos investiga como a radioatividade pode facilitar o entendimento das relações 'CTS',

‘HFSC’, de ‘ensino e aprendizagem’ e ‘aprendizagem significativa’. O que foi considerado positivo, pois a radioatividade pode ser desenvolvida por diferentes abordagens.

Os resultados que consideramos negativos correspondem ao número reduzido de pesquisas que focam na formação de professores para trabalhar a radioatividade a partir da ‘HFSC’, apenas duas a D8 e D23. Este é um dado considerado preocupante, pois em um país grande como o Brasil, seria importante que estas discussões estivessem presentes na formação de professores para possibilitar um desenvolvimento mais elaborado sobre ‘HFSC’ e radioatividade nos próximos anos.

Outro dado negativo corresponde à falta de pesquisas teóricas sobre os trabalhos já desenvolvidos (como é o caso desta pesquisa) e a dificuldade de desenvolver o tema radioatividade em outros níveis de ensino, de modo que não fique restrito ao ensino médio.

Nossos resultados mostram que temos ainda lacunas no ensino brasileiro, sobre a temática radioatividade, especialmente, utilizando esta para refletir sobre a NdC. Consideramos que, para que tal abordagem tenha um maior alcance, é necessário, como foi mostrado neste trabalho, evidenciar as possibilidades da abordagem deste conteúdo com ‘CTS’, ‘HFSC’, ‘ensino e aprendizagem’, ‘aprendizagem significativa’, ‘NdC’, ‘metodologia investigativa’ e ‘estudo de caso’ e assim por diante.

## **7. NATUREZA DA CIÊNCIA NAS PESQUISAS SOBRE RADIOATIVIDADE**

Nesta terceira parte, as 40 TD foram analisadas para compreender o estado do conhecimento da radioatividade na Educação em Ciências. Articuladamente foram investigadas as concepções sobre ‘NdC’ presentes nos trabalhos. Para tal, foi desenvolvida uma análise epistemológica das categorias relacionadas a estas concepções discutidas no capítulo 4.

Para além de mapear os trabalhos produzidos sobre radioatividade no Ensino e Educação em Ciências, este processo desenvolveu-se no sentido de auxiliar os professores a nortear possíveis práticas em sala de aula. Então os capítulos 6 e 7 envolvem níveis de compreensão diferentes, enquanto o capítulo 6



destaca um panorama predominantemente educacional, este capítulo enfatiza também sobre aspectos epistemológicos, o que envolve complementaridade.

Para a análise das concepções sobre '**NdC**' presentes nas TD sobre radioatividade na educação foram utilizadas as categorias de enfrentamento desenvolvida por Silva e Aires (2014) e as visões deformadas descritas por Gil-Pérez et. al. (2001).

O Quadro 6 apresenta as categorias '*a priori*' definidas para análise das concepções sobre '**NdC**' presentes nas teses e dissertações.

QUADRO 6: ASPECTOS DA 'NDC'

Visões deformadas (Gil-Pérez et. al., 2001)	Visões de enfrentamento (Silva; Aires, 2014)
(1) Empírico-indutivista	(8) Observação influenciada pela teoria
(2) Visão Rígida	(9) Pluralismo metodológico
(3) Não problemática e ahistórica	(10) Caráter histórico e dinâmico da ciência
(4) Exclusivamente analítica	(11) Unificação do conhecimento científico
(5) Acumulativa e de crescimento linear	(12) Rupturas e controvérsias científicas
(6) Socialmente neutra	(13) Ciência influenciada por fatores externos
(7) Elitista e individualista	(14) Ciência como atividade coletiva

FONTE: Silva e Aires, 2014, p.147.

Tendo como base as categorias do Quadro 6, buscamos entender quais aspectos da '**NdC**' são mais, ou menos priorizados na fundamentação teórica e discussões das TD. Na sequência analisamos as visões sobre ciência presentes nas falas e escritas de professores e alunos, nos casos de questionários ou atividades desenvolvidas nas pesquisas.

O Quadro 7 apresenta em quais TD estão presentes os aspectos 8-14 (visões de enfrentamento) da '**NdC**' descritas no Quadro 6.

QUADRO 7: ASPECTOS DE ENFRENTAMENTO PRESENTES NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.

Descritor específico	(13) ciência influenciada por fatores externos	Frequência <sup>19</sup>
		100%
Descrição	A pesquisa não acontece isolada no mundo e é influenciada pelo seu contexto social, cultural, econômico e político.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	Todas	D2, D11, D12, D20, D21, D24, D25, D26,

<sup>19</sup> Frequência calculada a partir de cada trabalho que apresenta o descritor correspondente. Portanto, como a frequência é proporcional à tese ou dissertação, mesmo que algum trabalho apresente um mesmo descritor na fundamentação teórica e discussão e nas atividades, participação dos alunos, falas e escritas evitamos que os dados apresentem valores sobrestimados.

		D27, D28, D29, D30, D31, D32, D36
<b>Descritor específico</b>	<b>(10) Caráter histórico e dinâmico da ciência</b>	<b>Frequência</b> 80%
Descrição	Embora a teoria vigente possuir um status alto de aceitação historicamente, a ciência está em constante transformação, não existem verdades absolutas os modelos podem ser revistos e reinterpretados.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D12, D13, D14, D16, T2, D17, D18, D19, D20, D21, D23, D24, D25, D26, D27, D28, D29, D30, D32, D33, D34, D35, T4, D36	D16, D20, D25, D26, D27, D36
<b>Descritor específico</b>	<b>(14) Ciência como atividade coletiva</b>	<b>Frequência</b> 42,5%
Descrição	Enfatiza-se a atividade dos grupos de pesquisa no desenvolvimento dos trabalhos. Articuladamente contrária à ideia de uma atividade exclusivamente masculina e elitizada.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	D3, D4, D5, D6, D8, D9, D10, T2, D17, D18, D20, D22, D26, D35, T4, D36	D10, D20, D26, D29, D36
<b>Descritor específico</b>	<b>(8) Observação influenciada pela teoria</b>	<b>Frequência</b> 40%
Descrição	As teorias tem um papel importante na pesquisa científica e em orientar novas investigações.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	D3, D5, D8, D10, T2, D18, D20, D22, D23, D26, D28, D32, D35, T4, D36	D10, D16, D20, D23, D36
<b>Descritor específico</b>	<b>(12) Rupturas e controvérsias científicas</b>	<b>Frequência</b> 35%
Descrição	São enfatizadas as evoluções das teorias, a natureza problemática e controversa do conhecimento científico.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	D3, D4, D5, D6, D8, D9, D10, T2, D18, D20, D22, D35, T4, D36	D20, D36
<b>Descritor específico</b>	<b>(11) Unificação do conhecimento científico</b>	<b>Frequência</b> 35%
Descrição	O conhecimento interdisciplinar procura romper com a parcialização do saber em partes limitadas e buscam conexão entre diversas áreas das ciências.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	D3, D5, D8, D10, D12, T2, D18, D20, D29, D30, D35, T4, D36	D20, D27, D29, D36
<b>Descritor específico</b>	<b>(9) Pluralismo metodológico</b>	<b>Frequência</b> 32,5%
Descrição	Consiste no fato que não existe um método científico único, infalível e exato que garanta o desenvolvimento da ciência. As metodologias podem variar e um mesmo fenômeno pode ser interpretado de diferentes formas.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	D3, D5, D6, D8, D10, D18, D22, D29, D30, D35, T4, D36	D10, D20, D29, D36

FONTE: O autor (2020).

A visão de enfrentamento mais frequente foi a **(13) ciência influenciada por fatores externos** presente em (100%) todos os trabalhos. Este aspecto é facilmente encontrado nas pesquisas sobre radioatividade, o destaque à esta visão se deve ao fato da influência da radioatividade na saúde, no meio ambiente, nos alimentos, na história e na produção de energia elétrica. Esse é um dado positivo, pois indica que todos os trabalhos compreendem a influência da sociedade nos conhecimentos sobre radioatividade.

Para exemplificar, D1 é um trabalho que envolve questões sociocientíficas sobre a utilização da energia nuclear na medicina e como fonte de energia. O autor traz textos que discutem como funciona a radioterapia e seus efeitos e na sequência uma entrevista com dois físicos sobre a energia nuclear.

As influências externas na ciência e na medicina são discutidas por Ludwik Fleck em *Gênese e desenvolvimento de um fato científico* de 1935. Neste livro a ciência é um produto social que se desenvolve no tempo e o fato científico depende do momento histórico (SCHÄFER, L. SCHNELLE, T. 2010).

O descritor 13 aparece em parágrafos como estes exemplos de D21:

Dessa forma, escolhemos o tópico radioatividade, devido suas infinitudes de aplicações e **implicações na sociedade**, fins bélicos, contaminação radioativa em acidentes como, por exemplo, Goiânia em 1987, em Chernobyl em 1986, e mais recentemente, em Fukushima em 2013; produção do conhecimento; produção de energia em larga escala; aplicações nas indústrias, na medicina e na agricultura, dentre outras. (D21, 2015, p.22, grifo nosso). É uma forma de energia que pode ser usada na medicina, em clínicas radioterápicas, na produção de energia elétrica e na produção de bombas nucleares. A radiação pode ser utilizada para fins positivos e negativos, e não pode ter contato direto com o organismo humano. (D21, 2015, p. 84).

Em outro exemplo, D3 mostra as motivações de trabalhar temas ao invés de produtos científicos descontextualizados. “Contexto com **relevância social e tecnológica**, mostrando-se as implicações da ciência/tecnologia sobre o homem/ambiente/patrimônio e a sociedade em geral.” (D3, 2007, p. 35, grifo nosso).

Esta considerável presença do descritor **(13) ciência influenciada por fatores externos** também é observada nos trabalhos de Barbosa (2016), Silva e Aires (2014). Barbosa (2016) analisou os aspectos da ‘**NdC**’ presentes em artigos de HFC. O aspecto ciência influenciado por fatores externos esteve presente em 50 artigos. Articuladamente para Silva e Aires (2014) o descritor 13 também foi o mais frequente na pesquisa, presente em quase 70% dos artigos analisados.

O segundo aspecto mais presente nas pesquisas sobre radioatividade na educação foi o **(10) Caráter histórico e dinâmico da ciência**. Este descritor tem como pressuposto que a ciência e o conhecimento estão em constante transformação e são influenciados pelo contexto histórico que as pessoas estão envolvidas (FLECK, 1935, KUHN, 1962; LEDERMAN, 1992; GIL-PÉREZ, ET. AL. 2001; MOURA, 2014).

Autores como Martins (2015), Matthews (1994), Silva e Aires (2014) defendem sobre a importância de incluir a 'HFSC' na educação. As discussões sobre os trabalhos de Röntgen (1896), Becquerel (1896) e Curie (1899), analisando as histórias e de suas pesquisas, se percebe que as metodologias, os conhecimentos e as técnicas mudam com o tempo. Um exemplo do descritor 10 pode ser observado neste trecho de D10:

Na ciência a discordância é sempre possível. Não há uma verdade absoluta e incontestável. Até porque a ciência é passível de mudanças, ela não é estática. (D10, 2011, p. 20).

Trechos como este corroboram com a ideia de Fleck (1935) sobre **mutação do estilo de pensamento**. Para o autor os conceitos e teorias não são abandonados nas pesquisas e a ciência se desenvolve na evolução do entendimento dos conhecimentos.

Este outro exemplo de D35: “Os séculos XIX e XX constituem uma era tão brilhante e tão peculiar para as ciências quanto a renascença o foi para as artes” (D35, 2018, p. 28), também destaca o caráter histórico e dinâmico do conhecimento.

No trabalho de Silva e Aires (2014), em que as autoras investigaram as concepções de '**NdC**' em livros didáticos de Biologia, o descritor **caráter histórico e dinâmico da ciência** também foi o segundo descritor mais frequente, presente em 68,4% dos artigos analisados. Já em Barbosa (2016) o descrito 10 foi o mais frequente, presente em 76 artigos.

O terceiro descritor mais encontrado foi **(14) ciência como atividade coletiva**. Esta visão é facilmente identificada quando a história de Marie Curie é discutida, pois desestabiliza a ideia que a atividade científica seria uma atividade exclusivamente masculina ou praticada por pessoas de intelecto inigualável. Contrariamente entendemos que a ciência é um trabalho coletivo com diversas pessoas de diferentes áreas que buscam construir conhecimento sobre algum

assunto importante socialmente. Um exemplo do descritor 14 pode ser identificado neste argumento da aluna em D26:

Quase não ouvimos falar de Marie e da sua filha. A sociedade ainda é machista, ouvimos brincadeiras que mulher não pode nada que seu lugar é na cozinha [...] tantos anos tem que Marie morreu e a sociedade pouco mudou (D26, 2016, p.58).

E este trecho de D3, também comenta sobre a atividade do cientista em uma comunidade de pesquisadores. Esta discussão está intimamente envolvida com a epistemologia de Lakatos (1979), Bachelard (1996), Kuhn (1962) e Fleck (1935), conforme discutido no capítulo três desta dissertação.

Apresenta o cientista inserido numa comunidade científica, à qual cabe, em última análise, a decisão final sobre o seu trabalho. Enfatiza-se o intercâmbio e, por vezes, a competitividade entre equipes de investigação no avanço da ciência (D3, 2007, p. 34).

Nos dias atuais, tanto a pesquisa teórica quanto a experimental são realizadas em grupos e atividades entre diferentes áreas do conhecimento são comuns. Assim estas pessoas compartilham conhecimentos, sempre existem pressupostos que fundamentam as pesquisas e as observações.

O descritor **(14) ciência como atividade coletiva** também foi o terceiro mais encontrado no trabalho de Silva e Aires (2014), presente em 63,2% dos artigos analisados. Já em Barbosa (2016), o descritor 14 foi o segundo descritor mais identificado, presente em 54 artigos.

O descritor **(8) observação influenciada pela teoria** foi o quarto aspecto de enfrentamento mais frequente. Segundo Gil-Pérez, et. al. (2001), os dados puros por, em si mesmo, não possuem sentido ou significados se não forem interpretados pelo pesquisador a partir dos pressupostos teóricos que fundamentam a pesquisa. O descritor 8 pode ser identificado em trechos como o de D16:

O discurso da neutralidade e da impessoalidade da ciência passa a ser questionado, assim como aconteceu na crítica ao positivismo realizada, principalmente, no decorrer do século XX. (D16, 2013, p.57).

Na mesma linha de problematização deste descritor, Chalmers (1993) em seu livro *O que é ciência afinal?*, discute sobre esta concepção e o problema da

lógica pura nos três primeiros capítulos do livro. Para tal, o autor traz exemplos didáticos sobre as expectativas de um observador.

No exemplo do quebra-cabeça, a criança tem a imagem final para basear seus movimentos. O ‘peru (o animal comumente servido no Natal) indutivista’ observou outro peru recebendo comida durante todos os dias do ano e quando trocou de lugar com o colega para receber comida foi assado no Natal. E todos os cisnes que vimos são brancos, portanto, todos os cisnes são brancos, até o conhecimento de uma raça de cisnes pretos (CHALMERS, 1993).

Analisando a história da radioatividade o descritor 8 pode ser evidenciado em trechos como de D10:

Becquerel partiu da suposição de que os corpos luminescentes emitiam raios X enquanto estivessem luminosos. Ele esperava um efeito muito fraco de seus cristais de urânio, já que sua fosforescência visível diminuía muito rapidamente no escuro, mas não foi o que observou. (D10, 2011, p. 42).

O descritor 8 é uma visão de enfrentamento a visão empírico-indutivista da ciência. Então “apresentam-se os pressupostos, as teorias e os modelos levados em conta na elaboração de hipóteses (partindo de problemas), clarificando-se, assim, os critérios segundo os quais se realizarão as observações.” (D3, 2007, p.33).

O quinto descritor mais frequente foi o **(12) rupturas e controvérsias científicas**. Pelo fato da gênese da radioatividade envolver controvérsias científicas sobre a natureza das radiações, esperávamos que este aspecto fosse mais frequente nos trabalhos. Enfatizamos que pesquisas sobre a natureza controversa da radioatividade necessitam de maior atenção, tanto em campo quanto na literatura. Podemos identificar exemplos do descritor 12 neste trecho da T4:

A pergunta realizada pelos pesquisadores é audaciosa justamente por abordar questões consideradas “tabu” e polêmicas na sociedade, como também, possivelmente, de acordo com suas visões políticas (mais tendenciosas a esquerda ou direita) nos “assuntos” aborto, eutanásia, drogas, religiosidade, sexualidade, guerras, armamento de pessoas civis, armas nucleares, manifestações políticas radicais de segmentos populacionais, fome, economia de água e energia, dentre inúmeras outras narradas como em documentários que abordam “**temas controversos.**” (T4, 2018, p. 21, grifo nosso).

É muito difícil falar de rupturas e controvérsias científicas sem mencionar pesquisadores como Kuhn (1962) e Fleck (1935). Segundo o primeiro a ciência se

desenvolve a partir de revoluções, já para Fleck (1935) o termo utilizado é revolução evolucionária. Analisando a história da radioatividade prefere-se o termo revolução evolucionária, pois os pressupostos de Röntgen sobre os raios X continuam presentes nos trabalhos de Becquerel (1896) e Curie (1899). Podemos identificar a presença e importância de tal discussão neste trecho de D10:

Os episódios escolhidos são raios X e sobre a radioatividade, que apresentam uma história **repleta de controvérsias**, bem como permite uma aproximação maior do aluno com a História da Ciência (D10, 2011, p.12, grifo nosso).

O sexto aspecto de enfrentamento de Silva e Aires (2014) mais frequente foi o **(11) unificação do conhecimento científico**. Este aspecto enfatiza a importância do conhecimento interdisciplinar para problematizar a parcialização do saber em partes limitadas e buscam conexão entre diversas áreas da ciência (GIL-PÉREZ, ET. AL. 2001).

De acordo com Irzik, Nola (2011) e Gil-Pérez et. al. (2001) uma consideração consensual sobre a ciência é a construção de leis e teorias para explicar o quanto possível fenômenos e situações mais gerais. Segundo Gil-Pérez et. al. (2001) este consenso é chamado de **coerência global**.

Nas teses e dissertações sobre radioatividade, este descritor pode ser identificado na frase deste aluno em D29 “O fato de um tema, como exemplo a pilha, envolver várias matérias (Física, Biologia, Química e História)” (D29, 2017, p.98).

E neste trecho de T4 “Para Chalmers (1993), não existe um conceito universal da ciência para explicar que o “método científico” possa tornar os resultados das pesquisas científicas como superiores a outros.” (T4, 2018, p. 54).

O descritor menos frequente nos trabalhos foi o **(9) pluralismo metodológico**. Tanto os aspectos consensuais quanto a de semelhança familiar concordam que não existe um método único, infalível e que garante resultados inquestionáveis. Entretanto existem métodos, várias possibilidades de interpretar e produzir conhecimento (IRZIK; NOLA, 2011; GIL-PÉREZ ET. AL. 2001). O pluralismo metodológico pode ser identificado na fala deste aluno em D29:

Ciência é todo processo do conhecimento. Como queremos ignorar a história, que é uma ciência que tem responsabilidades. Logo, ciência é todo conhecimento e não apenas Física, Química e Biologia, é todo conhecimento disponível (informação verbal). (D29, 2017, p.115).

O Quadro 8 apresenta em quais TD estão presentes os aspectos deformados ou pouco elaborados (1-7) sobre ciência descrita por Gil-Pérez, et. al. (2001).

QUADRO 8: ASPECTOS POUCO ELABORADOS PRESENTES NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE.

Descritor específico	(1) Empírico-indutivista		Frequência
			20%
Descrição	Consideram a observação e a experimentação como neutras, se desconsidera as hipóteses iniciais e as teorias já existentes. Articuladamente enfatiza-se uma ideia que a ciência é fruto de descobertas acidentais.		
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas	
TD	D32, D33	D2, D7, D11, D20, D29, D30	
Descritor específico	(5) Acumulativa e de crescimento linear		Frequência
			7,5%
Descrição	Apresentam que a ciência é consequência de uma aglomeração de conhecimentos. As controvérsias e as dificuldades envolvidas na pesquisa científica não são discutidas.		
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas	
TD	D32, D33	D20	
Descritor específico	(3) Não problemática e ahistórica		Frequência
			5%
Descrição	São esquecidos os problemas, dificuldades e as influências históricas envolvidas na prática científica. Acabam apresentando uma ideia que a ciência estaria descontextualizada da realidade histórica.		
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas	
TD	D32	D20, D32	
Descritor específico	(7) Elitista e individualista		Frequência
			5%
Descrição	Transmitem uma imagem de que a ciência é desenvolvida por um cientista genial e dotada de grande capacidade intelectual. Articuladamente enfatiza discriminação social de uma ciência que seria exclusivamente praticada por homens.		
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas	
TD	D32	D18	
Descritor específico	(2) Rígida		Frequência
			5%
Descrição	Apresentam o método científico como um conjunto de passos a serem seguidos e que levam a resultados exatos, infalíveis e inquestionáveis.		
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas	
TD	-	D2, D20	
Descritor específico	(6) Socialmente neutra		Frequência
			0%
Descrição	Apresentam a ciência e/ou cientista neutro a qualquer influência externa. As relações 'CTS' são esquecidas.		
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas	



TD	-	-
<b>Descritor específico</b>	<b>(4) Exclusivamente analítica</b>	<b>Frequência</b>
		0%
Descrição	Transmitem os conteúdos em partes limitadas e sem relações entre as áreas do conhecimento.	
Capítulo	Fundamentação teórica e discussão	Atividades, participação dos alunos, falas e escritas
TD	-	-

FONTE: O autor (2020).

Para compreender melhor o Quadro 8 é importante salientar que apenas a D32 e D33 apresentaram visões ingênuas sobre ciência na fundamentação teórica e nas discussões, sem problematizar os aspectos considerados deformados da ciência de Gil-Pérez, et. al. (2001). Articuladamente também foi possível encontrar visões consideradas simplistas ou pouco elaboradas nas atividades, falas ou escritas de professores e alunos dos trabalhos D2, D7, D11, D18, D20, D29, D30 e D32, sendo mais presente a visão **(1) empírico-indutivista**.

A visão empírico-indutivista foi encontrada no corpo dos trabalhos de D32 e D33 e nas atividades de D2, D7, D11, D20, D29 e D30. Isso ocorre, pois alguns autores insistem em apresentar a história da radioatividade como um repentino *insight* científico, esquecendo o desenvolvimento histórico, as controvérsias, ou seja, o processo de construção do conhecimento. Por exemplo, esta fala de uma aluna em D29, que mostra que ela considera que a ciência se desenvolve a partir da observação:

“Toda teoria surge a **partir da observação**, depois disto levanta algumas hipóteses, e depois disto, testam as perguntas, testam as hipóteses e reproduz um resultado, surgindo assim uma teoria [...]” (informação verbal 22). (D29, 2017, p.111).

A segunda visão mais frequente foi **(5) acumulativa e de crescimento linear**. Esta visão entende que a ciência se desenvolve a partir de uma acumulação de dados, resultados e teorias com o passar do tempo. Por exemplo, esta fala de um grupo de alunos em uma atividade de D20.

A favor. Sem esses avanços em alguns casos seria impossível a comunicação com o celular (...) e mesmo sem esses utensílios até na luz solar, só basta saber o tempo de exposição a esse elemento (grupo 3). (D20, 2014, p. 52).

É possível notar que esta visão ignora a história dos diferentes conhecimentos que contribuem o desenvolvimento científico. Também deixam de ser levados em consideração que existem momentos de revolução evolucionária (FLECK, 1935). As considerações de Fleck (1935) sobre **mutação do estilo de pensamento** podem explicar como a visão **acumulativa e de crescimento linear** não condiz com a realidade da ciência.

O terceiro aspecto deformado mais presente foi a **(3) não problemática e ahistórica**. Isso acontece, pois alunos estão acostumados a estudar apenas os produtos da ciência, deixando de lado as dificuldades e os problemas da pesquisa científica. A frase de D20 “A radiação contribui para uma vida melhor” (D20, 2014, p. 54), indica que o aluno não entendeu sobre os benefícios e malefícios da radioatividade.

O quarto descritor pouco elaborado mais frequente foi o **(7) elitista e individualista**. Esta visão reforça uma discriminação racial e social, como se a ciência fosse um trabalho individual de gênios, pessoas com características incomuns fechados em laboratórios sem serem influenciadas pelo contexto social. Podemos perceber esta visão no relato do pesquisador de D18, sobre a concepção de alguns alunos sobre ciência.

O cientista por sua vez, na opinião de vários destes adolescentes, seria alguém, longe deste contexto vivido por eles, fechado em um laboratório, descobrindo tecnologias e curas para doenças que eles veem só na mídia. (D18, 2014, p. 25).

A quinta visão deformada presente nas atividades foi a **(2) rígida**. Esta visão enfatiza que a ciência se desenvolveria a partir de um método infalível que leva a resultados incontestáveis e precisos. Podemos identificar a concepção **rígida** nesta frase de D2, “A ciência é o estudo da natureza que nos envolve; meio de provar, testar e achar resultados para todas as dúvidas que surgem ao longo das descobertas” (D2, 2007, p. 39), segundo Anele (2007) evidenciando uma “visão dogmática da ciência, quando os alunos fizeram uso de expressões, tais como ‘meio de provar’, ‘testar’ [...]” (ANELE, 2007, p. 39).

A sexta visão **(6) socialmente neutra**, não foi encontrada nos trabalhos sobre radioatividade na educação. Esta visão deformada reforça que a ciência se

desenvolveria isolada da sociedade. Uma sugestão para os professores problematizarem esta visão é considerar as influências políticas, econômicas e sociais nas pesquisas científicas.

A visão **(4) exclusivamente analítica** não foi explicitamente encontrada na fundamentação e nas atividades. Este aspecto reforçaria a parcialização das áreas do conhecimento em partes limitadas e esquece-se de enfatizar que diferentes áreas do conhecimento contribuem para as pesquisas.

Para analisar como a **'NdC'** vem sendo abordada em pesquisas brasileiras sobre radioatividade, identificamos quais trabalhos tiveram como objetivo principal investigar as visões de ciência na educação sobre radioatividade e evidenciar a **'NdC'**. No 'corpus' dos 40 trabalhos, encontramos seis dissertações que tiveram objetivamente discussões sobre **'NdC'**. São eles: D3, D8, D10, D20, D22 e D36.

Como visto anteriormente nos DE dos trabalhos sobre **'NdC'**, quatro dissertações apresentam sequências didáticas (D10, D20, D22 e D36), um foi curso de formação de professores (D8) e um trabalho é uma pesquisa teórica (D3).

O Quadro 9 descreve os objetivos dos trabalhos que focaram discutir sobre **'NdC'**:

QUADRO 9: OBJETIVOS 'NDC' NAS TD SOBRE RADIOATIVIDADE

<b>Código</b>	<b>Autor (ano)</b>	<b>Descrição sucinta</b>
D3	Silva (2007)	Investigou a imagem de ciência presente em livros didáticos
D8	Cordeiro (2011)	Investigou aportes metodológicos sobre a gênese e desenvolvimento da radioatividade para uma disciplina sobre história da Física e para formação de professores
D10	Monteiro (2011)	Investigou como a sequência didática sobre raios X e radioatividade possibilita ensinar sobre o processo de desenvolvimento do conhecimento científico
D20	Mello (2014)	Investigou como uma abordagem histórica, utilizando imagens, sobre energia nuclear possibilita discutir elementos de 'NdC'
D22	Gomes (2015)	Investigou como uma sequência didática sobre história da radioatividade pode favorecer o aprendizado de conteúdos científicos e epistemológicos
D36	Rocha (2018)	Investigou como uma sequência de ensino e aprendizagem (SEA), na perspectiva ('HFSC') contribui na percepção dos alunos sobre 'NdC' e nos conceitos de radioatividade

FONTE: O autor (2019).

Um dos objetivos da abordagem **'NdC'** é problematizar as visões pouco elaboradas de ciência, consideradas deformadas por Gil-Pérez et. al. (2001). As sete

principais visões descritas pelo autor são: (1) empírico-indutivista; (2) visão rígida; (3) não problemática e ahistórica; (4) exclusivamente analítica; (5) acumulativa e de crescimento linear; (6) visão de senso comum; e (7) visão elitista e individualista da ciência.

Entretanto estas concepções não estão isoladas e de fato existe inter-relações entre os aspectos. Por exemplo, a visão empírico-indutivista é denunciada nas discussões sobre 'HFSC', fica evidente que a ciência é influenciada pela teoria pré-existente.

O estudante percebe que a visão rígida é reducionista quando percebe que existem diversas metodologias para constituir dados e que os resultados são interpretados conforme os pressupostos teóricos e não de forma neutra.

A visão não problemática e ahistórica são problematizadas quando, por exemplo, entende-se que a ciência não é uma verdade absoluta e livre de refutações, mas sua natureza depende da problematização.

A visão analítica é deformada, pois a própria linha de pesquisa 'HFSC' parte do pressuposto que os conhecimentos são interligados e que os fenômenos podem ser estudados de diferentes referenciais teóricos.

A visão acumulativa e de crescimento linear pode ser problematizada a partir das epistemologias de Kuhn e Fleck. Segundo os autores são necessários levar em consideração as fases de transição e de mutação evolucionária na ciência, algumas teorias podem predominar por séculos historicamente, como a geocêntrica (CHALMERS, 1993; FLECK, 1935; KUHN, 1962).

A visão de senso comum é denunciada quando se mostra a realidade da pesquisa científica, que é totalmente diferente da ciência que é apresentada pelos filmes de super-heróis e de ficção científica.

A visão elitista e individualista, tanto no Brasil quanto historicamente, está distante da realidade da pesquisa científica. Entendemos a importância dos grupos de pesquisa, na Universidade a contribuição científica é desenvolvida por diferentes pessoas de diferentes realidades ou grupos sociais.

Tendo por base estas discussões, Silva e Aires (2014) desenvolveram o que vem sendo chamado de visões de enfrentamento às concepções pouco elaboradas da ciência. As sete visões deformadas, descritas por Gil-Pérez et. al. (2001) e as outras sete visões de enfrentamento desenvolvidas por Silva e Aires (2014), foram indicadas anteriormente no Quadro 6.

Este trabalho parte do pressuposto que os aspectos de ‘**NdC**’ podem ser diretamente relacionados com as TD sobre radioatividade. Assim, utilizando-se como categorias ‘*a priori*’ os aspectos da ‘**NdC**’ de Gil-Pérez et. al. (2001) e as visões de enfrentamento de Silva e Aires (2014) buscamos identificar qual o estado do conhecimento que a radioatividade está sendo desenvolvida nestes trabalhos.

## 7.1 AS TESES E DISSERTAÇÕES COM ENFOQUE ‘NDC’

Entre os 40 trabalhos, seis destes tiveram objetivos explicitamente relacionados à ‘**NdC**’. São eles: D3, D8, D10, D20, D22 e D36, discutidos a seguir.

A **primeira dissertação desta lista (D3)** é uma pesquisa teórica do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, defendida no ano de 2007. Seu título é ‘*A epistemologia-em-uso: Imagens de ciência em livros didáticos de Química*’ e o problema de pesquisa foi “qual a imagem de ciência presentes nos livros didáticos de Química?” (SILVA, 2007, p.12).

Silva (2007) inicialmente destaca como a ‘**NdC**’ e a epistemologia estão relacionadas. Comenta sobre o falsificacionismo de Popper (1962), os programas de pesquisa de Lakatos (1979), os paradigmas de Kuhn (1962), os estilos de pensamento de Fleck (1935), os obstáculos epistemológicos de Bachelard (1996) e o anarquismo metodológico de Feyerabend (1977).

Apesar de o autor compreender a complexidade de aspectos que envolvem o entendimento da ‘**NdC**’, as análises focaram em duas concepções especificamente: 1. Empirista/positivista ou indutivista; e 2. Racionalista/construtivista. Segundo o autor estes descritores possuem respaldo nos trabalhos de Campos e Cachapuz (1997) que analisaram livros didáticos de Química de Portugal.

O autor de D3 utilizou como base o trabalho de Campos e Cachapuz (1997) para organizar os descritores para a análise das descrições nos livros didáticos. O quadro abaixo sintetiza as principais características das relações entre o método científico, História da Ciência, ‘CTS’ e as concepções epistemológicas.

O Quadro 10 apresenta os descritores utilizados em D3:

QUADRO 10: DESCRITORES DE CAMPOS E CACHAPUZ (1997).

CATEGORIA	CONCEPÇÃO	
	1. Empirista/indutivista	2. Racionalista/dedutivista

MÉTODO CIENTÍFICO	Leis e teorias científicas são apresentadas utilizando-se um mesmo procedimento, como, por exemplo, observação – hipótese – experiência - resultado - conclusões. Pode-se mesmo chegar-se ao extremo de apresentar essa sequência de passos como sendo o método científico, ou experimental, em que as leis e teorias são estabelecidas por indução.	Apresentam-se os pressupostos, as teorias e os modelos levados em conta na elaboração de hipóteses (partindo de problemas), clarificando-se, assim, os critérios segundo os quais se realizarão as observações.
	As atividades propostas aos alunos são esquematizadas segundo aquele conjunto de 'passos'.	Podem apresentar o método a partir de passos como ideias ou ciclos sem um ponto obrigatório de início.
	Parte-se da observação atenta e completa dos fenômenos para estabelecer as leis e teorias científicas, que surgem como generalizações de enunciados observacionais.	Propõem-se aos alunos atividades diversificadas, desde o planejamento e execução de experiências, para questionar suas ideias ou as sugeridas pelo manual, a coleta de materiais, organização de informação, pesquisa bibliográfica ou interpretação de textos científicos.
	O papel das hipóteses é pouco levado em conta ou simplesmente ignorado, na relação entre teoria e observação.	Evidencia pluralismo metodológico na apresentação das leis e teorias científicas.
CATEGORIA	CONCEPÇÃO	
	1. Empirista/indutivista	2. Racionalista/dedutivista
HISTÓRIA DA CIÊNCIA	A História da Ciência ou não existe ou é apresentada com caráter meramente factual, por exemplo, em 'boxes' à parte do texto principal, ou em pequenas biografias, onde se transcrevem datas relativas a cientistas e descobertas, ou episódios históricos desligados dos conceitos e teorias que estão sendo abordados.	Aproveita períodos de controvérsia científica (por exemplo, Química do oxigênio, teoria atômica, atmosfera primitiva no início da formação da vida, queda livre, etc), para mostrar a evolução dos conceitos e teorias, as dúvidas, os erros e as limitações na construção do conhecimento científico.
	Apresenta o trabalho científico como obra de cientistas isolados, intelectualmente geniais, ignorando-se, em cada época histórica, o papel das comunidades científicas e o intercâmbio entre as equipes de investigadores.	Apresenta o cientista inserido numa comunidade científica, à qual cabe, em última análise, a decisão final sobre o seu trabalho. Enfatiza-se o intercâmbio e, por vezes, a competitividade entre equipes de investigação no avanço da ciência.
CATEGORIA	CONCEPÇÃO	
	1. Empirista/indutivista	2. Racionalista/dedutivista
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE	Na abordagem dos temas, apresenta-se o conhecimento científico como um conjunto de fatos, leis e teorias que valem por si mesmos.	Os temas são desenvolvidos num contexto com relevância social e tecnológica, mostrando-se as implicações da ciência/tecnologia sobre o homem/ambiente/patrimônio e a sociedade em geral.
	Tem pouco em conta a utilidade da ciência/tecnologia no dia-a-dia dos alunos, não se recorrendo a contextos que lhes são familiares no estabelecimento dos conceitos científicos.	Procura-se implicar os alunos em problemas sociais, tecnológicos e éticos da atualidade, incentivando-os a expressar suas opiniões, cientificamente fundamentadas sobre eles.
	Apresenta a ciência /tecnologia como fator absoluto de progresso e com capacidade	Apresenta a ciência/ tecnologia como uma atividade em progresso,

	quase ilimitada para resolver os problemas que se impõem hoje à humanidade.	mas enfatiza suas limitações, erros e dúvidas, características de qualquer atividade humana, podendo apresentar exemplos de insucessos e/ou de problemas ainda não resolvidos pela comunidade científica.
	Ignora-se ou não se realça as implicações sociais da ciência/tecnologia, assim como a influência da sociedade no desenvolvimento das mesmas.	Enfatiza-se a interligação entre ciência e tecnologia. Estas surgem como um empreendimento que influencia e é influenciado pela sociedade.
	A tecnologia aparece desarticulada em relação à ciência. Apresentam-se aplicações tecnológicas de alguns aspectos da ciência, mas quase sempre em paralelo ao desenvolvimento dos temas, ou no final dos capítulos.	Parte-se, eventualmente, de problemas tecnológicos para introduzir conceitos, leis e teorias científicas.

FONTE: CAMPOS E CACHAPUZ, 1997; Apud SILVA, 2007, p. 33.

Posteriormente aborda sobre a importância das pesquisas teóricas e epistemológicas para entender as visões de ciência. Em seguida, discute de forma geral sobre a natureza epistemológica das visões de ciência presente nos livros didáticos de Química. O autor menciona que:

A imagem de ciência encontrada nos livros didáticos de Química é a de uma ciência descontextualizada, separada da sociedade e da vida cotidiana. O método científico é concebido como um conjunto de regras fixas para encontrar a 'verdade', seguindo mais ou menos a concepção empirista/positivista baseada na indução e no desenvolvimento acumulativo, sem marcas qualitativas do tipo histórico, tecnológico, sociológico e humanístico como tem sido apontado em algumas pesquisas (SILVA, 2007, p. 28).

Em termos metodológicos, o pesquisador de D3 selecionou “três livros de Química que tiveram três capítulos fragmentados (dois escolhidos pelo pesquisador: Introdução e pilhas e um sorteado radioatividade)” (SILVA, 2007, p.4). E analisou marcas textuais como parágrafos (PRG), exercícios (EXE), experimentos (EXP) e fragmentos iconográficos (ICO).

Os resultados de Silva (2007) indicam uma superioridade percentual do perfil epistemológico empirista/positivista ou indutivista na conjuntura dos três livros. Um breve resumo dos principais dados estão nos Quadros 11 e 12 respectivamente.

QUADRO 11: RESUMO DOS DADOS (PARÁGRAFOS E EXERCÍCIOS) EM D3.

(1) Emp-ind; (2)	(1) PRG	(2) PRG	(1) EXE	(2) EXE
------------------	---------	---------	---------	---------

Rac/con								
Livro 1	123		9		137		18	
Livro 2	65		130		87		30	
Livro 3	5		131		84		82	
Total	193	42%	270	58%	308	70%	130	30%

FONTE: O autor (2020).

QUADRO 12: RESUMO DOS DADOS (EXPERIMENTOS E ICONOGRÁFICOS) EM D3.

(1) Emp-ind; (2) Rac/con	(1) EXP		(2) EXP		(1) ICO		(2) ICO	
Livro 1	1		0		13		1	
Livro 2	3		0		13		10	
Livro 3	0		3		1		46	
Total	4	57%	3	43%	27	32%	57	68%

FONTE: O autor (2020).

Então para Silva (2007) foi possível concluir que: (1) o livro 1 apresenta perfil empirista-indutivista em todas as categorias; (2) o livro 2 é predominantemente empírico-indutivista nos exercícios, nos experimentos e nos fragmentos iconográficos e racionalista/construtivista nos parágrafos; (3) o livro 3 é predominantemente racionalista/construtivista e nos exercícios empírico-indutivista.

Apesar disto, para o autor, é importante compreender que “mesmo em um livro com posicionamento mais empirista, podemos encontrar conteúdos com fragmentos mais racionalistas” (SILVA, 2007, p. 58).

O Quadro 13 apresenta o aspecto da ‘Ndc’ e a consideração sobre os conceitos de radioatividade em D3.

QUADRO 13: TRECHOS DA D3 E OS ASPECTOS ‘NDC’

Aspecto da ‘Ndc’	(6) visão socialmente neutra	(13) ciência influenciada por fatores externos
Trecho	Um capítulo como radioatividade não tem um conteúdo de Química muito específico (afinal não trata de uma reação química convencional), e acaba descrevendo a questão das bombas atômicas ou de hidrogênio, a aplicação da radioatividade na medicina, na conservação dos alimentos, obtenção de energia elétrica por reatores nucleares, etc.	
Aspecto da ‘Ndc’	(5) exclusivamente analítica	
Trecho	Assim, na introdução, onde são tratados conceitos mais gerais, o perfil epistemológico 2 tem maior amplitude do que nos capítulos de Pilhas e radioatividade onde conceitos químicos mais específicos têm que ser abordados.	



Aspecto da 'NdC'	(13) ciência influenciada por fatores externos		
Trecho	Aparentemente, o esforço maior dos autores foi com o desenvolvimento temático dos conteúdos, principalmente contextualizando os temas apresentados pela relação ciência, tecnologia e sociedade na perspectiva do perfil 2 (todas 36 marcas dessa categoria existentes no capítulo Pilhas e radioatividade apresentam 100% de perfil 2), mas possivelmente descuidaram dos exercícios escolhidos na construção dos capítulos.		
Aspecto da 'NdC'	(8) observação influenciada pela teoria	(6) socialmente neutra	(13) ciência influenciada por fatores externos
Trecho	Como já foi observado no Livro 3, o perfil epistemológico racionalista/construtivista ou dedutivista (2) sempre predominou, o que demonstra uma coerência epistemológica de uma visão de ciência contemporânea, o que parece ser uma característica de livros textos considerados alternativos. Aparentemente, no Livro 3, os autores tomaram mais cuidados com a apresentação temática do conhecimento científico. No entanto, parecem ter se descuidado nos tópicos mais tecnológicos e de grande impacto e relevância social, como o tópico de radioatividade.		
Aspecto da 'NdC'	(1) empírico-indutivista		
Trecho	No entanto, isso muda radicalmente, caso se considerem as marcas tipo exercícios existentes nos capítulos de Pilhas (55% perfil 1) e radioatividade (67,4% perfil 1), observar-se-á o predomínio do perfil empirista.		

FONTE: O autor (2020).

Em relação às concepções do Quadro 6, encontramos que os aspectos 'NdC' mais discutidos no trabalho de D3 sobre radioatividade foram: (6) socialmente neutra; (13) ciência influenciada por fatores externos; (5) exclusivamente analítica; (8) observação influenciada pela teoria; e (1) empírico indutivista.

A **segunda dissertação desta lista (D8)** é um curso de formação de professores do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), defendida no ano de 2011. Seu título é *'Dos Curie à Rutherford: Aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica'* e tem por objetivo "investigar aportes epistemológicos sobre a gênese e desenvolvimento da radioatividade para uma disciplina sobre História da Física e para a formação de professores". (CORDEIRO, 2011, p. 9).

O trabalho, em D8, está estruturado em cinco artigos, um breve resumo é apresentado no Quadro 14.

QUADRO 14: ESTRUTURA DA D8.

Artigo 1 (cap. 1)	Discussão das sete visões deformadas de Gil-Pérez et. al. (2001) e como uma unidade didática de História da Ciência possibilita desconstruir cada uma destas imagens deformadas da ciência e do trabalho científico
Artigo 2 (cap. 2)	Apresenta a gênese da radioatividade a partir das conferências Nobel de Pierre e Marie Curie, de obras de historiadores da ciência, biografias e trabalhos originais dos cientistas.

Artigo 3 (cap. 3)	Apresentam os trabalhos de Ernest Rutherford e em seguida de Frederick Soddy. O período estende-se desde a classificação das radiações até o modelo atômico nuclear, culminando no trabalho dos isótopos radioativos.
Artigo 4 (cap. 4)	Análise do conteúdo de radioatividade em um livro didático de estrutura da matéria com base nos pressupostos históricos dos artigos 2 e 3.
Artigo 5 (cap. 5)	Análise sobre o desenvolvimento de um módulo de ensino baseado nos artigos 2, 3 e 4 na disciplina de evolução dos conceitos de Física da UFSC, a partir de um exercício proposto aos alunos.

FONTE: O autor (2020).

A pesquisadora desenvolveu um módulo sobre a história da radioatividade e aspectos epistemológicos na disciplina de 'evolução dos conceitos de Física', a qual foi desenvolvida em três aulas de dois períodos (1h40min), participaram dez alunos, metade cursava bacharelado e a outra metade licenciatura em Física.

Na primeira aula a professora trabalhou os textos de Martins (1990, 1997, 2003 e 2005) e Kragh (1997 e 2000), problematizou a ideia das grandes descobertas científicas e passagens das conferências Nobel como contraexemplos às imagens deformadas de Gil-Pérez et. al. (2001). Foram estudados todos os aspectos do Quadro 6.

Cordeiro (2011) trabalhou na segunda aula sobre os trabalhos de Rutherford e Soddy (1902), Geiger e Marsden (1909), Rutherford (1909; 1966) e Soddy (1966). Segundo a autora:

Foram mostrados, nas palavras dos próprios físicos e químicos, os experimentos, as conclusões, as hipóteses balizadoras das investigações, as dificuldades com o corpo teórico consolidado e a relação intrínseca entre as pesquisas com radioatividade e a construção do modelo atômico nuclear. (CORDEIRO, 2011, p. 190).

Na terceira aula o livro *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas* foi analisado a partir dos pressupostos epistemológicos trabalhados nas duas primeiras aulas. De acordo com Cordeiro (2011) foi possível discutir que se o professor não interpretar os conteúdos do livro ele pode "potencialmente propagar as imagens ateórica, analítica, individualista, socialmente neutra, ahistórica, acumulativa e algorítmica." (CORDEIRO, 2011, p. 192).

Para avaliar o entendimento dos alunos foram utilizadas três técnicas para de coleta de dados: (1) observações livres; (2) conjunto de questões; e (3) entrevistas semiestruturadas.

Em relação às observações livres, Cordeiro (2011) destaca que os alunos se envolveram significativamente com a unidade de ensino. Na primeira aula, os alunos questionaram sobre a diferença de hipótese e teoria, na segunda refletiram sobre as necessidades industriais das pesquisas de Frederick Soddy e Otto Hahn e as características do trabalho científico. Na última aula levantaram as dificuldades de uma nova redação aos livros didáticos e o papel do professor na utilização destes materiais.

No que se refere ao conjunto de questões, para avaliar o entendimento dos estudantes, a autora propôs as seguintes perguntas: (1) Que sinais de dessincretização de conceitos há na estrutura do texto? (2) Que traços de (des)contextualização histórica há no material? (3) Que indícios de (des)personalização há na abordagem dos conteúdos? (4) Que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga? Corrobre com trechos.

Sobre a primeira questão os alunos problematizaram a visão (5) Acumulativa e de crescimento linear, o que ocorre é que o livro primeiramente apresenta o modelo atômico de Rutherford-Bohr para na sequência introduzir sobre os conceitos de radioatividade. Como vimos anteriormente no capítulo 2, o Casal Curie trabalhou com a radioatividade em 1896, enquanto que as radiações gama foram divulgadas por Rutherford em 1900, quando os estudos de radioatividade estavam sendo discutidos.

Ainda na questão 1 foi possível identificar que uma considerável quantidade de alunos teve dificuldades de diferenciar os termos dessincretização e descontextualização. No entanto conseguiram problematizar a visão (6) socialmente neutra. Segundo Cordeiro (2011), esta dificuldade de diferenciar os termos foi mais significativo nos estudantes do bacharel, já os estudantes da licenciatura já tiveram contato com o termo na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física A.

Em relação à questão 2 foram mencionadas a visão (3) não problemática e ahistórica e a visão (1) empírico-indutivista, uma vez que o livro deixa de citar a importância que as pesquisas sobre os raios X para o desenvolvimento dos conhecimentos sobre radioatividade.

Sobre a terceira questão os alunos discutiram principalmente o fato de o livro não mencionar o nome dos principais pesquisadores sobre a radioatividade Becquerel, Marie Curie e Pierre Curie. Assim os alunos mencionaram aspectos

relativos à visão (1) empírico-indutivista, (3) não problemática e ahistórica, (4) exclusivamente analítica e (7) elitista e individualista.

No que se refere à questão 4, seis estudantes destacaram o seguinte trecho “Visto que essas radiações tinham partido do interior do átomo, era lógico concluir que os raios  $\alpha$  e  $\beta$  eram constituídos por partes do átomo” (FERRARO, ET. AL. 2010, p. 541 apud CORDEIRO, 2011, p. 216). Metade dos alunos concluíram que este trecho reforça a visão (3) não problemática e ahistórica e a outra metade destaca a visão (5) acumulativa e de crescimento linear. Alguns alunos também destacaram a visão (1) empírico-indutivista a partir do trecho.

De acordo com Cordeiro (2011) os alunos “se demonstraram bastante presos às ideias errôneas mapeadas por Gil-Pérez et. al. (2001)” (CORDEIRO, 2011, p. 223) e portanto não foram mencionadas algumas visões de Gil-Pérez et. al. (2001) e as características mais elaboradas (como as de Silva e Aires, 2014) não foram mencionadas pelos alunos.

Em relação às entrevistas semiestruturadas, a autora conclui que os alunos entenderam sobre a importância da História da Ciência no ensino. Além disso, os alunos afirmaram que as aulas possibilitaram que eles compreendam como utilizar o livro didático e de que modo é possível estabelecer as relações entre os conceitos e aspectos da ‘NdC’.

As outras dissertações sobre ‘NdC’ apresentam sequências didáticas para o ensino médio que foram desenvolvidas problematizando aspectos de ciência de Gil-Pérez, et. al. (2001). São elas: D10, D20, D22 e D36.

**A primeira sequência didática** com objetivos relacionados à ‘NdC’ foi **D10**. Esta pesquisa foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) no ano de 2011. O título é *‘Discutindo a ciência através de episódios históricos: o caso dos raios X e da radioatividade’* e o objetivo foi “explorar episódios históricos em sala de aula de forma a provocar os alunos, e levá-los a uma visão adequada da NdC” (MONTEIRO, 2011, p. 11).

Em relação à fundamentação teórica, a autora apresenta as vantagens da HFC como estratégia didática. Para tal, discute sobre os argumentos de Matthews (1995) e Martins (2005) para a inclusão da HFC em sala de aula e na formação de professores. E na sequência destaca os aspectos da ‘NdC’ que autores como Gil-

Pérez et. al. (2001), Abd-El-Khalic, Lederman (2000) e McComas (2005) que já são considerados consensuais entre os pesquisadores.

A pesquisadora de D10 preparou atividades sobre a história da radioatividade para alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola pública em Campina Grande. Participaram das aulas 20 alunos, as atividades foram duas intervenções (simulando a ciência e episódio histórico) divididas em duas aulas.

Na intervenção simulando a ciência, a professora discutiu com os alunos sobre ciência. O objetivo era de explicar didaticamente sobre o funcionamento da ciência. Na primeira etapa a turma foi dividida em quatro grupos e os alunos deveriam tentar argumentar sobre o que tinha dentro de três caixas e três bolsas. Na segunda etapa os alunos deveriam encontrar um consenso entre os argumentos e apresentarem as justificativas para a sala.

Já na próxima aula, a professora propôs a discussão da adaptação dos artigos 'A descoberta dos raios X' e 'A descoberta da radioatividade', ambos publicados por Roberto de Andrade Martins em 1998 e 2003 respectivamente. Após leitura e discussão, a pesquisadora investigou, através de questionários, "se a apresentação do material histórico trouxe impactos na visão de conhecimentos dos alunos em relação à NdC" (MONTEIRO, 2011, p. 57).

Em relação à dinâmica da primeira aula, os alunos entenderam que as controvérsias fazem parte da ciência. Sobre o texto dos raios X "os alunos confirmaram que a observação está carregada de teoria" (MONTEIRO, 2011, p. 66). Já no texto sobre a radioatividade:

A simplificação afetou a qualidade do texto, e não gerou uma interpretação clara, que provocasse uma visão adequada da ciência, e completasse as atividades da dinâmica simulando a ciência e a abordagem do episódio sobre os raios X. (MONTEIRO, 2011, p. 70).

Segundo Monteiro (2011) os aspectos '**NdC**' destacados nas intervenções foram: (8) uma observação não é possível sem ideias pré-existentes; (14) a necessidade de divulgação entre pares para validar o conhecimento adquirido; e (9) é sempre possível mais de uma interpretação para o mesmo fenômeno.

O segundo trabalho que desenvolveu uma sequência didática com objetivos '**NdC**' foi a **D20**. Esta dissertação foi defendida no PPGEEM do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ

no ano de 2014. O título é *‘A HFC como um caminho para problematizar o tema energia nuclear no ensino médio: As imagens como uma estratégia didática’*. E o problema de pesquisa foi:

Como uma abordagem histórica pode ser um caminho para se discutir elementos de Natureza da Ciência em torno ao tema Energia Nuclear, a partir de uma estratégia didática utilizando imagens? (MELLO, 2014, p. 3).

A fundamentação teórica apresenta um capítulo dedicado a HFC, no qual é discutido os aspectos da **‘NdC’**. O autor baseia-se em autores como Martins (2007), Abd-El-Khalic, Lederman (2000), Forato, Pietrocola e Martins (2011). Para além do entendimento dos aspectos de **‘NdC’** o autor considera os obstáculos ao desenvolver um ensino de ciências a partir de um enfoque histórico e filosófico.

As atividades foram elaboradas para um conjunto de oito grupos em três turmas do segundo ano do ensino médio público estadual no Rio de Janeiro. As idades dos alunos ficavam entre 17 e 40 anos. “A proposta foi planejada para conter seis aulas, onde cada aula corresponde a dois tempos de 30 minutos” (MELLO, 2014, p. 25).

As atividades desenvolvidas e as respectivas descrições estão no Quadro 15.

QUADRO 15: ATIVIDADES DA D20.

Nº da atividade	Descrição sucinta
Atividade 1	Familiarizar os alunos com o tema radiação a partir de imagens
Atividade 2	Conjunto de quatro aulas sobre o tema energia nuclear e imagens
Atividade 3	Construção de uma linha do tempo com as imagens

FONTE: O autor (2020).

A atividade 1 foi planejada para uma aula. Os alunos foram estimulados a debater e se posicionar sobre o uso da radiação, entre o conjunto das imagens eles tiveram que selecionar as que poderiam ilustrar melhor seus posicionamentos sobre o tema. De acordo com Mello (2014), o uso das imagens foi “uma excelente ferramenta para a investigação de valores e ideologias associados à produção científico-tecnológica” (MELLO, 2014, p. 28).

Já a atividade 2 foi pensada para um conjunto de quatro aulas sobre a gênese da energia nuclear. Para tal, as aulas 1, 2 e 3 consistem na apresentação dos estudos com gases rarefeitos, o trabalho de Röntgen com os raios X até as pesquisas do casal Curie. Já na aula 4 foi trabalhada a radioatividade nos dias atuais e as concepções dos alunos a partir das aulas.

Ao final da sequência didática (atividade 3) os alunos deveriam trazer todos os slides para construir uma linha do tempo contemplando o período estudado. Dentre todas as imagens, os alunos poderiam selecionar dez imagens. Então durante a aula 5 os alunos discutiram sobre os critérios para selecionar as imagens e na aula 6 desenvolveram a linha do tempo.

Segundo Mello (2014), inicialmente os alunos tinham dificuldade de expressar suas opiniões sobre o uso das radiações. Já ao longo da atividade 2 os estudantes começaram a compreender melhor os aspectos da 'Ndc'. Segundo o autor os alunos apresentaram um entendimento mais elaborado da ciência a partir da abordagem histórica. Ao final da atividade 3 foi possível identificar que os alunos mudaram suas percepções sobre o trabalho científico e consequentemente evidenciaram aspectos da 'Ndc'.

O Quadro 16 apresenta os aspectos da 'Ndc' trabalhados em cada aula de D20:

QUADRO 16: ASPECTOS DA 'NDC' NAS AULAS.

Aula	Atividade	Aspectos 'Ndc' evidenciados
1	Debate sobre radiações a partir de imagens; Concepções acerca do papel do cientista gênio; Associação entre a radiação e a tecnologia; e Relação entre a ciência e outras áreas do conhecimento.	Concepções acerca do papel do cientista (descritores 7 e 14 – individualista e elitista e ciência como atividade coletiva); Concepções 'CTS' (descritores 6 e 13 – socialmente neutra e ciência influenciada por fatores externos); e Contribuições de diferentes áreas do conhecimento (descritores 4 e 11 – exclusivamente analítica e unificação do conhecimento científico).
2	Dos gases rarefeitos até os raios X; Situar o contexto histórico; Discutir contribuições de diferentes áreas do conhecimento; Mostrar que os experimentos não são realizados ao acaso; Desconstruir a imagem do cientista gênio; Trabalhar a relação sociocultural entre a ciência e a sociedade; e Mostrar mudanças histórico-socioculturais na sociedade.	Concepções históricas (descritores 3 e 10 – não problemática e ahistórica e caráter histórico e dinâmico da ciência); Conhecimento sendo produto do acaso (descritores 3 e 10 – empírico-indutivista e atórica e observação influenciada pela teoria); Concepções acerca do papel do cientista (descritores 7 e 14 – individualista e elitista e ciência como atividade coletiva); e Concepções 'CTS' (descritores 6 e 13 – socialmente neutra e ciência influenciada por fatores externos).
3	A radioatividade; Desconstruir a imagem do cientista	Concepções acerca do papel do cientista (descritores 7 e 14 – individualista e elitista e

	gênio; Mostrar as contribuições das pesquisas anteriores; e As contribuições de Becquerel, de Marie e Pierre Curie.	ciência como atividade coletiva); O papel das teorias pré-existentes (descritores 3 e 10 – empírico-indutivista e atórica e observação influenciada pela teoria).
4	Radioatividade nos dias de hoje; Trabalhar as emissões radioativas, destacando o trabalho coletivo; e Mostrar algumas aplicações do uso da radiação.	Concepções acerca do papel do cientista (descritores 7 e 14 – individualista e elitista e ciência como atividade coletiva); e Concepções ‘CTS’ (descritores 6 e 13 – socialmente neutra e ciência influenciada por fatores externos).
5	Seleção das imagens para a construção da linha do tempo	-
6	Construção da linha do tempo	-

FONTE: Mello, 2014, p. 29-42 [modificação nossa].

De acordo com Mello (2014) as análises da linha do tempo não eram necessárias para o problema da pesquisa.

Entendemos que esta análise a pesar de muito rica e interessante, nessa pesquisa não seria viável devido à falta de tempo disponível para tal, e por entendermos que os dados obtidos já eram suficientes para responder a questão central desse trabalho de pesquisa (MELLO, 2014, p. 63).

**D22 é uma sequência didática** do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (USP), defendida em 2015. O título é *‘Uma história da radioatividade para a Escola Básica: desafios e propostas’* e o problema de pesquisa foi:

Como desenvolver uma proposta para a Escola Básica, a partir da abordagem de episódios da história da radioatividade, que possa favorecer o aprendizado de conceitos científicos e conteúdos metacientíficos? (GOMES, 2015, p. 3).

Segundo Gomes (2015) o trabalho busca oferecer duas contribuições: (1) elaboração do material didático de apoio e (2) a análise e reflexão da elaboração da proposta.

Em termos de fundamentação teórica, Gomes (2015) apresenta sobre a importância da História da Ciência no ensino, principalmente para problematizar concepções deformadas baseados nos trabalhos de Gil-Pérez et. al. (2001). Na sequência disserta sobre a inclusão da FMC a partir da História da Ciência, tendo como pressupostos os trabalhos de Martins (1990), Oliveira et. al. (2014) e Marie Curie.



As atividades foram planejadas para o terceiro ano do ensino médio de Física e Química e teve duração de 6 aulas de duas horas cada. De acordo com Gomes (2015) a proposta foi pensada para alunos que já estudaram sobre os modelos atômicos, fosforescência e fluorescência.

O Quadro 17 apresenta o planejamento das aulas desenvolvidas em D22:

QUADRO 17: PLANEJAMENTO DE D22 NAS AULAS.

Aula	Conteúdos	Atividades
1	Aplicações da radioatividade: bomba nuclear, segunda guerra mundial, guerra fria.	Vídeo 1. Leitura coletiva. Textos 1 e 2. Debate sobre os textos. Pesquisa extra sala.
2	Instabilidade nuclear, emissões radioativas, contexto histórico.	Leitura textos 3 e 4. Aula expositiva sobre instabilidade do núcleo atômico e exercícios.
3	Contexto histórico, emissões radioativas.	Aula expositiva sobre emissões radioativas. Simuladores PHET. Leitura do texto 5. Exercícios. Vídeo 2 (extraclasse).
4	Contexto histórico, transmutação nuclear, datação por carbono-14.	Vídeo 3. Aula expositiva transmutação nuclear e datação por carbono-14. Exercícios. Texto 6. Orientações para a atividade a ser realizada na aula 5.
5	Acidentes radioativos.	Dramatização do texto 7. Discussão sobre protocolos de segurança com radioatividade.
6	Aplicações: Geração de energia, usos na medicina, acidentes radioativos.	Atividade em grupo sobre os textos 8 e 9. Documentário sobre acidentes nucleares (vídeo 4). Fechamento da proposta.

FONTE: Gomes, 2015, p. 44.

Gomes (2015) destaca que não foi possível discutir todos os aspectos da ‘Ndc’ em todas as aulas. Até o final da sequência didática, as visões (2) rígida, (4) exclusivamente analítica, (5) acumulativa e de crescimento linear, (10) caráter histórico e dinâmico da ciência e (11) unificação do conhecimento científico não foram mencionadas.

O Quadro 18 apresenta os aspectos da ‘Ndc’ discutidos em cada aula de D22:

QUADRO 18: ASPECTOS DA ‘NDC’ NAS AULAS.

Aula	Atividade	Aspectos ‘Ndc’ evidenciados
1	Leitura do poema; Leitura dos textos de interpretação do evento; Discussão em grupo; e Debate plenário.	(6) Socialmente neutra; (13) Ciência influenciada por fatores externos; e (1) Empírico-indutivista.
2	Leitura dos textos 3 e 4; e Aula expositiva e exercícios.	(7) Elitista e individualista; (14) Ciência como atividade coletiva; (3) Não problemática e ahistórica; (12) Rupturas e controvérsias científicas; (9) Pluralismo metodológico; e (8) Observação influenciada pela teoria.
3	Aula expositiva sobre emissões radioativas; Simuladores PHET; e	(14) Ciência como atividade coletiva; (8) Observação influenciada pela teoria; e (9) Pluralismo metodológico.

	Leitura do texto 5.	
4	Vídeo 4; Aula expositiva sobre transmutação nuclear e datação por carbono-14; e Leitura do texto 6.	(6) Socialmente neutra; (13) Ciência influenciada por fatores externos; (7) Elitista e individualista; (14) Ciência como atividade coletiva; (3) Não problemática e ahistórica; e (12) Rupturas e controvérsias científicas.
5	Dramatização do texto 7; e Discussão sobre protocolos de segurança com radioatividade.	(6) Socialmente neutra; e (13) Ciência influenciada por fatores externos.
6	Leitura dos textos 8 e 9; Apresentação dos grupos; e Documentário sobre acidentes nucleares.	(6) Socialmente neutra; e (13) Ciência influenciada por fatores externos.

FONTE: Gomes, 2015, p. 47-55 [modificação nossa].

Gomes (2015) conclui a pesquisa defendendo que a sequência didática pode ser utilizada no ensino médio. Uma recomendação final do trabalho foi ter em mente as dificuldades, mencionadas no DE 'HFSC', de trabalhar com a radioatividade e a 'NdC' e as reflexões de Forato, Pietrocola e Martins (2011) de como evitar concepções simplistas nas atividades desenvolvidas.

Finalmente a **D36 é a última dissertação** do 'corpus' e teve objetivos relacionados à 'NdC'. Esta pesquisa foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIMA) da Universidade Federal de Sergipe no ano de 2018. Seu título é '*A compreensão da 'NdC' a partir do estudo de radioatividade: Contribuições de uma sequência de ensino-aprendizagem*' e o objetivo foi:

Analisar o desenvolvimento de uma Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) elaborada na perspectiva 'HFC', verificando as suas contribuições para a percepção dos alunos sobre 'NdC' e elaboração conceitual em torno do tema radioatividade (ROCHA, 2018, p. 6).

Em relação à fundamentação teórica, a autora em D36 realizou uma breve revisão bibliográfica sobre as pesquisas voltadas para a História da Ciência e da radioatividade. Foram selecionados trabalhos publicados entre 2006 e 2016 em revistas da área de ensino de ciências. Os textos foram pesquisados a partir das palavras 'História da Ciência' e 'radioatividade' nas revistas (1) Ciência e Educação, (2) Ensaio Revista em Educação em Ciências, (3) Enseñanza de Las Ciencias, (4) Investigación no Ensino de Ciências, (5) Revista Brasileira de Pesquisa em Educação, (6) Revista Eletrônica Enseñanza de Las Ciencias e (7) Revista

Alexandria. Ao total foram encontrados 16 trabalhos que abordam sobre História da Ciência e 4 trabalhos sobre radioatividade.

Em relação às pesquisas sobre História da Ciência a pesquisadora refletiu sobre a imagem de ciência em livros didáticos. Segundo Vidal, Porto (2012), Farías, Molina e Castelló (2013) os livros analisados “de um modo geral apresentam a História da Ciência de maneira linear, focada em datas e nomes de cientistas” (ROCHA, 2018, p. 23). A partir desta consideração os autores então sugerem que a ‘**NdC**’ pode ser um caminho para melhorar a imagem da ciência nos livros didáticos.

Já em relação às pesquisas sobre radioatividade, Rocha (2018) destaca a preocupação quanto às metodologias que levam para a compreensão dos conceitos de radioatividade. Nenhuma das quatro pesquisas discute objetivamente sobre História da Ciência ou ‘**NdC**’.

A pesquisadora de D36 preparou um curso independente para 26 alunos (19 meninas e 7 meninos) do 2º ano do ensino médio do colégio de Aplicação. Todas as aulas foram gravadas, questionários foram respondidos e os dados foram analisados a partir da ATD. A intervenção durou 6 encontros, a duração de cada encontro variava entre 1 hora e 35 minutos e 3 horas.

O resumo das atividades realizadas em cada encontro está no Quadro 19:

QUADRO 19: ATIVIDADES EM D36.

Aula	Atividades
1, 2 e 3	Identificar as concepções prévias dos alunos sobre ciência, radiação, radioatividade e raios X; Criar um problema a partir da utilização de uma questão problematizadora sobre o acidente radioativo que ocorreu com o céσιο 137 em Goiânia; e Construir conceitos fundamentais que dariam suporte ao conteúdo a ser trabalhado nos encontros posteriores, tais como os conceitos de radiação e de onda.
4	Identificar e explorar as concepções dos alunos sobre a ciência e suas características a partir de uma perspectiva histórica sobre a descoberta dos raios X, de modo a possibilitar um avanço nas concepções iniciais.
5	Promover uma discussão acerca da compreensão da concepção de descoberta a partir de uma perspectiva histórica envolvendo a descoberta da radioatividade, de modo a possibilitar um avanço nas concepções iniciais dos alunos.
6	Construção de conceitos fundamentais para a compreensão do fenômeno da radioatividade, tais como, emissão alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ), fissão e fusão nuclear e tempo de meia vida; Apresentar as contribuições de Rutherford para a compreensão dos fenômenos radioativos, como também a aplicação da radioatividade na medicina.
7 e 8	Promover uma exposição interativa sobre a aplicação da radioatividade na medicina partindo de uma discussão sobre o acidente radioativo que ocorreu em Goiânia-Goiás com o isótopo do Céσιο 137.
9	Promover uma discussão acerca de aspectos sociais e econômicos da vida de Marie Curie e Antoine Becquerel, assim como da influência de tais aspectos no fazer científico.

FONTE: Rocha, 2018, p. 75-162 [modificação nossa].

No primeiro encontro (aula 1, 2 e 3), Rocha (2018) problematizou sobre uma questão que abordava o acidente radioativo nuclear que ocorreu em Goiânia com o Césio 137. Nesta abordagem desencadearam discussões sobre os descritores 3 (não problemática), 6 e 13 (socialmente neutra e influenciada por fatores externos).

Em relação ao segundo encontro (aula 4), a professora primeiramente retoma conceitos trabalhados na aula passada e na sequência “foi realizada pelos alunos a leitura do texto sobre a descoberta dos raios X” (ROCHA, 2018, p. 89). Para a autora após esta leitura os alunos apresentaram características do fazer científico, tais como:

Elaboração de hipóteses, Descoberta acidental, Utilização de um método científico único com etapas sequenciais, Ciência estuda os fenômenos da natureza, Ciência promotora de bem estar social, Verdades absolutas, Comprovação empírica (ROCHA, 2018, p. 90).

Dessa forma, a professora trabalhou o texto e o episódio das pesquisas sobre os raios X discutindo os descritores 1 e 8 (empírico-indutivista e observação influenciada pela teoria), 2 e 9 (visão rígida e pluralismo metodológico), 3 e 10 (não problemática e ahistórica e caráter histórico e dinâmico da ciência), 6 e 13 (socialmente neutra e ciência influenciada por fatores externos). Após a aula foi possível perceber que os alunos mudaram suas concepções sobre o funcionamento da ciência.

No que se refere ao terceiro encontro (aula 5), Rocha (2018) trabalhou sobre o texto *‘Final, quem descobriu a radioatividade?’* O texto aborda sobre os experimentos de Becquerel e o trabalho de Marie Curie sobre os fenômenos radioativos.

Durante esta aula a professora trabalhou os descritores 1 e 8 (empírico-indutivista e observação influenciada pela teoria), 5 e 12 (acumulativa e de crescimento linear rupturas e controvérsias científicas), 2 e 9 (visão rígida e pluralismo metodológico). Após a aula foi possível “perceber uma evolução das ideias principalmente as relacionadas ao conceito de descoberta” (D36, 2018, p. 132).

No quarto encontro (aula 6), foram trabalhados os conceitos fundamentais da radioatividade, as contribuições de Rutherford e a aplicação da radioatividade na

medicina. Nesta aula as características da ‘**NdC**’ foram apresentadas pelos próprios alunos. Os descritores identificados na gravação da aula e na resposta ao questionário foram 7 e 14 (elitista e individualista e ciência como atividade coletiva), 5 e 12 (acumulativa e de crescimento linear rupturas e controvérsias científicas), 2 e 9 (visão rígida e pluralismo metodológico), 4 e 11 (exclusivamente analítica e unificação do conhecimento científico).

Em relação ao quinto encontro (aula 7 e 8), foi trabalhado o texto *‘perigos do descarte incorreto de lixo radioativo hospitalar’* e um questionário relacionado à imagem da ciência e do cientista. Nesta abordagem foram discutidos os descritores 6 e 13 (socialmente neutra e ciência influenciada por fatores externos), 3 e 10 (não problemática e ahistórica e caráter histórico e dinâmico da ciência), 1 e 8 (empírico-indutivista e observação influenciada pela teoria), 7 e 14 (elitista e individualista e ciência como atividade coletiva).

No que se refere ao sexto e último encontro (aula 9) da SEA. Primeiramente a professora retoma conceitos das aulas passadas e na sequência os alunos recebem o texto *‘O cientista por trás da descoberta’*. O texto aborda sobre aspectos sociais e econômicos da vida de Marie Curie e Becquerel, bem como a situação política e econômica da França no final do século XIX e início do século XX.

Nesta abordagem discutiram-se principalmente os descritores 7 e 14 (elitista e individualista e ciência como atividade coletiva), 3 e 10 (não problemática e ahistórica e caráter histórico e dinâmico da ciência). Para além dos descritores usualmente utilizados nesta dissertação, Rocha (2018) também destaca categorias como:

Influência social na ciência, Comunidade científica; Ruptura da visão masculina de ciência; Percepção do cientista como sujeito sócio-histórico; Validação científica; Valorização de diversos tipos de conhecimento (ROCHA, 2018, p. 163).

Importante ressaltar que no trabalho de Rocha (2018) tanto a professora quanto os alunos participavam como protagonistas das atividades, assim os resultados da pesquisadora indicam que foi possível desestabilizar as concepções pouco elaboradas da ciência.

## 7.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO CAPÍTULO

Ao final deste capítulo foi possível perceber que as pesquisas que envolvem a radioatividade na educação, mesmo quando não envolvem objetivamente a 'NdC', evidenciam aspectos da 'NdC' implicitamente ou explicitamente nos trabalhos.

Identificamos que os aspectos (13) Ciência influenciada por fatores externos, (10) Caráter histórico e dinâmico da ciência e (14) Ciência como atividade coletiva são os que estão mais presentes nos trabalhos. Estes também foram os três aspectos mais frequentes nos trabalhos de Silva, Aires (2014) e Barbosa (2016).

Em relação às TD sobre radioatividade na educação, os aspectos da 'NdC' ficam evidentes quando se fala de história da radioatividade. Como a radioatividade envolve relações 'CTS', o foco temático mais presente nos trabalhos foi 'CTS'. As pesquisas de Röntgen (1896), Becquerel (1896) e Curie (1899) expõe com clareza seus diferentes métodos, resultados e concepções sobre assuntos semelhantes (no caso raios X, raios de Becquerel e radioatividade). Além disso, é possível notar a mudança que ocorreram nas técnicas com o tempo, evidenciando o caráter histórico e dinâmico. E como diferentes grupos de cientistas participavam na construção do conhecimento sobre radioatividade fica evidente a atividade científica coletiva.

Também analisamos seis dissertações com objetivos que envolvem diretamente a 'NdC' e a radioatividade, foram os trabalhos D3, D8, D10, D20, D22 e D36. Dessas, D3 analisou a imagem da ciência em livros didáticos, D8 preparou um curso de formação de professores, D10, D20, D22 e D36 desenvolveram sequências didáticas para o ensino médio.

Em relação à radioatividade, entendemos que as pesquisas não apresentam visões exageradamente ingênuas da ciência na introdução e na fundamentação teórica dos trabalhos, entretanto existe uma quantidade considerável de textos (principalmente da internet) que enfatizam uma visão simplista e que não condiz com a realidade dos trabalhos de Röntgen e Becquerel.

O que é preocupante, pois se o professor e o aluno não tiverem contato em algum momento da vida acadêmica com a 'NdC', provavelmente estudando podem desenvolver uma ideia diferente da realidade. Fora estes fatores, a radioatividade também é pouco explorada nos níveis de ensino fundamental, superior, EJA e formação de professores, o que dificulta compreensões mais elaboradas sobre a temática.

A 'NdC' é pouco explorada nas pesquisas brasileiras sobre radioatividade, dificilmente são abordados todos os aspectos, ou pelo menos os mais conhecidos pelos pesquisadores como os de Gil-Pérez et. al. (2001) e Silva e Aires (2014). Portanto concluímos que são necessários mais trabalhos que envolvam a 'HFSC', a 'NdC' e a radioatividade no Ensino e Educação em Ciências.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como pressuposto que a Educação em Ciências possibilita aos alunos, além de entender os conteúdos científicos, compreender sobre os aspectos históricos, filosóficos e sociais que envolvem a prática científica. Ou seja, entender os processos de construção da ciência, e não somente seus produtos.

Para tal, consideramos que os professores e estudantes precisam discutir e refletir sobre 'HFSC', problematizando os processos de desenvolvimento do conhecimento científico, ou seja, evidenciando a 'NdC'.

Neste trabalho foram estudadas diversas propostas de ensino e educação sobre radioatividade, pois argumentamos que atividades envolvendo 'HFSC' podem possibilitar o entendimento da 'NdC' em sala de aula. Para responder à nossa questão de pesquisa, buscamos:

- a) Caracterizar as discussões teóricas acerca da 'HFSC' e 'NdC' sobre a gênese da radioatividade;
- b) Mapear as TD sobre radioatividade no ensino e educação presentes no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES;
- c) Entender como os aspectos da radioatividade estão sendo abordadas nestas TD;
- d) Analisar as tendências e abordagens da 'NdC' nas pesquisas sobre radioatividade; e
- e) Discutir a relevância da 'NdC' e da radioatividade para a Educação em Ciências.

Para caracterizar as discussões teóricas, no capítulo 2 discutimos sobre a gênese dos conhecimentos sobre radioatividade e nos capítulos 3 e 4 dissertamos sobre a importância da inclusão da 'HFSC' e de aspectos da 'NdC' no Ensino e

Educação em Ciências para um entendimento mais elaborado dos conteúdos específicos e do processo de construção desses conhecimentos.

Apesar de não existir uma fórmula infalível para apresentar os conteúdos de radioatividade, existem visões simplistas e empírico-indutivista que devem ser evitadas na educação de radioatividade e que vão ao encontro das visões deformadas de Gil-Pérez et. al. (2001), que são consideradas pouco elaboradas e não condizem com a história dos estudos sobre radioatividade.

O segundo objetivo específico começou a ser desenvolvido a partir do capítulo 5, em que dissertamos sobre a metodologia da pesquisa, o que é uma pesquisa do tipo 'estado do conhecimento', da constituição dos dados e da análise dos mesmos. Os dados foram constituídos a partir do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, em que foram selecionadas 40 TD brasileiras sobre radioatividade no Ensino e Educação em Ciências.

Para entender como a radioatividade está sendo abordada nessas TD, os dados foram analisados a partir de DG e DE. Identificamos que a produção sobre a radioatividade é recente (a primeira dissertação foi defendida em 2003) e concentra-se na região sul. Isso provavelmente deve-se ao principal historiador, Roberto de Andrade Martins, que atuou como professor na Universidade Estadual de Londrina (UEL) e na UFPR, autor do livro *A descoberta da radioatividade: uma análise crítica*.

A maior parte das TD versam sobre 'CTS', 'HFC', 'ensino aprendizagem' e estratégias didáticas para ensinar sobre radioatividade no ensino médio. O que são resultados positivos, pois existem propostas didáticas para serem utilizadas pelos professores. Entretanto identificamos uma porcentagem baixa (23%) de pesquisas que desenvolvem cursos de formação de professores a partir da radioatividade, o que é essencial para instrumentalizar o professor a desenvolver a temática.

No capítulo 7, começamos a atingir o objetivo específico quatro. Identificamos que os aspectos (13) Ciência influenciada por fatores externos, (10) Caráter histórico e dinâmico da ciência e (14) Ciência como atividade coletiva, assim como nos trabalhos de Silva, Aires (2014) e Barbosa (2016), foram os aspectos da 'NdC' mais frequentes nos trabalhos sobre radioatividade.

Dessa forma, o professor que pretende desenvolver alguma atividade que envolva radioatividade e NdC pode selecionar seu material pensando nas visões de enfrentamento, consideradas mais adequadas para a Educação (SILVA; AIRES, 2014). Alguns exemplos foram: (1) Questões sociocientíficas que envolvem o uso da



energia nuclear e a viabilidade socioambiental; (2) O entendimento da natureza das radiações em diferentes contextos histórico-culturais; (3) A compreensão da ciência como uma atividade humana, pública, coletiva e cooperativa, tanto filosófica quanto histórica; (4) As práticas experimentais de Röntgen, Becquerel e Marie Curie e os pressupostos que fundamentam as pesquisas; (5) As diferenças entre leis, teorias e o status de um estilo de pensamento possivelmente paradigmático (FLECK, 1935; KUHN, 1962); (6) Como diferentes áreas do conhecimento colaboraram para o entendimento das propriedades radioativas; e (7) Mesmo cientistas usando métodos diferentes, Becquerel com o método fotográfico e Marie Curie com o elétrico, receberam a mesma premiação Nobel.

Foi possível perceber que D32 e D33 apresentavam explicitamente visões pouco elaboradas sobre ciência, isso ocorre, pois certos autores insistem em apresentar a história da radioatividade como um *insight* de Becquerel, isso não era esperado, pois pesquisadores em nível de mestrado e doutorado já refletem e discutem nas aulas da pós-graduação sobre epistemologia e 'NdC'. Também foi possível encontrar falas ou escritas empírico-indutivista nos trabalhos D2, D7, D11, D18, D20, D29, D30 e D32.

Existem poucas pesquisas (6 dissertações) que tinham como objetivo investigar se aspectos da 'NdC' são evidenciadas e/ou discutidas. Sendo uma pesquisa teórica (D3), um curso de formação de professores (D8) e quatro sequências didáticas (D10, D20, D22 e D36). Além disso, nem todos os aspectos dos mencionados nos Capítulos 4 e 7 são desenvolvidos e problematizados.

De fato, sequências didáticas e cursos de formação de professores devem ser desenvolvidos na Educação de radioatividade e em Ciências. O desafio atualmente é desenvolver discussões HFSC, NdC e CTS constantemente, para tal, é preciso instrumentalizar os professores para trabalhar com estas abordagens.

Existe uma quantidade grande de fatores que interferem na prática docente. Entretanto a desinformação, as instabilidades e preconceitos não devem ter espaço na educação, e sim focar os pressupostos CTS, HFSC, NdC e ACT ensinando as temáticas e os conteúdos como eles realmente são.

## 8.1 REFLEXÕES DA ATIVIDADE DE PESQUISA

A Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática (PPGECM) foi um processo de constante reflexão e aprendizado. Para realizar esta pesquisa, foi necessário um forte envolvimento com os textos e as aulas para compreender o que realmente é 'HFSC' e o que são os aspectos da 'NdC', para então estar preparado para começar a interpretar melhor as leituras.

Diversos autores argumentam que as concepções do pesquisador sobre ciência e o que é o trabalho científico mudam com o tempo. Articuladamente a compreensão do pesquisador sobre a investigação dialética e fenomenológica envolve humildade, uma atitude crítica e transformadora de amadurecimento (MORAES; GALIAZZI, 2007; FREIRE, 1987). Pensando nisso, o pesquisador teórico não deve ficar desmotivado por não entender algum aspecto do seu estudo, mas reconhecer suas limitações e buscar conhecimento.

Durante o processo de elaboração do 'corpus' da pesquisa, a dificuldade foi em observar que algumas pesquisas usavam perspectivas que eu nunca estudei no PIBID, nem na graduação quanto na pós-graduação, foram elas: Aprendizagem significativa e análise documental. Sendo necessário maior dedicação à estudo e teorização. Também tive dificuldades em encontrar algumas TD, nem todas estavam disponíveis no catálogo, apenas estavam mencionadas na página. Assim, foi necessário visitar a página dos programas, o que exigiu mais tempo.

Sobre entender o estado do conhecimento, o principal desafio foi de constituir as categorias e seguir um padrão didático e dentro da realidade do que vem sendo desenvolvido. Uma limitação que pode ser considerada deste trabalho está no 'corpus' da pesquisa, além das TD, um estudo posterior pode analisar também trabalhos de eventos e artigos científicos. Entretanto como geralmente estes trabalhos são provenientes de TD, este recorte é uma contribuição necessária, principalmente para os professores, que pretendem trabalhar com os temas.

Ainda em relação ao 'corpus' da pesquisa, é necessário contemplar os trabalhos sobre Radioatividade na Educação em Ciências defendidos em 2019 e 2020. Tal atividade deve ser realizada após as publicações das teses e dissertações pelo PPG correspondente da instituição.

O professor ou pesquisador da área da Matemática pode ter dificuldade em fundamentar seu trabalho a partir desta dissertação. Foi verificado que os trabalhos que envolvem Matemática e radioatividade não desenvolveram sequências didáticas sobre o tema, entretanto a discussão sobre tempo de meia-vida, decaimento

radioativo e velocidade de desintegração são relações essencialmente matemáticas. Portanto para fundamentar essas questões, projetos interdisciplinares precisam ainda ser desenvolvidos.

Outra limitação considerada se diz respeito ao conteúdo das pesquisas. Por exemplo, não foi possível entender perfeitamente o que Cortez (2014) trabalhou na terceira etapa em D18, pois o filme sobre a vida de Marie Curie no endereço eletrônico: <http://www.youtube.com/watch?v=P9MxLAvzEAg> não está disponível.

Já em D19, D' Andrea (2014) considera que a utilização de módulos termoeletrônicos apresenta materiais mais disponíveis e de fácil aquisição em relação à câmara de Wilson. Entretanto os professores podem ter dificuldade de encontrar 2 módulos termoeletrônicos, 1 radiador de calor, 2 ventiladores de 12V, 1 fonte de alimentação para computador, recipientes de acrílico, álcool isopropílico, feltro e pasta térmica nos colégios.

Outra limitação de alguns trabalhos, é que diferentemente de Cruz (2015), nem todos os professores possuem oportunidade de desenvolver suas pesquisas com 10 turmas de ensino médio. Então o contexto histórico e social influencia diretamente na prática docente, principalmente neste momento em que discutimos de que forma e maneira que nosso trabalho pode ser desenvolvido nas escolas.

A atividade de pesquisar sobre se e como o fenômeno da NdC está presente nas TD sobre radioatividade na Educação em Ciências envolveu o estudo dos componentes históricos, filosóficos e sociais e suas relações. Portanto quando discutimos sobre o contexto histórico que levou as cidades à utilização de energia nuclear, os momentos de novos entendimentos sobre as propriedades das radiações, como esses conhecimentos científicos envolvem relações humanas e sociais e outros exemplos, na realidade foi desenvolvida a 'HFSC' evidenciando aspectos da 'NdC'.

## REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 7, p. 665-701, 2000.

AIKENHEAD, G. S. Using qualitative data in formative evaluation. **The Alberts Journal of Educational Research** 25: 117-29, 1979.

ALVES, A. J. A “revisão da bibliografia” em teses e dissertações: meus tipos inesquecíveis. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 81, p. 53-61, maio 1992.

ALVES, A. J. O planejamento de pesquisas qualitativas em educação. **Cad. Pesq.** São Paulo (77): 53-61, maio 1991.

APP-SINDICATO. **Dia 29 de abril de 2015 não será esquecido, ações da APP seguem na Justiça do Paraná.** Disponível em: <<https://appsindicato.org.br/dia-29-de-abril-de-2015-nao-sera-esquecido-acoes-da-app-seguem-na-justica-do-parana/>>. Paraná – Curitiba, 2017. Acesso em: 15 nov. 2020.

AZEVEDO, N. H.; SCARPA, D. L. Revisão Sistemática de Trabalhos sobre Concepções de Natureza da Ciência no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. RBPEC 17(2), 579-619. Agosto, 2017

BACHELARD, G. 1938. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento.** Gaston Bachelard; tradução Esteia dos Santos Abreu - Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACON, F. **Novum Organum.** New York: Washington Square Press, (1620) 1963.

BARBOSA, F. T. **O estado do conhecimento das pesquisas sobre História e Filosofia da Ciência em periódicos da área de ensino de ciências: Um olhar para a educação em química.** Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática) Universidade Federal do Paraná, 2016.

BASTOS, R. O. **Radioatividade de rochas provenientes das formações geológicas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi.** Tese (Doutorado em Física). Universidade Estadual de Londrina, 2008.

BECQUEREL, E. Recherches sur divers effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur les corps. *Annales de Chimie et de Physique* [3] **55**: 5-119, 1859.

BECQUEREL, H. **El descubrimiento de la radioactividad.** Buenos Ayres: Espasa-Calpe, 1946.

BECQUEREL, H. Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **122**: 689-94, 1896.

BICUDO, M. A. V. A pesquisa qualitativa fenomenológica: interrogação, descrição e modalidades de análise. In: Maria Aparecida Viggiani Bicudo. (Org.). Pesquisa qualitativa segundo a visão fenomenológica. 1ª ed. São Paulo: Editora Cortez, 2011, p. 41-74.

BRANSFORD, J., BROWN, A., COCKING, R. *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School.* Washington, DC: National Academy Press, 1999.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio). Brasília: **Ministério da Educação**, Secretaria de Educação Básica, 2000.

BOCH, L. B. **ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR COM ENFOQUE CTS POR MEIO DA EXPERIMENTAÇÃO**. 91 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências Naturais e Matemática). Universidade Est. do Centro-Oeste, Guarapuava, 2018.

CAMPOS, C. CACHAPUZ, A. Imagens de ciência em manuais de química portugueses. **Química nova na escola**. N° 6, novembro, p.23-29, 1997.

CARVALHO, E. M.; GAMBOA, S. S. O estado da arte da produção do conhecimento sobre as ações afirmativas nas universidades estaduais paulistas. **Revista Pedagógica**, Chapecó, v. 16, n. 32, jan./jul. 2014.

CHALMERS, A. F. 1939. **O que é Ciência afinal?** Tradução Raul Fiker: 1ed. – São Paulo: Brasiliense, 1993.

CONANT, J. B. (Ed.). *Harvard Case Histories in Experimental Science*. Cambridge: Harvard University Press, 1957.

CONDÉ, M. L. L. Mutações no Estilo de Pensamento: Ludwik Fleck e o Modelo Biológico na Historiografia da Ciência. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**, Brasília, v. 6, n.1, p. 155-186. Jul. 2018.

CONDÉ, M. L. L. (Org.) **Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência**. Minas Gerais, Belo Horizonte: Fino Traço, 2012.

CONDÉ, M. L. L. Paradigma versus Estilo de Pensamento na História da Ciência. 9º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. Rio de Janeiro, 2003.

Conferência Nobel de Pierre Curie, 1905. Disponível em: Pierre Curie – Nobel Lecture. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Fri. 2 Aug 2019. <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/pierre-curie/lecture/>>.

CUNNINGHAM, C. M., & HELMS, J. V. Sociology of Science as a Means to a More Authentic, Inclusive Science Education. **Journal of Research in Science Teaching**, 35(5), 483–499, 1998.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). Diretoria de Avaliação. **Relatório de avaliação 2013-2016 quadrienal 2017**. Brasília, 2017.

CORDEIRO, M. D. **DOS CURIES A RUTHERFORD: ASPECTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS DA RADIOATIVIDADE NA FORMAÇÃO CIENTÍFICA**. 226 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Fed. de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

COUTEUR, P. L.; BURRESON, J. Os botões de Napoleão: As 17 moléculas que mudaram a história. Editora: **ZAHAR**. Trad. Maria Luiza X de A. Borges, 1991.

CROSS, D.; THOMSON, S.; SINCLAIR, A. **Research in Brazil: a report for CAPES** by Clarivate Analytics. Clarivate Analytics, 2017.

CURIE, E. **Madame Curie**. Paris, Gallimard, 1939.

CURIE, M. S. Les rayons de Becquerel's et le polonium. **Révue Générale des Sciences** 10: 41-50, 1899.

CURIE, M. S. On Becquerel's rays and polonium. **Chemical News** 79: 77-8, 1899.

CURIE, M. S. Le polonium et le radium: leur découverte par les rayons de Becquerel et les nouvelles substances radio-actives. *Revue Générale de Chimie Pure et Appliquée* 1899.

CURIE, M. S. Sur le poids atomique du metal dans le chlorure de baryum radifère. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* 129: 760-2, 1899.

CURIE, P. Radioactive substances, especially radium. **Nobel Lecture**, June 6, 1905.

DELIZOICOV, D. Editorial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), 182–183, 1996.

DURKEE, P. An analysis of the appropriateness and utilization of TOUS with special reference to high-ability students studying physics. **Science Education**, 58 (3), 343-356, 1974.

FARÍAS, D. M; MOLINA, M. F; CASTELLÓ, J. Análisis Del Enfoque De Historia Y Filosofía De La Ciencia Em Libros De Texto De Química: E Caso De La Estructura Atómica. **Enseñanza de las Ciencias**. Vol. 31, n. 01, p. 115-133, 2013.

FEHR, J. 2012. In: CONDÉ, M. L. L. (Org.) **Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência**. Minas Gerais, Belo Horizonte: Fino Traço, 2012.

FERREIRA, N. S. A. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Educação & Sociedade**, Campinas, ano XXIII, nº 79, p. 257-271, ago. 2002.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

FILHO, J. C. S.; GAMBOA, S. S. **Pesquisa Educacional: quantidade-qualidade**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

FLECK, L. 1935. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FLECK, L. **Genesis and Development of a Scientific Fact**, Edited by Thaddeus J. Trenn & Robert K. Merton, Translated by Fred Bradley & Thaddeus J. Trenn, Chicago: University of Chicago Press, 1979.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R de A. Historiografia e natureza da Ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

FRANCISCO, F. C.; MAYMONE, W. CARVALHO, A. C. P. FRANCISCO, V. F. M.; FRANCISCO, M. C. Radiologia: 110 anos de história. **Rev Imagem**. 27 (4): 281-286, 2005.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GIL-PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **ENSEÑANZA DE LAS CIÊNCIAS**, 11 (2), 1993.

GIL-PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GIL-PÉREZ, D. G.; VILCHES, A. Inmersión en la cultura científica para la toma de decisiones ¿necesidad o mito? **Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias**, 2(3), 302–329, 2005.

GIORGI, A. *Dusquene studies phenomenological Psychology*: Dusquene University Press, v. III, 1979.

GOMES, I. C. P. **A MEDIAÇÃO SEMIÓTICA DE INSTRUMENTOS CULTURAIS NA APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**. Undefined f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) Universidade Fed. de Goiás, Goiânia, 2013.

GRÜNE-YANOFF, T. Teaching philosophy of science to scientists: why, what and how. **European Journal for Philosophy of Science**, 4(1), 115–134, 2014.

HAHN, H.; NEURATH, O.; CARNAP, R. A CONCEPÇÃO CIENTÍFICA DO MUNDO – O CÍRCULO DE VIENA. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, pp. 5-20, 1986.

HODSON, D. Philosophy of Science, Science and Science Education. **Studies in Science Education**, 12(1), 25–57, 1985.

IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of Science for Science education. **Science & Education**, Dordrecht, v. 20, p. 591-607, 2011.

KANT, I. **Crítica da Razão Pura**. Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

KLOPFER, L. E. (1964). The Use of Case Histories in Science Teaching. **School Science and Mathematics**, 64(8), 660–666.

KRUMMENAUER, W. L.; COSTA, S. S. C.; SILVEIRA, F. L. Uma experiência de ensino de Física contextualizada para a educação de jovens e adultos. **Rev. Ensaio**, Belo Horizonte, v. 12, n. 02, p. 69-82, mai-ago, 2010.

KRUPCZAK, C; AIRES, J. A. Natureza da ciência: o que os pesquisadores brasileiros discutem? **Amazônia** – Revista de Educação em Ciências e Matemática, v.14 (32), Jul-Dez, p.19-32. 2018.

KUHN, T.S. 1962. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Perspectiva, 1978.

LAKATOS, I. **O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica**. In: LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A. (org) A crítica e o desenvolvimento do conhecimento. São Paulo: Cultrix, 1979.

LARMOR, J. (ed). Memoir and scientific correspondence of the late Sir George Gabriel Stokes. 2 vols. Cambridge University Press, 1907.

LATOURETTE, B. A. **Esperança de Pandora: ensaio sobre a realidade dos estudos científicos**. São Paulo: UNESP, 2017

LATOURETTE, B. A. **CIÊNCIA EM AÇÃO**. Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: Editora UNESP, 2012.

LEA, M. C. Röntgen rays not presente in sunlight. **American Journal of Science** [4] 1: 363-4, 1896.

LEA, M. C. Röntgen rays not presente in sunlight. **Philosophical Magazine** [5] 41: 528-30, 1896.

LEAL, H. M. **Paul Feyerabend e Contra o Método: Quarenta Anos do Início de uma Provocação**. Editora UNISINUS, 2016.

LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, Champaign, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LEDERMAN, N. G.; ANTINK, A.; BARTOS, S. Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry. **Science & Education**, Parañaque, v. 23, n. 2, p. 285-302, 2014.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of a research. **Journal of Research in Science Teaching**. Champaign, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

LEDERMAN, N. G. Syntax of Nature of Science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of*



Science - Implications for Teaching, Learning and Teacher Education (pp. 301–318). Dordrecht: Springer, 2006.

LEIDEN RANKING. **Ranking digital**: ranking internacional anotado. Disponível em: <<https://www.leidenranking.com/ranking/2020/list>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

LOMMEL, E. C. J. Ueber Fluorescence. *Annalen der Physik und Chemie* **143**: 26-51, 1871.

LOMMEL, E. C. J. Sur la fluorescence negative. *Annales de Chimie et de physique* [4] **26**: 283-5, 1872.

LYNCH, A. C. Silvanus Thompson: teacher, researcher, historian. **IEE Proceedings**, vol. 136, A (6), p. 306–312, 1989.

MACHAMER, P. Philosophy of Science: An overview for educators. **Science & Education**, 7(1), 1–11, 1998.

MARTINS, R. A. A Descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v 20, n 4, p. 373-391, 1998.

MARTINS, R. A. As primeiras Investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência** [série 2] 1 (1): 29-41, 2003.

MARTINS, R. A. **Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica**. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

MARTINS, R. A. Ciências versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M; BELTRAN, M. H. R. (eds). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: EDUC / Livraria da Física / FAPESP, 2005, p. 115 – 145.

MARTINS, R. A. Hipóteses e interpretação experimental: A conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 501-516, 2004.

MARTINS, R. A. Investigando o invisível: As pesquisas sobre raios X logo após a sua descoberta por Röntgen. **Revista da SBHC**, n. 17, p. 81-102, 1997.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em 'temas' e 'questões'. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, dez. 2015.

MARTINS, R. A. O que é Ciência, do ponto de vista da epistemologia? **Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa**, n. 9, p. 5-20, 1999.

MARTINS, R. A. Sobre o papel da História da Ciência no ensino. **Boletim Da Sociedade Brasileira de História Da Ciência**, (9), 3–5, 1990.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MATTHEWS, M. R. *Science teaching: The role of History and Philosophy of Science*. New York-London: Routledge, 1994.

MCCOMAS, W. F., CLOUGH, M. P., & ALMAZROA, H. The Nature of Science in Science Education: An Introduction. **Science & Education**, 7, 511–532, 1998.

MCCOMAS, W. F. Nature of Science in the Science Curriculum and in Teacher Education Programs in the United States. In: M. R. Matthews (Ed.), **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer. p. 1993– 2023, 2014.

MONTEIRO, F. A. **Discutindo a Ciência através de episódios históricos: o caso dos raios-X e da radioatividade**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise Textual Discursiva**. 2. ed. Ijuí: Unijuí, 2007.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan/jun 2014.

MOURA, M. **Universidades públicas realizam mais de 95% da ciência no Brasil**. Disponível em: <<https://www.unifesp.br/noticias-antiores/item/3799-universidades-publicas-realizam-mais-de-95-da-ciencia-no-brasil>>. São Paulo, 2019. Acesso em: 20 ago. 2020.

MOURA, M. **Universidades públicas respondem por mais de 95% da produção científica do Brasil**. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/2019/04/15/universidades-publicas-respondem-por-mais-de-95-da-producao-cientifica-do-brasil/>>. Rio de Janeiro, 2019. Acesso em: 20 ago. 2020.

NARDI, R. A pesquisa em ensino de ciências e matemática no Brasil. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 2, p. I-V, abr./ jun. 2015.

NARDI, R. **A área de Ensino de Ciências no Brasil: Fatores que determinaram sua construção e suas características segundo pesquisadores brasileiros**. 170 f. Tese (Título de Professor Livre Docente de Educação da Faculdade de Ciências) – Setor de Educação, Faculdade de Ciências da Unesp, BAURU, 2005).

NETO, J. M. **Tendência da pesquisa acadêmica sobre o ensino de Ciências no nível fundamental**. 1999. 365 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

Nobel Lectures, Physics 1901-1921, **Elsevier Publishing Company**, Amsterdam, 1967. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/roentgen/biographical/>>. Acesso em 18 nov. 2019.

NOBEL PRIZE, 2020. **Marie Curie died of aplastic anaemia on 4 July 1934, a result of years of exposure to radiation through her work. Even today her laboratory notebook from 1899-1902, is radioactive and will be for 1,500 years.** Disponível em: <<https://www.facebook.com/nobelprize/photos/a.164901829102/10157817211984103>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

POINCARÉ, H. Las rayons cathodiques et les rayons Roentgen. **Revue Scientifique**. Paris, v. 4, n. 7, p. 52-59, 1896.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações: o desenvolvimento do conhecimento científico**. Coimbra: Almedina, 2006.

POPPER, K. R. **CONJECTURES AND REFUTATIONS: The Growth of Scientific Knowledge**. Basic Books, publishers NEW YORK LONDON, 1962.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. Problema, teoria e observação em Ciência: Para uma reorientação epistemológica da Educação em Ciência. **Ciência & Educação**, v. 8, nº 1, p. 127-145, 2002.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da Ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

REIS, P. Ciência e Controvérsia. **Revista de Estudos Universitários**, Sorocaba, v. 32, p. 9-15, 2009.

REIS, P.; GALVÃO, C. Teaching controversial socio-scientific issues in biology and geology classes: a case study. **Electronic Journal of Science Education**, Fort Worth, v. 13, n. 1, p. 1-24, 2009.

ROCHA, J. A. **A COMPREENSÃO DA NATUREZA DA CIÊNCIA A PARTIR DO ESTUDO DE RADIOATIVIDADE: contribuições de uma sequência de ensino-aprendizagem**. 319 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Fundação Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo “estado da arte” em educação. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 6, n. 19, p. 37-50, set./dez. 2006.

ROMER, A. Accident and professor Röntgen. **American Journal of Physics**. 27, 275, 1959.

ROZENTALSKI, E. F. **Indo além da Natureza da Ciência: o filosofar sobre a Química por meio da ética química**. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Instituto de Física da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

ROZENTALSKI, E. F. **O estatuto ontológico e epistemológico do conceito de orbital em livros didáticos de Química Geral no século XX: uma análise de seus fundamentos, suas representações e implicações para a aprendizagem**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), Instituto de Física, biociências e faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

RUTHERFORD, E. Uranium radiation and the electrical conduction produced by it. London, Edinburg and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science [5] **47**: 109-63, 1899.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The radioactivity of thorium compounds. I. An investigation of the radioactive emanation. II. The cause and nature of radioactivity. Journal of the Chemical Society, Transactions **81**: 321-50, 837-60, 1902.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of radioactivity. Philosophical Magazine (series 6) **4**: 370-96, 569-85, 1902.

SAITO, F. História da Ciência e Ensino : em busca de diálogo entre historiadores e educadores. **História Da Ciência E Ensino: Construindo Interfaces**, 1, 1–6, 2010.

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. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 110-132, dez. 2000.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química. Compromisso com a cidadania**. Rio Grande do Sul: Unijuí, 3<sup>a</sup> ed, 2003.

SCHÄFER, Lothar & SCHNELLE, Thomas. Fundamentação da perspectiva sociológica de Ludwik Fleck na teoria da ciência. In: FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

SCHMIDT, G. C. Ueber die von der Thorverbindungen und einigen anderen Substanzen ausgehende Strahlung. Annalen der Physik und Chemie [2] **65**: 141-51, 1898; reproduzido em Verhandlungen der physikalische Gesellschaft nach Berlin, **17**: 14-16, 1898.

SILVA, E. C. C.; AIRES, J. A. Análise das visões sobre a natureza da ciência em produções científicas que se reportam a livros didáticos. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 9, n. 2, p.141-160, 2014.

SILVA R. M. **A radioatividade ambiental na formação inicial de professores de Química na perspectiva da aprendizagem significativa**. 2017. 142 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências), Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2017.

SOARES, M. B.; MACIEL, F. P. **Alfabetização**. Brasília-DF: MEC/INEP/Comped, 2000.

SOUZA, K. R.; KERBAUY, M. T. M. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. **Educação e Filosofia**, Uberlândia, v. 31, n. 61, p. 21-44, jan./ abr. 2017.

STOKES, P. 2002. **Os 100 pensadores essenciais da filosofia**: Dos pré-socráticos aos novos cientistas. Tradução Denise Cabral de Oliveira. 3ª ed. – Rio de Janeiro: DIFEL, 2013.

TAMIR, P. Understanding the process of science by students exposed to different science curricula in Israel. **Journal of Research in Science Teaching**, 9 (3), 239-245, 1972.

THOMPSON, J. S.; THOMPSON, H. G. **Silvanus Phillips Thompson: His Life and Letters**. London: T. Fisher Unwin, Ltd., 1920.

THOMPSON, S, P. On hyperphosphorescence. The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science [série 5] **42**: 103-7, 1896.

THOMSON, J. J. Longitudinal electric waves and Röntgen's X rays. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 9: 49-61, 1896.

TREMBLAY, M. A. Initiation a la recherche dans les sciences humaines. Montreal: McGraw-Hill, 1968.

VÁZQUEZ-ALONSO, Á., MANASSERO-MAS, M. A., ACEVEDO-DÍAZ, J. A., & ACEVEDO-ROMERO, P. Consensos sobre la naturaleza de la Ciencia : la comunidad tecnocientífica. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias**, 6(2), 331–363, 2007.

VIDAL, P. H. O; PORTO, P. A. A História da Ciência nos Livros Didáticos de Química do PNLEM 2007. **Ciência & Educação**. Vol. 18, n. 2, p. 291-308, 2012.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. Tese (Doutorado em Ensino). Universidade de São Paulo, São Paulo: FEUSP, 1990.

### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AIKENHEAD, G. S., RYAN, A. G. The Development of a New Instrument: “Views on Science-Technology-Society” (VOSTS). **Science Education**, 76(5), 477–491, 1992.

AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. S. **STS education**: international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, 1994, p.47-59.

CURIE, M. S. Radium and the new concepts in chemistry. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

FREIRE, P. **Educação como prática de Liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1967.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996 (Coleção Leitura).

HURD, P. Scientific literacy: its meaning for American schools. **Educational Leadership**, Alexandria, v. 16, p. 13-16, out. 1958.

KELVIN, L.; BEATTIE, J. C. & DE SMOLAN, M. S. Experiments on the electrical phenomena produced in gases by Rontgen rays, by ultraviolet light, and by uranium. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 21**: 393-428, 1879.

KELVIN, L.; BEATTIE, J. C. & DE SMOLAN, M. S. On electric equilibrium between uranium and an insulated metal in its neighbourhood. *Philosophical Magazine*, [série 5], v. 45, p. 277-9; v. 46, p. 82, 1897. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 22**: 131-4, 1898; *Nature*, **55**: 447-8, 1897.

KRUPCZAK, C. **NATUREZA DA CIÊNCIA NAS PESQUISAS SOBRE CONTROVÉRSIAS SOCIOCIENTÍFICAS: O ESTADO DO CONHECIMENTO NO CONTEXTO BRASILEIRO**. 171 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

POUPART, J. DESLAURIERS, J. GROULX, L. LAPERRIÈRE, A. MAYER, R. PIRES, ÁLVARO. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. Tradução de Ana Cristina Nasser – Petrópolis, RJ: Vozes, 2008 – (Coleção Sociologia).

SANTOS, R. A.; AULER, D. Práticas educativas CTS: busca de uma participação social além da avaliação de impactos da Ciência-Tecnologia na Sociedade. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 25, n. 2, p. 485-503, 2019.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: A proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, São Paulo v. 13(3), pp. 333-352, 2008.

SOARES, M. B. **Alfabetização no Brasil: o estado do conhecimento**. Brasília: INEP/Santiago: REDUC, 1991.

SOUSA, P. S. **Argumentação centrada em questões sociocientíficas e educação problematizadora: possibilidades para o ensino de ciências**. 148 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2015.

Van Eck, Nees Jan. (2019). CWTS Leiden Ranking 2019 [Data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3339177>.