

PESQUISAS EM ENSINO DE FÍSICA: MÚLTIPLOS OLHARES



Marcos Antonio Barros
Jenner Barretto Bastos Filho
Alexandre Campos
(*Organizadores*)



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Prof^ª. Célia Regina Diniz (Reitora)

Prof^ª. Ivonildes da Silva Fonseca (Vice-Reitora)



EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Cidoval Morais de Sousa (Diretor)

CONSELHO EDITORIAL

Alessandra Ximenes da Silva (UEPB)

Alberto Soares de Melo (UEPB)

Antonio Roberto Faustino da Costa (UEPB)

José Etham de Lucena Barbosa (UEPB)

José Luciano Albino Barbosa (UEPB)

Melânia Nóbrega Pereira de Farias (UEPB)

Patrícia Cristina de Aragão (UEPB)

EXPEDIENTE EDUEPB

Erick Ferreira Cabral (Design Gráfico e Editoração)

Jefferson Ricardo Lima A. Nunes (Design Gráfico e Editoração)

Leonardo Ramos Araujo (Design Gráfico e Editoração)

Elizete Amaral de Medeiros (Revisão Linguística)

Antonio de Brito Freire (Revisão Linguística)

Danielle Correia Gomes (Divulgação)

Efigênio Moura (Comunicação)

Carlos Alberto de Araujo Nacre (Assessoria Técnica)

Thaise Cabral Arruda (Assessoria Técnica)

Walter Vasconcelos (Assessoria Técnica)



EDITORA INDEXADA NO SCIELO DESDE 2012



EDITORA FILIADA A ABEU

EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB - CEP 58429-500

Fone: (83) 3315-3381 - <http://eduepb.uepb.edu.br> - email: eduepb@uepb.edu.br

Marcos Antonio Barros
Jenner Barretto Bastos Filho
Alexandre Campos
(Organizadores)

Pesquisas em Ensino de Física:
Múltiplos olhares

Volume 6



Campina Grande-PB
2024



COLEÇÃO CAROÁ

Editores

José Joelson Pimentel de Almeida | Francisco Ferreira Dantas Filho | John Andrew Fossa

Conselho Científico

Ana Luiza de Quadros	<i>Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil</i>
Agustín Adúriz-Bravo	<i>Universidad de Buenos Aires, Argentina</i>
Celi Espasandin Lopes	<i>Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil</i>
Cidival Morais de Sousa	<i>Universidade Estadual da Paraíba, Brasil</i>
Eduardo Fleury Mortimer	<i>Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil</i>
Filomena Maria Gonçalves Silva C. Moita	<i>Universidade Estadual da Paraíba, Brasil</i>
Gerson de Souza Mól	<i>Universidade de Brasília, Brasil</i>
Isauro Beltrán Nuñez	<i>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil</i>
Jeremy Kilpatrick	<i>University of Georgia, USA</i>
John Andrew Fossa	<i>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil</i>
Marcelo de Carvalho Borba	<i>Universidade Estadual Paulista, Brasil</i>
Martha Marandino	<i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>
Pedro José Oliveira de Andrade	<i>Universidade do Minho, Portugal</i>
Roberto de Andrade Martins	<i>Universidade Estadual de Campinas, Brasil</i>
Sandra Meza Fernández	<i>Universidad de Chile, Chile</i>
Sani de Carvalho Rutz da Silva	<i>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil</i>
Selma Garrido Pimenta	<i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>
Vinício de Macedo Santos	<i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>
Wilson José Alves Pedro	<i>Universidade Federal de São Carlos, Brasil</i>

Depósito legal na Câmara Brasileira do Livro - CDL

P474 Pesquisas em Ensino de Física [recurso eletrônico] : múltiplos olhares / organização de Marcos Antonio Barros, Jenner Barreto Bastos e Alexandre Campos ; prefácio de José Joelson Pimentel de Almeida. – Campina Grande : EDUEPB, 2024.

310 p. : il. color. ; 15 x 21 cm. – (Coleção Caroá ; v. 6)

ISBN: 978-65-87171-64-7 (Impresso)

ISBN: 978-65-87171-63-0 (2.800 KB - PDF)

ISBN: 978-65-87171-62-3 (1.000 KB - Epub)

1. Ensino de Física. 2. Sociologia da Ciência. 3. Filosofia da Ciência. 4. Formação de Professores. 5. Educação em Ciências. I. Barros, Marcos Antonio. II. Bastos, Jenner Barreto. III. Campos, Alexandre. IV. Título.

21. ed. CDD 530.07

Ficha catalográfica elaborada por Bruno Rafael Freitas de Lima - CRB - 15/1021

Copyright © EDUEPB

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

Sobre a Coleção

Caroá, uma coleção de livros do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual da Paraíba (PPGECM-UEPB), tem por objetivo publicar e divulgar resultados de pesquisas do próprio PPGECM e de outros programas de pós-graduação com linhas de pesquisas semelhantes, tanto do Brasil quanto de outros países.

Caroá é uma planta originária da região caririzeira, típica da Caatinga brasileira, simboliza a resistência da natureza contra a seca. Foi com base em algumas características desta planta que surgiu a proposta de batizar a coleção de livros do PPGECM-UEPB com este nome.

Sumário

PREFÁCIO	11
-----------------------	-----------

José Joelson Pimentel de Almeida

Parte I

SOBRE ENSINO, HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA

1 “UMA TEORIA EXPERIMENTAL DOS QUANTA DE LUZ” DE LOUIS DE BROGLIE: UMA TRADUÇÃO COMENTADA.....	17
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Alessandro de Almeida Barros

Marcos Antônio Barros

2 CONTROVÉRSIAS E PARADOXOS: CONTRIBUIÇÕES DO DEBATE ENTRE EPR E BOHR PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	47
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Daniel de Pontes Silva

Marcos Antônio Barros Santos

3 LEI DE INÉRCIA COMO DIVISOR DE ÁGUAS NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA OCIDENTAL: UMA POSSÍVEL ARGUMENTAÇÃO.....	73
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Michael Patrick Costa de Lucena

Maria Amélia Monteiro

Jenner Barretto Bastos Filho

4 O LEGADO CIENTÍFICO DE MARIE CURIE: DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA REPRESENTATIVIDADE FEMININA NA CIÊNCIA 89

Rejane Maria da Silva Farias

5 O PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA: SUA CONSTRUÇÃO HISTÓRICA E SUA DIDATIZAÇÃO 119

Anna Julya Santos de Oliveira

Alexandre Campos

6 A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E RELIGIÃO EM LIVROS DIDÁTICOS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA DO PNLD 2021..... 149

Diego Lopes Bezerra

Parte II

SOBRE FORMAÇÃO DE PROFESSORES EM ENSINO DE CIÊNCIA

7 REPRESENTAÇÕES DE PROFESSORES FORMADORES SOBRE OS IMPACTOS DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE QUÍMICA 177

Sara Costa Mendonça

Ubiratan Leal de Oliveira

8 OS SABERES DOCENTES MOBILIZADOS POR PIBIDIANOS, A PARTIR DE UMA OFICINA DE CARATER INVESTIGATIVO 199

Alexandre Campos

Gildevan Oliveira Silva

9 CONEXÃO ENTRE A APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS E SALA DE AULA INVERTIDA: POSSIBILIDADES E LIMITES..... 219

Ana Raquel Pereira de Ataíde

Janaiína Guedes da Silva

10	CONSTRUINDO CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA: O RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO COM OBJETOS DE APRENDIZAGEM.....	255
	<i>Ana Raquel Pereira de Ataíde</i>	
	<i>Marcelo Gomes dos Santos</i>	
11	O ENSINO DA CINEMÁTICA BASEADO NO ENFOQUE CTS: O OLHAR DE PROFESSORES DA EJA.....	275
	<i>Alessandro Frederico da Silveira</i>	
	<i>Eliane Pereira Alves</i>	
	SOBRE OS AUTORES.....	301



PREFÁCIO

José Joelson Pimentel de Almeida

A Coleção Caroá, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECEM), da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), foi pensada como um meio de difusão de pesquisas em nível de pós-graduação *stricto sensu*, de programas do Brasil e do exterior. Seu nome, *Caroá*, vem de uma bromélia espinhosa da região caririzeira paraibana, uma planta que é resistente à seca e a outras intempéries climáticas. Ela apresenta flores exuberantes e suas fibras servem também como matéria-prima para peças artesanais diversas. Foi com essa inspiração que nasceu a Coleção Caroá, como uma forma de mostrar a resistência provinda das ciências, da pesquisa e da educação.

É também assim que nasce este sexto volume, intitulado *Pesquisas em Ensino de Física: Múltiplos Olhares*. Uma obra cuidadosamente planejada por três pesquisadores preocupados com o ensino de Física em suas diversas dimensões, olhando, sobretudo, para a formação de professores, com temas que abordam a

construção e a transformação dos pressupostos teórico-metodológicos das ciências, em especial, da Física.

Como bem arquitetado por seus organizadores, a expressão *múltiplos olhares* se justifica também pela multiplicidade de olhares, provindos de diferentes centros de investigação, principalmente da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), da Universidade Federal de Campina Grande (UFPG) e da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Assim, envolve diferentes programas de pós-graduação e grupos de pesquisa, mais uma vez mostrando como esses pesquisadores atuam de forma integrada em uma rede de conexões.

Esta complexa rede de autores dos capítulos, a partir de suas pesquisas e práticas, envolve professores/pesquisadores; alunos de mestrado e doutorado e professores da educação básica e de universidades. A partir de pesquisas desenvolvidas em programas de pós-graduação da Área de Ensino, a obra em apreço envolve um entrelaçamento entre teoria e prática, como é comum encontrar na Coleção Caroa.

Desta feita, o volume atual está dividido em duas partes. A primeira, que versa *Sobre Ensino, História, Filosofia e Sociologia da Ciência* (HFSC), reúne textos resultantes de pesquisas realizadas no âmbito da graduação e pós-graduação, em diferentes universidades, possibilitando a interface entre diversos saberes e a História da Física, procurando focalizar debates atuais na Educação em Ciências.

Já a segunda parte, *Sobre Formação de Professores em Ensino da Ciência*, apresenta olhares diversos sobre a formação de professores em Ensino das Ciências, em especial da Física. Certamente, o leitor será levado a refletir sobre diversas propostas que incluem a contextualização de conteúdos, a interdisciplinaridade, alfabetização científica, além de outras propostas que manifestam preocupações e apresentam reflexões demandadas por uma escola

aberta à realidade do seu entorno, possibilitando discussões várias e buscando refletir sobre possibilidades metodológicas diversas presentes nos contextos e situações de ensino e aprendizagem de Física.

Notadamente, é preciso esclarecer que o leitor, nas páginas que se seguem, está convidado a estabelecer uma conexão dinâmica, no sentido de que as reflexões dos capítulos apresentados não se encerram em si, ao contrário, permitem o desenvolvimento, aperfeiçoamento, construção de ideias e reflexões sobre os fundamentos e fazeres, por meio de ideias que, conforme o esperado, desencadeiem novas possibilidades e ações em busca de um ensino de Física eficaz e frutífero, fugindo, assim, de fórmulas prontas sem conexões com a realidade.

Este livro foi assim organizado pelos professores Marcos Barros (UEPB), Jenner Bastos (UFAL) e Alexandre Campos (UFCEG), três pesquisadores preocupados em entregar uma obra que contribua com as pesquisas e atividades em sala de aula. Destes, pedimos licença para parabenizar o professor Jenner Bastos, Professor Emérito, reconhecido na área por sua seriedade, compromisso e experiência, com tantas contribuições para o Ensino de Física.

Aos leitores, desejamos uma ótima leitura e inspirações para suas pesquisas e atividades docentes!

Parte I

**SOBRE ENSINO, HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA
DA CIÊNCIA**

1



“UMA TEORIA EXPERIMENTAL DOS QUANTA DE LUZ” DE LOUIS DE BROGLIE: UMA TRADUÇÃO COMENTADA

Alexsandro de Almeida Barros¹
Marcos Antônio Barros²

1 Introdução

A Teoria quântica é indubitavelmente uma das grandes conquistas do pensamento científico do século XX. Poderíamos nos referir a sua essência e contrastes com a física clássica de variadas formas. De maneira simplista, podemos caracterizá-la, por exemplo, em termos de “pacotes” de energia, do papel desempenhado pela probabilidade, da relação entre observador e objeto quântico,

1 Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática – UEPB

2 Possui Graduação em licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (1985), Especialização em Ensino das Ciências (UEPB - 1992), Mestrado em Ensino das Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2006) e Doutorado em História, Filosofia e Ensino de Ciências pela UFBA. Professor do Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba.

em termos da impossibilidade de medir, simultaneamente e sem incertezas, determinadas grandezas, ou, ainda, em termos de uma dualidade onda-partícula³. Esse último aspecto esteve intimamente ligado a debates e interpretações diferentes, ocorridos a partir do início do século XX, dentre os quais podemos destacar, por um lado, os físicos Bohr e Heisenberg e, do lado dos dissidentes, de Broglie, Einstein e Schrödinger. O que Popper (1982) chamou de “o cisma na física” nunca realmente cessou, levando-nos ainda hoje à sensação de desconforto em torno da teoria quântica.

Dentre os principais estudos realizados naquele período, podemos destacar o problema da distribuição de energia no espectro contínuo do corpo-negro; a introdução da ideia de *quanta* de energia na radiação em 1905; o cálculo do calor específico dos sólidos em 1907; o modelo de estados estacionários discretos proposto por Bohr em 1913 e os estudos com os fenômenos de interferência e difração⁴ de raios X entre as décadas de 1890 e 1910.

Os estudos com os raios X e os artigos de Einstein de 1905 e 1909 sobre a “radiação negra”⁵ tiveram particular importância para os primeiros trabalhos do físico francês Louis de Broglie sobre os quanta de luz, publicados entre os anos 1922 e 1924.

3 Ver (BALSAS 2013, p. 15); (PESSOA JR., 2003, p.1).

4 Uma análise detalhada da descoberta dos raios X por Röntgen em 1895, bem como a repercussão de seus trabalhos, pode ser encontrada em Martins (1998) e Martins (1997). Um resumo acerca dos primeiros estudos com raios X é feita na seção 1.7 de Martins e Rosa (2014). Este livro apresenta uma análise detalhada das publicações originais em francês de de Broglie. Apenas duas das comunicações de de Broglie, uma publicada na revista *Nature* (DE BROGLIE, 1923d) e outra na *Philosophical magazine*, foram escritas em inglês.

5 Isto é, a radiação de corpo negro. Esta é uma nomenclatura que às vezes será adotada também por de Broglie, no seu artigo, para se referir a este tipo de radiação.

No primeiro⁶ destes artigos, de Broglie assume uma natureza corpuscular para luz e estuda a radiação negra como sendo um gás formado por quanta, semelhantemente ao que havia feito Einstein em 1905, na explicação sobre o efeito fotoelétrico.

Entretanto, a novidade introduzida por de Broglie consistiu em atribuir aos quanta uma massa finita e tratá-los empregando as equações da relatividade. Utilizando-se dessa abordagem, ele obteve vários resultados compatíveis com a teoria eletromagnética da luz, como também mostrou ser possível obter a lei de Planck da radiação negra sem nenhuma hipótese ondulatória, utilizando apenas mecânica estatística, teoria da relatividade e a hipótese de moléculas de luz - muito embora esse último feito já tivesse sido realizado em 1921 por outro físico. Pouco tempo depois, em seu segundo artigo de 1922⁷, o físico francês mostra que é possível explicar um fenômeno atribuído à interferência de *ondas*, utilizando-se da ideia de moléculas de luz, acima descrita, embora não tenha tentado explicar os fenômenos usuais de interferência nesse trabalho⁸.

Em trabalhos posteriores, a abordagem corpuscular foi substituída por uma combinação entre aspectos ondulatórios e corpusculares, dando início à elaboração de uma teoria dualística para a luz. Em resumo, ele atribui a todo objeto quântico (elétron, próton, quantum de luz, etc.) um tipo de processo periódico interno, defendendo que não existem diferenças entre os quanta de luz e os demais objetos quânticos e que ambos devem ser tratados, utilizando-se as equações da teoria quântica, $E=h\nu$ e de energia da relatividade, $E=mc^2$.

A velocidade destes corpúsculos - acredita de Broglie - corresponde à velocidade de grupo de um conjunto de ondas de fase

6 (DE BROGLIE, 1922a).

7 (DE BROGLIE 1922b).

8 (MARTINS, ROSA, 2014, pp. 135-161).

cujas frequências são ligeiramente próximas entre si. Além disso, segundo ele, todas as partículas podem sofrer o fenômeno de interferência, ao atravessar fendas estreitas e elas não obedecem ao princípio da inércia em regiões, nas quais estão livres de forças externas ⁹.

Os artigos iniciais de de Broglie foram escritos à medida que ele ia desenvolvendo sua tese¹⁰ de doutoramento, defendida ao final de 1925. Todos os pontos de sua teoria, tratados nos artigos, seriam melhorados ou mais bem detalhados nesta tese. Antes da defesa, entretanto, o autor escreveu um resumo das suas ideias em forma de outro artigo (em inglês), em agosto de 1923, que foi publicado em 1924 na revista *Philosophical Magazine*¹¹. Como ressalta Martins e Rosa (2014, p.197), grande parte do conteúdo deste último artigo corresponde aos três apresentados à Academia de Ciências em 1923. Em muitos pontos, o artigo escrito em inglês é mais completo e esclarece pontos obscuros das publicações anteriores em francês.

Como nos ressalta Guido Bacciagaluppi (2013, p.341), na conferência de Solvay, em 1927, a teoria de de Broglie foi amplamente discutida, apresentando quinze páginas dedicadas à teoria da onda piloto, com questões e comentários de Born, Brillouin, Ehrenfest, Lorentz, Kramers, Einstein, Schrödinger e Pauli. Após o seu seminário, vários questionamentos foram realizados e, dentre eles, a famosa questão levantada por Pauli (p.365), levando em consideração o processo de medida quântica, a partir da formulação apresentada em sua teoria. De fato, a questão não foi respondida com todo o detalhe necessário, além de não conseguir, naquele momento, dar uma interpretação física para a sua “onda Piloto”, que era definida no espaço de configurações e não

9 (*ibid.*, p. 175, 192; BROWN, MARTINS, 1984).

10 (DE BROGLIE, 1924f).

11 (DE BROGLIE, 1924a)

no espaço-tempo. Posteriormente, em 1952, como nos assegura Bacciagaluppi (2013, p.229), ele e D. Bohm retomam os trabalhos dando uma nova interpretação aos fenômenos quânticos.

Apresentamos, a seguir, uma tradução para o português daquele artigo e comentaremos alguns pontos que julgamos mais relevantes para a compreensão do contexto, no qual os trabalhos do físico francês estavam inseridos. Acreditamos que este material possa servir de suporte para a discussão dos principais aspectos dos trabalhos iniciais de de Broglie, haja vista que algumas de suas ideias são, ainda, adotadas, atualmente, e constituem parte dos conteúdos de física moderna e contemporânea.

2 Tradução

A Tentative Theory of Light Quanta.
*de LOUIS DE BROGLIE*¹²

I. O Quantum de Luz.

A evidência experimental, acumulada nos últimos anos, parece ser bastante conclusiva em favor da realidade dos quanta de luz. O efeito fotoelétrico, que é o mecanismo principal da troca de energia entre radiação e matéria, parece reforçar a possibilidade de sempre estar governado pela lei fotoelétrica de Einstein; experimentos sobre ações fotográficas; os resultados recentes de A. H. Compton sobre a mudança no comprimento de onda dos raios-X espalhados¹³ teriam grande dificuldade de serem explicados sem

12 Comunicado por R. H Fowler, M. A.

13 [N.T.] De Broglie refere-se aqui aos experimentos de Arthur Compton sobre o espalhamento dos raios X, realizados em torno dos anos 1920. Compton (1923) mostrou que diferentemente do que ocorria com os raios X de baixo poder de penetração (cujos resultados experimentais eram explicados classicamente por J. J. Tompson), o comprimento dos raios X de alto poder de penetração não

uso do conceito de quantum de luz. O lado teórico da teoria de Bohr - sustentada por muitas provas experimentais - fundamenta-se no postulado de que átomos podem emitir ou absorverem¹⁴ energia radiante de frequência ν somente em quantidades finitas iguais a $h\nu$, e a teoria de Einstein das flutuações de energia na radiação negra¹⁵ leva-nos necessariamente às mesmas ideias.

mantinham o mesmo comprimento de onda após o espalhamento. Compton mostrou, ainda, que “o comprimento de onda dos raios espalhados é inquestionavelmente maior do que o dos raios primários que os excita” (COMPTON, 1923, tradução nossa) e que o comprimento dessa radiação secundária depende do ângulo de espalhamento (JAMMER, 1966, p.158). Compton tentou explicar o fenômeno, inicialmente, utilizando a teoria ondulatória e, após tentativas malsucedidas, utilizou a hipótese dos *quanta* juntamente com a dinâmica relativística para o elétron e obteve uma boa concordância; muito embora outros fenômenos como a interferência, ainda não podiam ser explicados senão pela teoria ondulatória. Em suma, a descoberta do efeito Compton não era àquela época um argumento crucial a favor dos *quanta*, segundo explicam Martins e Rosa (2014, pp.128-134).

14 [N. T.] Bohr inicialmente fundamenta seu modelo de órbitas circulares para o átomo de hidrogênio em dois postulados. O primeiro, chamado “postulado quântico”, estabelece um conjunto de estados estacionários discretos ($n = 1, 2, 3, \dots$) como condição para a estabilidade de um sistema atômico, sendo que em cada transição entre dois desses estados, o sistema absorve ou emite radiação de frequência ν , igual à diferença de energia entre aqueles estados dividida pela constante de Planck h (o que equivale dizer que o sistema emite ou absorve energia em quantidades $E=h\nu$). O segundo postulado diz respeito à quantificação do momento angular permitido para órbitas circulares (BALSAS, 2013, p. 52). Com esses dois postulados, Bohr encontra uma excelente concordância com a fórmula empírica obtida por Balmer em 1885. Entretanto, a abordagem inicial de Bohr era não-relativística e, após outros experimentos, realizados em 1914, mostrarem pequenos desacordos entre essa teoria e os comprimentos de onda nas linhas de emissão, Bohr introduz no seu modelo a variabilidade relativística da massa dos átomos de hidrogênio na expressão matemática da frequência ν (JAMMER, 1966, p. 89).

15 [N.T.] Einstein, em seu artigo de 1905, afirma que “A radiação monocromática de baixa densidade [baixa temperatura] (dentro do domínio de validade da

Vou admitir, neste trabalho, a existência real dos quanta de luz, e tentar ver como seria possível conciliá-la com a forte evidência experimental na qual se baseou a teoria ondulatória.

Por questão de simplicidade, é natural admitir que os quanta de luz são idênticos e que apenas suas velocidades são diferentes. Assumo que “a massa de repouso” de todo quantum de luz tem um dado valor m_0 , uma vez que os átomos de luz têm velocidades muito próximas à velocidade limite de Einstein c . Eles precisam ter uma massa extremamente pequena (não no senso matemático de infinitamente pequeno); a frequência da radiação correspondente deve estar relacionada à energia total do quantum pela relação

$$hv = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \left(\beta = \frac{v}{c}\right);$$

Mas, já que $1 - \beta^2$ é muito pequeno, podemos escrever,

$$\beta = \frac{v}{c} = 1 - \frac{1}{2} \frac{m_0^2 c^4}{h^2 v^2}.$$

Os quanta de luz podem ter velocidades com valores ligeiramente diferentes de c , mas que não podem ser diferenciados por nenhum meio experimental. Aparentemente, m_0 deve ser no máximo da ordem de 10^{-50} g¹⁶.

fórmula de Wien) se comporta do ponto de vista da termodinâmica como sendo constituída de um número de quanta de energia independentes, de valor $R\beta v/N$ ” (EINSTEIN, 1905, p. 372, da versão inglesa). Como lembra Max Jammer, a ideia de uma radiação com estrutura granular era totalmente contrária à teoria eletromagnética ondulatória da luz adotada na época – e que era apoiada por importantes experimentos (JAMMER, 1966, p.30).

16 [N. T.] Como lembra Martins e Rosa (2014), a ideia de uma massa não nula para os quanta de luz atribuída por de Broglie foi imediatamente criticada por Wilhelm Anderson em uma nota rápida, publicada na mesma revista. Anderson utilizou as fórmulas relativísticas de de Broglie e mostrou que seria possível escolher um valor de frequência (ou de período) tal que levaria à velocidade nula

Naturalmente, o quantum de luz deve ter uma simetria binária interna correspondente a uma simetria de uma onda eletromagnética definida por algum eixo de polarização. Devemos nos referir novamente a este ponto posteriormente.

II. *A radiação Negra como um gás de Quanta.*

Consideremos um gás¹⁷ constituído pelos quanta de luz, conforme já fora descrito. Em uma dada temperatura (não muito próxima ao zero absoluto), quase todos estes átomos de luz teriam velocidades $v = \beta c$ aproximadamente igual a c . A energia total de um destes átomos é

$$W = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

E seu momentum é

$$G = \frac{m_0 U}{\sqrt{1 - \beta^2}};$$

Temos, então, aproximadamente que,

$$G = \frac{W}{c}.$$

das ondas. Em suas palavras, “M. De Broglie estima m_0 como sendo da ordem 10^{-50} g. Vamos tomar um oscilador de período $T=7262/3$ segundos. Se introduzirmos na fórmula de De Broglie $m_0 = 10^{-50}$, $c = 3.10^{10}$, $h = 6,54. 10^{-27}$ e $v = 1/T = 1 / 726_{2/3} = 3/ 2180$, o resultado será $v = 0$ ” (ANDERSON, 1924, tradução nossa).

17 [N.T.] Um tratamento mais detalhado para o gás de quanta é feito no capítulo “La mécanique statistique et les quanta” de sua tese (DE BROGLIE, 1924f, p. 104-22). De Broglie inicia o capítulo debatendo alguns resultados conhecidos da termodinâmica estatística e, em seguida, estuda as novas concepções de equilíbrio de um gás, a hipótese dos átomos de luz e as flutuações de energia na radiação negra.

A pressão do gás nas paredes do recinto fechado é facilmente verificada como sendo

$$p = \frac{n}{6} \cdot G_c = \frac{1}{3} nW,$$

Se n for o número de quanta de luz num elemento de volume, esta expressão é a mesma que a fornecida pela teoria eletromagnética; enquanto que sem o uso das fórmulas da relatividade, devemos encontrar um resultado duas vezes maior que esse.

Agora surge uma questão: podemos aplicar aos quanta de luz a lei da partição da energia de Maxwell? Ela ainda é válida na dinâmica de Einstein e no teorema de Liouville¹⁸, em que está embasada a Dinâmica Estatística. Podemos usar, então, para uma célula elementar de extensão-em-fase, um valor proporcional a $dx dy dz dp dq dr$, se x , y e z forem coordenadas retangulares e p , q e r os momentos correspondentes. Em consequência da lei de distribuição canônica, o número de átomos cujos pontos representativos estão no elemento $dx dy dz dp dq dr$ deve ser proporcional a

$$e^{-\frac{W}{kT}} = dx dy dz dp dq dr = e^{-\frac{W}{T}} 4\pi G^2 dG dv,$$

18 [N.T.] O teorema de Liouville (juntamente com outros princípios) fornece a fundamentação para toda a mecânica estatística atual. Grosso modo, esse teorema estabelece que para um sistema clássico de N partículas, isolado em um volume V e cuja dinâmica obedece às equações de Hamilton, *a extensão no espaço de fases Γ (um espaço formado pelas coordenadas generalizadas q das partículas e seus momentos generalizados p) permanece constante durante a evolução do estado mecânico do sistema.* Isto é, a medida do volume $V(t_1)$ do espaço de fase ocupado em forma contínua por pontos fase $\Gamma(t_1)$ é igual à medida do volume $V(t_2)$ ocupado pelas mesmas partes no instante t_2 . Matematicamente, o teorema de Liouville pode ser expresso através da equação $\partial\rho/\partial t$, isto é, a derivada total de ρ no espaço de fase é nula para qualquer ponto e qualquer instante. A função $\rho(p, q, t)$ é a densidade de probabilidade de encontrar o sistema em um elemento de volume $dpdq$ no espaço de fase ao tempo t (STARIOLO, 2014, pp. 3-4; LUZZI, 1999, p. 66).

Se dV for um elemento de volume e G o momentum. Mas desde que $G = \frac{W}{c}$, este número também é dado por

$$G^t e^{-\frac{W}{kT}} w^2 dw dv$$

Cada quantum tem uma energia $h\nu$; então a energia total contida num volume dV transportada pelos quanta de luz é:

$$C^t e^{\frac{h\nu}{kT}} d\nu dv$$

Esta é, obviamente, a forma limite da lei de radiação de Wien. Há dois anos¹⁹, utilizei a hipótese de Planck²⁰ de que a extensão-em-fase era²¹ $\frac{1}{h^3} dx dy dz dp dq dr$ e mostrei que era possível encontrar para a densidade de energia radiante um valor²²

19 Veja *Journal de Physique*, Novembro 1922.

20 [N. T.] De Broglie cita essa hipótese de Planck em sua tese: “L’extension en phase d’une molécule est divisée en cellules d’égale probabilité dont la valeur est finie et égale à h^3 ” (DE BROGLIE, 1924f, p. 109). Ou seja, de acordo com esta hipótese, a extensão em fase de uma molécula pode ser dividida em células de igual probabilidade, cujo valor é igual a constante de Planck elevada à terceira potência.

21 [N. T.] Aqui há um pequeno erro de composição do artigo original: a expressão correta envolve a constante h elevada à terceira potência, e não h com subscrito 3. Em outras partes do artigo a expressão está escrita de maneira correta.

22 [N.T.] Este resultado faz parte de sua primeira comunicação de 1922 (DE BROGLIE, 1922a). Naquele artigo, de Broglie parte inicialmente da ideia de quanta de luz e deduz a *forma geral* da lei de Wien – um resultado que, aliás, já havia sido obtido antes por outros estudiosos. Entretanto, a determinação da constante daquela fórmula era feita até então recorrendo-se à teoria ondulatória; o estudioso considerou o efeito causado pela polarização da luz e deduziu a fórmula de Wien utilizando somente mecânica estatística e relatividade (DARRIGOL, 1923, p. 333; LOCHACK, 1982, p. 937, citados por MARTINS, ROSA, 2014, pp.152-153). No entanto, de Broglie vai além e tenta deduzir, naquele artigo, a lei de Planck da radiação, a partir da ideia de

$$u_\nu d\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \nu^3 e^{-\frac{h\nu}{kT}} d\nu$$

Este foi um resultado animador, mas não completo. Considerar os elementos de extensão em fase parecia ter um caráter um tanto misterioso e arbitrário. Além disso, a lei de Wien é apenas uma forma limite da atual lei de radiação e fui obrigado a supor uma espécie de aglomeração de quanta para justificar outros termos da série.

Parece que essas dificuldades são agora eliminadas, mas devemos, antes de tudo, esclarecer outras ideias²³. Retomaremos a discussão acerca do gás de “radiação negra” posteriormente.

III. Um Importante Teorema Acerca do Movimento dos Corpos .

Consideremos um móvel cuja “massa de repouso” é m_0 . Com relação a determinado observador, sua velocidade é $v = \beta c$ ($\beta < 1$). Em decorrência do princípio de energia inercial, ele contém uma energia interna equivalente a $v_0 = \frac{1}{h} m_0 c^2$. Além disso, a relação

átomos de luz sem recorrer à teoria ondulatória ou eletromagnética. Como ele próprio comentará mais adiante, foi necessário considerar que os quanta estavam aglomerados em moléculas, constituindo um gás. Neste modelo, o número de átomos de luz poderia variar para cada molécula, e ter-se-ia, dessa forma, uma mistura de diferentes “gases de luz”. Somando as energias de todos esses gases através de uma série, ele obteve a lei de Planck (MARTINS, ROSA, 2014, p. 154).

23 [N.T.] Nas duas próximas seções, de Broglie apresentará a ideia de ondas associadas às partículas, desenvolvida no primeiro artigo de 1923 (DE BROGLIE, 1923a), e a relação entre ótica e mecânica, apresentada no segundo artigo do mesmo ano (DE BROGLIE, 1923b). No trabalho seguinte, (DE BROGLIE, 1923c), o autor empregou a ideia de ondas associadas às partículas para deduzir novamente a fórmula da radiação de corpo negro de Planck. Essa dedução será apresentada de forma resumida por de Broglie na seção VIII do presente artigo, quando retomará a discussão do gás de quantum.

quântica sugere atribuir a esta energia interna um fenômeno periódico de frequência . Para um observador fixo, a energia total é $\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ e a frequência correspondente é $\nu = \frac{1}{h} \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$.

Entretanto, se esse observador fixo observa o fenômeno periódico interno, ele verá a frequência diminuída e igual $\nu_1 = \nu_0 \sqrt{1 - \beta^2}$, o que significa dizer que, para ele, o fenômeno aparenta variar como $\sin 2\pi \nu_1 t$. A frequência ν_1 é essencialmente diferente da frequência ν_0 , mas são relacionadas por um importante teorema que nos fornece uma interpretação física de ν .

Suponhamos que no instante zero, o móvel coincide, no espaço, com uma onda de frequência ν , definida acima, se propagando com velocidade $\frac{c}{\beta} = \frac{c^2}{v}$. De acordo com as concepções de Einstein, entretanto, essa onda não pode transportar energia.

Nosso teorema é o seguinte: “*Se, no início, o fenômeno interno do móvel está em fase com a onda, esta harmonia de fase irá sempre se manter*”. De fato, no instante t , o móvel está a uma distância da origem $x = vt$ e o fenômeno interno é proporcional a $\sin 2\pi \nu_1 t \frac{x}{v}$; no mesmo local, a onda é determinada por $\sin 2\pi \nu \left(t - \frac{\beta x}{c} \right) = 2\pi \nu \left(\frac{1}{v} - \frac{\beta}{c} \right)$. Os dois senos serão iguais e a harmonia de fase vai sempre ocorrer se a seguinte condição for satisfeita:

$$\nu_1 = \nu(1 - \beta^2),$$

Condição claramente satisfeita pelas definições de ν e ν_1 .

Esse importante teorema está implícito na transformação de tempo de Lorentz. Se τ é o tempo próprio medido por um observador que se move juntamente com o móvel, o fenômeno interno será definido por este observador como sendo $\sin 2\pi \nu_0 \tau$. De acordo com a transformação de Lorentz, um observador parado

deve descrever o fenômeno como $\sin 2\pi v_0 \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \left(t - \frac{\beta x}{c} \right)$, que pode ser interpretado como a representação de uma onda de frequência $\frac{v_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$, espalhando-se ao longo do eixo com velocidade $\frac{c}{\beta}$.

Somos inclinados a admitir que qualquer móvel seja, talvez, acompanhado por uma onda e que é impossível separar a propagação desta onda do movimento do corpo²⁴.

Essa ideia pode ser expressa também de outra forma. As ondas²⁵ de grupo, cujas frequências são aproximadamente iguais, possuem uma “velocidade de grupo” U, que foi estudada por Lord Rayleigh, e que na teoria usual é a velocidade de “propagação de energia”. Esta velocidade de grupo é relacionada à velocidade V pela relação $\frac{1}{U} = \frac{d\left(\frac{v}{V}\right)}{dv}$.

Se v é igual $v = \frac{1}{h} \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ e V igual a $\frac{c}{\beta}$, encontramos $U = \beta c$ – que significa dizer “A velocidade do móvel é a velocidade de energia de um grupo de ondas possuindo frequências $v = \frac{1}{h} \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ e velocidades $\frac{c}{\beta}$ correspondendo a valores ligeiramente diferentes de β ”.

24 [N.T.] Uma representação didática desta situação é descrita em Martins e Rosa (2014, p.171).

25 [N.T.] Após a apresentação de sua tese, de Broglie foi questionado a respeito da verificação experimental dessas ondas. Um experimento sugerido por ele foi o de difração de elétrons em cristais. A verificação experimental, entretanto, já havia sido despretensiosamente realizada em 1921 por Davisson e Kunsman. A ligação entre esse experimento e a teoria de de Broglie foi corretamente interpretada por Walter Elsasser, em 1925 (JAMMER, 1966, p. 249; BROWN, MARTINS, 1984).

IV. Dinâmica e Ótica Geométrica.26

Tentar estender as ideias anteriores para o caso de velocidade variável é um problema bastante difícil, mas muito sugestivo. Se um móvel descreve uma trajetória curva em um meio, dizemos que este meio é um campo de força; a energia potencial pode ser calculada para qualquer ponto e, quando o corpo atravessa este ponto, tem uma velocidade determinada pelo valor constante de sua energia total. Parece natural supor agora que a onda de fase deve ter, em qualquer ponto, uma velocidade e uma frequência determinada pelo valor *que β teria se o corpo lá estivesse*. Durante a propagação, a onda de fase tem uma frequência ν constante e uma velocidade V que varia constantemente.

Possivelmente, um novo eletromagnetismo nos fornecerá as leis dessa complicada propagação, mas parece que sabemos de antemão o resultado: “Os raios da onda de fase são idênticos às trajetórias dinamicamente possíveis”. De fato, as trajetórias dos

26 [N.T.] Nesta sessão, de Broglie irá apresentar parte dos resultados desenvolvidos no segundo artigo de 1923. Além de propor uma alteração na lei da inércia, a fim de explicar os fenômenos tipicamente ondulatórios (como veremos na sessão VI), de Broglie chama a atenção naquele artigo também para a *equivalência* entre o princípio de Fermat (da ótica geométrica) e o princípio mínima ação na forma de Maupertuis (da mecânica clássica). Embora inicialmente esteja trabalhando com estes princípios no limite clássico, de Broglie mostrará na sua tese (e antes da tese numa pequena nota anexada por ele ao final do artigo 1924a) que as expressões relativísticas destes dois princípios conduzem ao mesmo resultado. Por enquanto, ele aplicará a analogia (no domínio clássico) às condições de estabilidade do átomo de Bohr. Entretanto, como veremos na nota anexada por de Broglie, ele obterá um resultado notável ao expressar essa analogia numa notação espaço-temporal; estabelecendo, desta forma, uma relação geral em quatro dimensões, na qual tanto a relação quântica entre energia e frequência, quanto a famosa expressão $p=h/\lambda$, são casos particulares (MARTINS, ROSA, 2014, p.182-183; MARTINS, 2011, p. 399). Para maiores detalhes envolvendo os princípios de Maupertuis e Fermat (no domínio clássico), consultar Dugas (1955, p. 260), Martins e Silva (2007), e Moreira (1999).

raios podem ser calculadas como num meio de dispersão variável através do Princípio de Fermat que podemos aqui escrevê-lo (λ = comprimento de onda, ds =elemento de trajetória):

$$\delta \int \frac{ds}{\lambda} = \delta \int \frac{v ds}{V} = \delta \int \frac{m_0 \beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}} ds = 0$$

O princípio de mínima ação na forma de Maupertuis fornece a trajetória dinâmica por meio da equação,

$$\delta \int m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \sqrt{1 - \beta^2} \right) dt = \delta \int \frac{m_0 \beta^2 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} dt = \delta \int \frac{m_0 \beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}} ds = 0$$

um resultado que justifica o que foi afirmado acima. É tão simples um matemático demonstrar que o teorema da fase harmônica é sempre válido que parece não ser necessário desenvolver a prova.

A presente teoria sugere uma importante explicação para as condições de estabilidade de Bohr. No tempo zero, o elétron está num ponto A de sua trajetória. A onda de fase iniciando, nesse instante, a partir de A, vai descrever toda a trajetória e encontra novamente o elétron em A'. Parece bastante necessário que a onda deva encontrar o elétron em fase com ela. Isto é, "O movimento pode ser estável somente se a onda de fase estiver em ressonância sobre o comprimento da trajetória". A relação de ressonância é, então,

$$\int \frac{ds}{\lambda} \int_0^T \frac{m_0 \beta^2 c^2}{h \sqrt{1 - \beta^2}} dt = n,$$

(n número inteiro, T período de revolução).

Agora, podemos escrever a condição de estabilidade da teoria quântica, na forma geral dada por Einstein, a qual degenera em muitas condições de Sommerfield²⁷ para um caso quase periódico em consequência de um número infinito de pseudo-períodos.

27 [N.T.] Darrigol (1993, p. 342-343, 364-365) nos mostra que esta derivação apresenta falhas, pois a condição de que uma onda deve terminar em fase

Vamos chamar $pxpypz$ os momenta. A condição geral de Einstein é, então, $\int(px dx + py dy + pz dz) = nh$ (n inteiro), ou ainda,

$$\int_0^T \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) dt = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \beta^2 c^2 dt = nh,$$

que é exatamente o resultado acima.

V. *A propagação dos Quanta de Luz e o Problema da Coerência.*

Vamos, agora, utilizar nossos resultados para estudar a propagação de quanta de luz livres cujas velocidades sempre são ligeiramente inferiores a c . Podemos afirmar que “O átomo de luz cuja energia total é $h\nu$ abriga um fenômeno periódico que, para um observador fixo, possui, em cada ponto do espaço, a mesma fase como uma onda que se propaga na mesma direção com velocidade aproximadamente igual à c (ligeiramente superior)”. O quantum de luz é de alguma maneira uma parte da onda, mas, para explicar a interferência e outros fenômenos da ótica ondulatória, é necessário verificar como vários quanta de luz poderiam ser parte da *mesma* onda. Esse é o problema da coerência.

Na teoria dos quanta de luz, parece necessário levantar a seguinte hipótese: “Quando uma onda de fase atravessa um átomo excitado, esse átomo tem certa probabilidade de emitir um quantum de luz, determinada em cada instante pela intensidade da onda”. Esta hipótese pode parecer arbitrária, mas penso que qualquer teoria da coerência carece adotar um postulado deste tipo.

As emissões de raios- γ por substâncias radioativas são conhecidas por serem independentes, mas esta não pode ser considerada uma objeção contra nossa visão, pois a “meia-vida” de qualquer

após um quase período não implica nas n condições separadas e mostradas nas equações.

átomo radioativo conhecido é muito maior que o período dos raios- γ .

Assim, quando um átomo emite um quantum de luz, uma onda de fase esférica é simultaneamente emitida e, ao atravessar os átomos vizinhos do ponto de origem, irão excitar novas emissões²⁸. Essa onda de fase imaterial carrega muitos pingos de energia que deslizam lentamente sobre ela e cujos fenômenos internos são coerentes.

VI. Difração Por Uma Borda de Tela e o Princípio de Inércia.

A teoria corpuscular de Newton para a luz encontra, aqui, uma grande dificuldade. É sabido, desde Newton, que os raios de luz passando a uma pequena distância da borda de uma tela não permanecem retilíneos, mas que penetram na sombra geométrica. Newton atribuiu esse desvio à ação de alguma força exercida pela borda sobre o corpúsculo de luz.

Parece-me que este fenômeno é digno de uma explicação mais genérica, uma vez que parece existir uma íntima conexão entre o movimento dos corpos e a propagação de ondas e que os raios de onda de fase podem ser, agora, considerados como trajetórias (possíveis trajetórias) de quanta de energia. Somos inclinados a abandonar o princípio de inércia e afirmar que “O móvel precisa

28 [N.T.] Pode-se afirmar que essa conclusão de de Broglie, discutida inicialmente no seu segundo artigo de 1923, contém a ideia de emissão estimulada na forma que, posteriormente, foi utilizada para o desenvolvimento do *Laser* (MARTINS, ROSA, 2014, p.190-91). Ainda segundo os autores, costuma-se considerar que a ideia de emissão estimulada de radiação teve origem em um trabalho de Einstein de 1917. Entretanto, uma análise cuidadosa revela que este último utilizou, apenas, uma análise estatística nos seus trabalhos, enquanto que somente é possível explicar o processo de emissão estimulada utilizando a ideia de ondas associadas aos quanta de luz, e o princípio de correlação de fase, que foi empregado por de Broglie. Para esse, a emissão estimulada era uma maneira de explicar a coerência da radiação.

seguir sempre o mesmo raio de sua onda de fase”²⁹. Na propagação contínua, a forma da superfície de mesma fase mudará continuamente e o corpo sempre seguirá a perpendicular comum a duas superfícies infinitamente próximas.

Quando o princípio de Fermat não é mais válido pra calcular o raio da trajetória, o princípio de ação mínima não é mais válido para calcular a trajetória do corpo. Penso que essas ideias podem ser consideradas como um tipo de síntese entre ótica e dinâmica.

Precisamos especificar alguns pontos. O raio -que agora assume um importante significado físico em nossas ideias - pode ser definido como uma propagação *contínua* de uma pequena parte da onda de fase. Ele não pode ser determinado pelo cálculo geométrico para todas as ondas do vetor que é chamado na teoria eletromagnética de “radiante ou vetor de Poynting”.

Vamos considerar um tipo de experimento de Wiener³⁰. Enviamos um trem de ondas planas sobre um espelho perfeitamente refletor na direção normal; formam-se ondas estacionárias; o espelho refletor é um plano nodal para o vetor elétrico, o plano à distância $\lambda/4$ do espelho é um plano nodal para o vetor magnético, o plano à $\lambda/2$ é novamente um plano nodal para o vetor elétrico, e assim por diante. Em cada plano, o vetor radiante é nulo. Podemos dizer que esses planos não são atravessados por nenhuma energia? Evidentemente, não; podemos apenas dizer que os estados de interferência nesses planos são sempre os

29 [N.T.] Este resultado também faz parte do seu segundo trabalho de 1923. De Broglie está propondo uma modificação na lei da inércia, para explicar os fenômenos de interferência e difração, como mostrará mais adiante. Segundo ele, as partículas que se encontram em regiões nas quais estão livres de forças externas, não obedecem mais à lei da inércia, mas se movem seguindo raios perpendiculares às frentes de onda das ondas de fase associadas às mesmas, segundo explicam Martins e Rosa (2014, p.192).

30 [N.T.] Este experimento é descrito em Martins e Rosa (2014, p.187-188).

mesmos. Em todo caso de interferência, encontramos complexidade semelhante.

A propagação de energia, na teoria ondulatória, possui um caráter um tanto fictício, mas em contrapartida, o cálculo exato das franjas de interferência é facilmente realizado. Tentaremos ver, no próximo tópico, a razão disto.

VII. Uma Nova Explicação Para as Franjas de Interferência

Considere a detecção de luz num ponto do espaço – pela percepção de luz espalhada, por testes fotográficos, por efeitos caloríficos e, possivelmente, por outros meios. Parece que todos estes meios podem, de fato, ser reduzidos a ações fotoelétricas e espalhamento. Ora, quando um quantum de luz atravessa um átomo material, há certa probabilidade de ele ser absorvido ou espalhado, a qual depende de fatores externos.

Se uma teoria logra determinar essas probabilidades sem levar em conta o atual movimento de energia, talvez ela consiga prever, corretamente, a ação média entre radiação e matéria para cada local. Seguindo a teoria eletromagnética (e o princípio de correspondência de Bohr, consistente com esta visão), sou inclinado a supor que a probabilidade de um átomo material absorver ou espalhar um quantum de luz é determinada pela resultante de um dos vetores das ondas de fase que se cruzam sobre ele. A hipótese precedente é bastante análoga à admitida pela teoria eletromagnética, ao ligar intensidade de luz detectável à intensidade do vetor elétrico resultante. Deste modo, no experimento de Wiener, a ação fotográfica apenas ocorre nos planos nodais do vetor elétrico. De acordo com a teoria eletromagnética, a energia magnética luminosa não é detectável.

Vamos considerar, agora, o experimento de interferência de Young. Alguns átomos de luz atravessam completamente as fendas e se difratam, seguindo o raio da porção da onda de fase que o cerca. No espaço atrás da parede, sua capacidade de ação fotoelétrica viria

de ponto a ponto, segundo o estado de interferência das duas ondas de fase que atravessam as duas fendas. Observaremos, então, franjas de interferência, apesar de serem poucos os quanta refratados e a luz incidente ser de baixa intensidade. Os quanta atravessam todas as franjas claras e escuras; somente sua habilidade para agir sobre a matéria é que está mudando constantemente. Este tipo de explicação, que, possivelmente, remove ao mesmo tempo as objeções contra o quantum de luz e contra a propagação de energia através de franjas escuras, pode ser generalizada para todos os fenômenos de interferência e difração.

VIII. Os Quanta e a Teoria Dinâmica dos Gases

Com o objetivo de calcular as constantes de entropia e as assim chamadas “constantes químicas”, Planck e Nernst têm sido forçados a introduzir a ideia do quantum na teoria dos gases. Como explicado acima, Planck escolhe um elemento de extensão em fase igual a $\frac{1}{h^3} = dx dy dz dp dq dr$ ou $\frac{4\pi}{h^3} m_0^{3/2} \sqrt{2wdw} dx dy dz$.

Devemos agora tentar justificar essa adoção.

Cada átomo de velocidade βc pode ser considerado ligado a um grupo de ondas cujas velocidade de fase é $v = \frac{c}{\beta}$, frequência $\nu = \frac{1}{h} \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ e velocidade de grupo $U = \beta c$. O gás é estável somente se as ondas correspondentes a todos os átomos constituírem um sistema de ondas estacionárias. Usando o bem conhecido método fornecido por Jeans, encontramos para o número de onda por unidade de volume cujas frequências estão incluídas no intervalo $\nu, \nu + d\nu$ ³¹:

$$n_\nu d\nu = \frac{4\pi}{UV^2} v^2 d\nu = \frac{4\pi}{c^3} \beta v^2 d\nu$$

31 Léon Brillouin, *Théorie des Quanta*, p. 38. Paris: A. Blanchard.

Se w é a energia cinética de um átomo e v a correspondente frequência, então:

$$hv = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = w + m_0 c^2 = m_0 c^2 (1 + \alpha)$$

Onde, $\alpha = \frac{w}{m_0 c^2}$.

Agora é muito fácil encontrar que $n_v dv$ é dado pela equação:

$$n_v dv = \frac{4\pi}{h^3} m_0^2 c (1 + \alpha) \sqrt{\alpha(2 + \alpha)} dw.$$

Cada onda de fase pode ser carregada com um, dois ou mais átomos. Daí, então, de acordo com a lei canônica, o número de átomos cuja energia é $h\nu$, será proporcional a:

$$\frac{4\pi}{h^3} m_0^2 c (1 + \alpha) \sqrt{\alpha(2 + \alpha)} dw dx dy dz \sum_1^{\infty} e^{-\frac{nh\nu}{kT}}$$

Vamos considerar primeiro um gás material cujos átomos têm massa relativamente elevada e velocidades relativamente baixas. Podemos, então, negligenciar todos os termos da série, exceto a primeira, e podemos também aplicar $1 + \alpha = 1$. O número de átomos cuja energia cinética é w será, negligenciando um fator constante³², $\frac{4\pi}{h^3} m_0^{3/2} \sqrt{2w} dw dx dy dz e^{-\frac{w}{kT}}$, um resultado que justifica o método de Planck e leva à forma usual da lei de Maxwell.

No caso de um gás de quanta de luz, α é sempre grande e, além disso, podemos usar a série completa. Em consequência da

32 [N. T.] Esta fórmula (multiplicada por uma constante, que neste caso foi negligenciada por de Broglie) já havia sido utilizada por Planck (embora não tenha justificado teoricamente) para calcular a entropia e as “constantes químicas” dos gases. Ela conduz à lei de distribuição de velocidades de Maxwell para as moléculas de um gás (MARTINS, ROSA, 2014, p. 194).

simetria binária³³ interna do quantum de luz, devemos introduzir um fator 2, e encontramos que a densidade de energia radiante é proporcional a:
$$\frac{8\pi}{h^3 c^3} w^3 \sum_1^{\infty} e^{-\frac{nh\nu}{kT}} dw = \frac{8\pi h}{c^2} \frac{v^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} dv.$$

Um método desenvolvido em *Journal de physique*, novembro de 1922, mostra que o fator de proporcionalidade é unitário, de modo que obtemos a atual lei da radiação.

LX Questões em Aberto.

As concepções expostas neste artigo, se forem aceitas, exigirão uma ampla modificação da teoria eletromagnética. As chamadas “energias elétrica e magnética” devem ser apenas um tipo de valor médio, sendo toda energia real dos campos, provavelmente, de uma estrutura fina corpuscular. Construir um novo eletromagnetismo parece ser uma tarefa difícil, mas temos uma ideia guia: de acordo com o princípio da correspondência e afirmações acima, os vetores de definição da antiga teoria eletromagnética poderiam fornecer a probabilidade de reação entre matéria e energia fina.

O novo eletromagnetismo proporcionará a solução de muitos problemas. As leis de propagação das ondas dadas pela teoria de Maxwell serão, provavelmente, válidas para ondas de fase luminosas desprovidas de energia e o espalhamento da energia será explicado pela curvatura resultante dos raios (ou seja, as trajetórias dos quanta de luz). Essa parece ser uma grande analogia entre espalhamento de energia e espalhamento de corpúsculos; diminuição da velocidade de partículas, atravessando uma tela pode também ser similar à diminuição das frequências de raios X por

33 [N.T.] De Broglie refere-se aqui aos dois estados de polarização da luz, semelhantemente à consideração feita no segundo artigo de 1923. Há uma tendência a ver esta proposta - desenvolvida inicialmente por Léon Brillouin - como uma antecipação daquilo que chamaríamos, em termos atuais, de “spin do fóton” (MARTINS & ROSA, 2014, p. 260).

espalhamento, que recentemente foi calculado e verificado por A. H. Compton.

Explicar a dispersão ótica será mais difícil. As teorias clássicas (incluindo a teoria do elétron) fornece apenas uma visão geral desse fenômeno, que são produzidos por complexas reações elementares entre átomos e radiação. Aqui, certamente, somos obrigados a distinguir de forma precisa o movimento real da energia de propagação do estado de interferência resultante. Um tipo de “ressonância” mostrado por variação de índice refrativo, talvez, não mais seja irreconciliável com a descontinuidade da luz.

Muitas outras questões permanecem em aberto: qual é o mecanismo da absorção de Bragg? O que acontece quando um átomo passa de um estado estável a outro, e como ele ejeta um único quantum? Como podemos introduzir a estrutura granular de energia dentro de nossas concepções de ondas elásticas e da teoria do calor específico de Debye?

Finalmente, devemos mencionar que a relação do quantum permanece ainda um tipo de postulado definindo a constante h , cujo atual significado não está totalmente esclarecido, mas, talvez, o enigma do quantum esteja reduzido a esse único ponto.

Resumo

Nesse artigo, é assumido que a luz é essencialmente composta por quantas, todos com uma mesma massa extraordinariamente pequena. É mostrado, matematicamente, que a transformação de Lorentz-Einstein, em conjunto com a relação do quantum, leva-nos, necessariamente, a associar movimento de corpúsculos e propagação de ondas e que essa ideia fornece uma interpretação física das condições de estabilidade de Bohr. Difração parece ser consistente com uma extensão da Dinâmica Newtoniana. É possível, então, defender ambos os caracteres corpuscular e ondulatório da luz e, por meio de hipóteses sugeridas pela teoria eletromagnética e o princípio de correspondência, fornecer uma

explicação plausível para a coerência e franjas de interferência. Finalmente, é mostrado porque os quanta devem tomar parte na teoria dinâmica dos gases e como a lei de Planck é a forma limite da lei de Maxwell para um gás de quanta.

Muitas dessas ideias podem ser criticadas e, possivelmente, reformuladas, mas parece que, agora, pouca dúvida deveria restar da real existência dos quanta de luz. Ademais, se nossas opiniões forem recebidas, e já que estão fundamentadas na relatividade do tempo, a enorme evidência experimental do “quantum” será direcionada em favor das concepções de Einstein.

1º de outubro de 1923.

*Nota*³⁴. - Desde que escrevi este artigo, fui capaz de dar uma forma um pouco diferente, mas muito mais geral aos resultados contidos na quarta seção.

O princípio de ação mínima para um ponto material pode ser expresso em notação espaço temporal pela equação:

34 [N.T.] Como já havíamos comentado, neste anexo de Broglie apresenta a equivalência entre os princípios de Fermat e Maupertuis no domínio relativístico. Diferentemente das expressões utilizadas no terceiro artigo de 1923, no qual foram utilizadas expressões não relativísticas (as integrais dependiam do referencial), em sua tese, de Broglie apresenta corretamente os equivalentes relativísticos daqueles princípios variacionais e explica de forma detalhada a natureza dos quadri-vetores por ele utilizados. Esta nota apresenta um rápido esboço dessas ideias. Como enfatiza Martins e Rosa (2014, p.198), “Esse anexo é de enorme importância, pois nele de Broglie apresenta uma generalização relativística da relação $E=hc/\lambda$, e corrige um erro do terceiro artigo de 1923”. Os autores se referem a um erro cometido por De Broglie na dedução da expressão relativística do princípio de mínima ação e que foi corrigido neste artigo de 1924 e na sua tese. Na tese, aliás, de Broglie considera também o caso em que a partícula está submetida a um campo eletromagnético, e não livre de forças, como tratado até então. Mais detalhes acerca da abordagem relativística de de Broglie e a relação entre os quadri-vetores e sua teoria dualística podem ser encontrados em Brown e Martins (1984) e em Martins e Rosa (2014, p. 202).

$$\delta \int \sum_1^4 J_i dx^i = 0$$

Se os J_i são as componentes covariantes de um vetor tetra-dimensional cuja componente temporal é a energia do ponto dividida por c e as componentes espaciais são as componentes de seu momentum.

De forma semelhante, ao estudar a propagação de ondas, temos que escrever:

$$\delta \int \sum_1^4 O_i dx^i = 0$$

se os O_i são as componentes covariantes de um vetor tetra-dimensional cuja componente temporal é a frequência dividida por c e as componentes espaciais são as componentes de um vetor traçado na direção do raio e igual a $v/V=1/\lambda$ (V é a velocidade de fase). Ora, a relação quântica diz que $J_4 = hO_4$. De forma mais geral, sugiro colocar $\vec{J} = h\vec{O}$. A partir dessa proposição, segue-se imediatamente a identidade dos dois princípios de Fermat e Maupertuis, e é possível deduzir, rigorosamente, a velocidade de fase em qualquer campo eletromagnético.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os primeiros trabalhos de de Broglie, embora ainda pouco estudados e pouco conhecidos, apresentam grande importância no esclarecimento de alguns pontos históricos. “A tentative theory of light quanta”, por exemplo, aqui apresentado e discutido, exibe uma síntese das primeiras comunicações de de Broglie acerca de uma natureza dual para a luz. Seus trabalhos, aliás, são os primeiros a exibir o conceito de dualidade onda-partícula de forma clara e não meramente especulativa (ROSA, MARTINS, p. vi).

Além de discutir resultados já conhecidos pela comunidade científica de sua época, a exemplo de trabalhos de Planck, Einstein, Compton e outros, as comunicações de de Broglie apresentam ideias totalmente originais. Com o intuito de deduzir a lei de Wien, por exemplo, de Broglie recorreu, num primeiro momento, a uma abordagem estritamente corpuscular. Para tanto, foi necessário considerar que os *quanta* estavam aglomerados em moléculas, constituindo uma mistura de gases de *quanta*. Ademais, de Broglie atribuiu aos *quanta* uma massa finita e tratou-os empregando as equações da relatividade; propôs uma modificação na lei da inércia para explicar os fenômenos interferência e difração; apresentou a equivalência entre os princípios de Fermat e Maupertuis, no domínio relativístico, e fez especulações acerca daquilo que hoje chamamos de emissão estimulada, um conceito de fundamental importância para a posterior tecnologia do *Laser*.

Em síntese, podemos considerar os trabalhos iniciais de de Broglie dignos de mais atenção de estudos históricos aprofundados e de utilização em cursos básicos de física, haja vista o caráter seminal de muitas de suas ideias, e possibilidades de utilização daqueles materiais como complemento na discussão de pontos teóricos e históricos específicos daquele período.

Referências

ANDERSON, W. A consequence of theory of M. Louis De Broglie, **Philosophical Magazine**, 47: 873, 1924. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/14786442408565271>. Acesso em: 07 Dezembro 2016.

BALSAS S.J, A. **Realismo e localidade em mecânica quântica** (Coleção Ciência & Sociedade). Campina Grande: EDUEPB, 2013.

BROWN, H. R; MARTINS, R. A. De Broglie's relativistic phase waves and waves groups. **American Journal of Physics**. 55 (12): 1130-1140, 1984.

COMPTON, A. H. A quantum theory of scattering of X-rays by light elements. **Physical Review**, [série 2] **21**: 483-502, 1923.

DARRIGOL, O. Strangeness and soundness in Louis de Broglie's early Works. **Physis**, 30, 303 – 372, 1993.

DE BROGLIE, L. Rayonnement noir et quanta de lumière. **Le journal de Physique et le Radium**, [série 6] **3**: 422-428, 1922(a).

DE BROGLIE, L. Sur les interférences et la théorie des quanta de lumière. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, 175: 811-813, 1922(b).

DE BROGLIE, L. Ondes et quanta. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, 177: 507-510, 1923(a).

DE BROGLIE, L. Quanta de lumière, diffraction et interférences. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, 177: 548-550, 1923(b).

DE BROGLIE, L. Les quanta, la théorie cinétique des gaz et le principe de Fermat. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, 177: 630-632, 1923(c).

DE BROGLIE, L. Waves and quanta. **Nature**, 122: 540, 1923(d).

DE BROGLIE, L. A tentative theory of light quanta. **Philosophical magazine**, 47: 446-458, 1924(a)³⁵.

DE BROGLIE, L. **Thésés. Recherches sur la théorie des quanta**. Paris: Masson et C^{ie} Éditeurs, 1924(f)³⁶.

DE BROGLIE, L. Recherches sur la théorie des quanta. **Annales de Physique**, [série 10] 3: 22-128, 1925(a)³⁷.

DUGAS, R. **A history of mechanics**. Translated into English by J.J. Paul Maddox. London: Routledge & Kegan, 1955.

EINSTEIN, A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. **Annalen der Physik** [série 4] 17: 132-148, 1905³⁸.

JAMMER, M. **The conceptual development of quantum mechanics**. New York: MacGraw-Hill, 1966.

LUZZI, R. **Mecânica estatística**: ensembles clássicos em equilíbrio (notas de aula), 273f. UNICAMP, 1999. Disponível em:

35 Utilizamos a versão disponibiliza pela Philosophical Magazine Letters: De Broglie, Louis (2006) 'XXXV. A Tentative Theory of Light Quanta', **Philosophical Magazine Letters**, 86: 7, 411 – 423. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/09500830600914721>>. Acesso em: Dezembro de 2016.

36 A versão que citamos foi a reeditada, sob a forma de artigo, pela **Annales de Physique** (próxima referência).

37 Versão a que tivemos acesso: Louis de Broglie. **Recherches sur la théorie des Quanta**. Physics. Migration - université en cours d'affectation, 1924. French. Disponível em: <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00006807>>. Acesso em: Dezembro de 2016.

38 Tradução inglesa utilizada: EINSTEIN, A. Concerning an heuristic point of view toward the emission an transformation of light. Traduzido em: **American Journal of Physics** 5 (33): 367-374, 1965.

www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=60399.
Acesso em: Dezembro de 2016.

MARTINS, R. A. Investigando o invisível: as pesquisas sobre os raios X logo após a sua descoberta por Röntgen. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência** (17): 81-102, 1997.

MARTINS. SILVA, A.P.B. Maupertuis e o princípio mecânico de ação mínima: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Ensino de Física** 29 (4): 625 - 633, 2007.

MARTINS. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física** 20 (4): 373-91, 1998.

MARTINS. De Louis de Broglie a Erwin Schrödinger: uma comparação. Pp. 396-411. *In*: FREIRE JR, O., PESSOA JR, O., and BROMBERG, JL., orgs. **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MARTINS; ROSA, P. **A história da teoria da teoria quântica: a dualidade onda partícula de Einstein a de Broglie**. São Paulo: Livraria da física, 2014.

MOREIRA, I.C. Maupertuis (1698-1759) e o princípio de mínima ação. **Revista Brasileira de Ensino de Física** 21: 172 – 186, 1999.

PESSOA JR., O. **Conceitos de física quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

POPPER, K, R. **Quantum Theory and the Schism in Physics**. London: Unwin Hyman, 1982.

STARIOLO, D. A. **Mecânica estatística** (notas de aula), 135f. UFRGS, 2014. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~stariolo/ensino/estat/notasdeaula.pdf>. Acesso em: Dezembro de 2016.

2



CONTROVÉRSIAS E PARADOXOS: CONTRIBUIÇÕES DO DEBATE ENTRE EPR E BOHR PARA O ENSINO DE FÍSICA

Daniel de Pontes Silva¹
Marcos Antônio Barros Santos²

1 Introdução

A partir da História da Ciência, podemos conhecer os momentos que marcaram o estado do conhecimento científico atual, assim como compreender os fatos que o justificam. No campo da Física, isso também é verdade, uma vez que a sua

1 Estudante de doutorado do Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática – PPGECM/UFG. Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática pelo Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PPGECM/UEPB.

2 Possui Graduação em licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (1985), Especialização em Ensino das Ciências (UEPB - 1992), Mestrado em Ensino das Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2006) e Doutorado em História, Filosofia e Ensino de Ciências pela UFBA. Professor do Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba.

própria história nos fornece evidências de disputas entre teorias e teóricos concorrentes, consensos, êxitos e fracassos de uma outra posição teórica. Nesses termos, vamos considerar o episódio do paradoxo EPR que apresenta o debate entre o grupo de Einstein, defendendo a incompletude da Mecânica Quântica, e o de Bohr, contra-argumentando as considerações do primeiro grupo.

A relevância desse episódio para a História da Física Quântica reside no estabelecimento de novos paradigmas para a Mecânica Quântica, de um lado reforçando os limites e alcances da teoria, por outro lado a criação de novos consensos sobre a natureza dos fenômenos atômicos. Outrossim, ao debruçarmo-nos sobre este momento, é possível reconhecer as intencionalidades científicas e pessoais na defesa da incompletude, no caso de Einstein, Podolsky e Rosen, e os esforços semânticos empreendidos por Bohr na defesa da Mecânica Quântica Ortodoxa.

Para além da importância do episódio para a História da Física, também discutimos as potenciais contribuições desse embate para o Ensino de Física. Episódios como esse podem apresentar adequadamente os acontecimentos, assim como permitir o reconhecimento das naturezas da Ciência e a maneira como os cientistas desempenham os seus papéis.

A partir da abordagem histórica em sala de aula, o Ensino de Física não será vazio dos contextos de produção dos conhecimentos que compõem o currículo escolar, pois prioriza, além das teorias “acabadas”, os fatores que justificam tais contextos. Para tanto, objetivamos reconstruir o episódio do paradoxo EPR e discutir as suas contribuições para o Ensino de Física.

As discussões, aqui empreendidas, são um recorte da pesquisa de mestrado de Silva (2021)³ cujo foco foi o debate que levou ao paradoxo EPR os aspectos da pseudo-história e a análise do

3 Pesquisa de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) em 2021.

conteúdo de livros de Física Moderna e Contemporânea adotados como bibliografia básica no curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba, observando como o episódio foi apresentado nesses livros e qual era a sua proximidade com discursos pseudo-históricos.

Para isso, o presente artigo foi organizado da seguinte forma: na seção 2, foi elaborada a reconstrução histórica do Paradoxo EPR, explorando a argumentação de Einstein, Podolsky e Rosen (1935) pela incompletude da Mecânica Quântica, assim como a contra-argumentação de Bohr (1935) defendendo a capacidade de a Mecânica Quântica descrever os fenômenos atômicos; em seguida, foram apresentadas as possibilidades de discussão e problematização do episódio em questão no Ensino de Física; na seção 4, foram apresentados os aspectos metodológicos que nortearam o presente artigo e, por fim, tecemos as considerações finais.

2 NA DISPUTA PELA COMPLETEDE DA MECÂNICA QUÂNTICA: QUEM VENCEU: EPR OU BOHR?

Os acontecimentos do episódio em questão se situaram no ano de 1935, momento marcado pela política nazista e a intensificação da perseguição contra os judeus. Por consequência, muitas pessoas refugiaram em outros países para escaparem do massacre praticado pelo regime, incluindo cientistas de origem judaica, assim como aconteceu com Einstein. Até a deflagração do regime, a política hitleriana inflou o ódio e o medo nos alemães contra os judeus, justificando os atos praticados mais tarde.

Esse modelo de ver assemelha-se às apreciações que explicam a apatia e o consentimento da maioria da população a partir de sua experiência traumática dentro de um “sistema de delírio”. A população alemã seria vítima de um anestesiamento coletivo, e não teria forças

psicológicas para romper o cordão de encantamento que a prendia ao regime (Lenharo, 2003, p. 9).

O conhecimento científico não nasce isolado dos contextos vividos por seus atores. Todas as pessoas são interseccionadas por valores religiosos e culturais, por situações econômicas e políticas do momento vivido, dentre outras variáveis. Porquanto, viver sob um regime de terror e intolerâncias pode ter contribuído, também, para o empreendimento realizado por EPR sobre os limites da Mecânica Quântica de então. Essa afirmação também se estende para Bohr, uma vez que ele era contemporâneo dos outros três autores e vivia na Europa.

Em 15 de maio de 1935, Einstein, Podolsky e Rosen publicaram um artigo na *Physical Review*, intitulado “A descrição da Realidade Física da Mecânica Quântica pode ser considerada completa?”, intentando responder se: “[...] (1) a descrição da realidade dada pela função de onda, na mecânica quântica, não é completa ou (2) essas duas grandezas não podem ter realidades simultâneas (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 777, tradução nossa)”. Em 15 de outubro de 1935, Bohr publicou um artigo com o mesmo título na *Physical Review*, confrontando as conclusões expressas por Einstein, Podolsky e Rosen.

2.1 Paradoxo EPR: incompletude ou tautologia lógica?

Para que uma teoria seja considerada completa, qual é o nível de conhecimento que ela deve dar sobre um sistema físico? Ao discutir sobre a completude da Mecânica Quântica, Einstein, Podolsky e Rosen procuraram estabelecer os limites da Teoria Quântica, ao responderem, mesmo que indiretamente, tal questionamento em seu artigo de 15 de maio de 1935. Para abordar essa pergunta, eles procuraram responder se: (1) a teoria era correta e se (2) a descrição dada pela teoria era completa. Essa abordagem partiu da elaboração de dois experimentos mentais, o

primeiro envolvendo uma partícula com um grau de liberdade e o segundo dois subsistemas I e II que interagem por um instante e depois são separados.

Antes de qualquer consideração sobre os experimentos mentais, Einstein, Podolsky e Rosen apresentaram uma delimitação do que deveria ser uma descrição completa dos sistemas físicos. Primeiramente, eles afirmaram a condição de completude, afirmando que “Qualquer que seja o significado atribuído ao termo *completa*, a seguinte exigência para uma teoria completa parece ser necessária: *cada elemento da realidade física deve ter uma contrapartida na teoria física*. Chamaremos isso de condição de completude” (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 777, grifos do autor, tradução nossa)⁴.

No entanto, o conhecimento integral de todas as grandezas contidas num fenômeno físico não deve, para Einstein, Podolsky e Rosen, perturbar ou alterar os estados de um sistema físico qualquer. Obedecendo a esse critério, eles afirmaram ser possível conhecer todas as características de fenômenos sob investigação, mas não a partir de métodos arbitrários, senão a partir da experimentação.

[...] Estaremos satisfeitos com o seguinte critério, o qual consideramos razoável. *Se, sem perturbar de alguma maneira um sistema, pudermos predizer com certeza o valor de uma grandeza física (isto é, com probabilidade igual à unidade), então existe um elemento de realidade física correspondente a essa grandeza física* (Einstein;

4 Whatever the meaning assigned to the term *complete*, the following requirement for a complete theory seems to be a necessary one: *every element of the physical reality must have a counter part in the physical theory*. We shall call this the condition of completeness (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 777).

Podolsky; Rosen, 1935, p. 777, grifos do autor, tradução nossa)⁵.

Tal condição de completude e o critério para isso, para eles, não devem ser válidos apenas para as teorias clássicas, mas devem ser aplicados em outros campos, como na Mecânica Quântica, ou seja, devem funcionar como critérios universais (Cf. Silva, 2021). Nesse sentido, afirmando os limites das teorias clássica e quântica, Einstein, Podolsky e Rosen empreenderam os experimentos mentais, testando as seguintes hipóteses: (1) a descrição da Mecânica Quântica da realidade, dada pela função de onda, não é completa ou (2) quando os operadores correspondentes às duas grandezas físicas não comutam, elas não podem ter realidades simultâneas.

Para a descrição dos estados de uma partícula e dos subsistemas, Einstein, Podolsky e Rosen admitiram que a função de onda deve fornecê-los. Ao se aplicar um operador sobre a função de onda, deve-se ter como resultado um elemento de realidade associado ao estado resultante. De forma genérica, a Equação (1) exhibe a relação entre um operador ou grandeza física e o seu elemento de realidade que surge quando é aplicado sobre Ψ .

$$\Psi' \equiv A\Psi = a\Psi \quad (1)$$

Por conseguinte, vamos tratar do experimento mental de uma partícula com um grau de liberdade, para a qual foram definidas as grandezas momento linear p , a posição x da partícula e a posição q no caso dos subsistemas I e II. Para esse experimento, as Equações (2), (3) e (4) definem a função de onda, o operador

5 We shall be satisfied with the following criterion, which we regard as reasonable. *If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity* (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 777).

momento linear e a relação do elemento de realidade p_0 e Ψ respectivamente. As seguintes três equações exprimem os resultados para o elemento de realidade do momento linear, exigindo outro cálculo para determinar a posição da partícula.

$$\Psi' = e^{(2\pi i/\hbar)p_0 x} \quad (2)$$

$$p = (\hbar/2\pi i)\partial/\partial x \quad (3)$$

$$\Psi' = p\Psi = (\hbar/2\pi i)\partial\Psi/\partial x = p_0\Psi \quad (4)$$

No entanto, para expressar a posição da partícula, a grandeza não oferece mais condições de cálculo e reconhecimento. Para tanto, os Einstein, Podolsky e Rosen se reportaram à medida direta da posição, o que resulta na probabilidade de se encontrar a partícula num intervalo entre a e b (Equação 5). Os autores chamaram a atenção para a premissa da Mecânica Quântica de que uma medição direta perturbaria o sistema alterando o estado da partícula.

$$P(a,b) = \int_a^b \bar{\Psi}\Psi dx = \int_a^b dx = b - a \quad (5)$$

Um valor definido da coordenada, para uma partícula no estado dado pela Eq. (2), não é previsível, mas pode ser obtido apenas por uma medição direta. Tal medição, no entanto, perturba a partícula e, assim, altera seu estado. [...] A conclusão usual disso é que, na mecânica quântica, *quando o momento da partícula é conhecido, sua coordenada não tem realidade física* (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 778, *grifos do autor*, tradução nossa)⁶.

6 A definite value of the coordinate, for a particle in the state given by Eq. (2), is thus not predictable, but may be obtained only by a direct measurement. Such

Einstein, Podolsky e Rosen ponderam que, para a Mecânica Quântica, quando duas grandezas não comutarem, ambas não podem ter realidades simultâneas. Calcular os dois elementos de realidade a partir de grandezas distintas parece-lhes uma evidência de que houve a possibilidade de descrever estados distintos da partícula a partir de uma única função de onda Ψ .

Reforçando as suas reflexões, Einstein, Podolsky e Rosen descreveram o segundo experimento mental, aquele concernente a dois subsistemas I e II, que interagiram inicialmente entre $t = 0$ e $t = T$. Todos os estados do sistema I + II eram conhecidos em $t = 0$ e, após o tempo de interação, os sistemas parciais foram separados. Depois que os sistemas parciais se separarem, quando $t > T$ os estados combinados de I + II podem ser conhecidos a partir da utilização da função de onda e Schrödinger (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935).

No sentido de se conhecer os estados de outro sistema depois da medição dos estados do primeiro, os autores sinalizaram que isso poderia ser feito a partir de medições suplementares, o que também foi definido como redução do pacote de onda. Em sua análise, tal processo resultou na Equação (6).

Sejam a_1, a_2, a_3, \dots , autovalores da mesma grandeza física A , pertencentes ao sistema I e $u_1(x_1), u_2(x_2), u_3(x_3), \dots$, as autofunções correspondentes, nas quais x_1 representa as variáveis usadas para descrever o primeiro sistema. [...] Suponha agora que a grandeza A seja medida e seja encontrado que tenha o valor a_k . Então, conclui-se que, após a medição, o primeiro sistema é deixado no estado dado pela função

a measurement however disturbs the particle and thus alters its state. After the coordinate is determined, the particle will no longer be in the state given by Eq. (2). The usual conclusion from this in quantum mechanics is that *when the momentum of a particle is known, its coordinate has no physical reality* (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 778).

de onda $u_k(x_1)$, e que o segundo sistema seja deixado no estado dado pela função de onda $\Psi_k(x_2)$. Esse é o processo de redução do pacote de onda (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 779, tradução nossa)⁷.

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \Psi_n(x_2) u_n(x_1) \quad (6)$$

Silva (2021, p. 39) descreveu que “O trio EPR supôs a medição da grandeza B , que tem os autovalores b_1, b_2, b_3, \dots , e as autofunções $v_1(x_1), v_2(x_1), v_3(x_1), \dots, [\dots]$, na qual φ_s representa o conjunto dos novos coeficientes de uma expansão de Ψ ”. “Se, agora, a grandeza B for medida e se encontrarmos o valor b_r , depois da medição, o primeiro sistema é deixado no estado dado por $v_1(x_1)$, e o segundo deixado no estado dado por $\varphi_r(x_2)$ ” (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 779, tradução nossa)⁸.

Desse modo, Einstein, Podolsky e Rosen definiram a Equação (7).

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{s=1}^{\infty} \varphi_s(x_2) v_s(x_1) \quad (7)$$

Como consequência, os resultados anteriores, segundo Einstein, Podolsky e Rosen, afirmam a possibilidade de se

7 Let a_1, a_2, a_3, \dots be the eigenvalues of some physical quantity A pertaining to system I and $u_1(x_1), u_2(x_1), u_3(x_1), \dots$ the corresponding eigenfunctions, where x_1 stands for the variables used to describe the first system. [...] Suppose now that the quantity A is measured and it is found that it has the value a_k . It is then concluded that after the measurement the first system is left in the state given by the wave function $u_k(x_1)$, and that the second system is left in the state given by the wave function $\Psi_k(x_2)$. This is the process of reduction of the wave packet (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 779).

8 [...] If now the quantity B is measured and is found to have the value b_r , we conclude that after the measurement the first system is left in the state given by $v_1(x_1)$ and the second system is left in the state given by $\varphi_r(x_2)$ (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935, p. 779).

calcular estados diferentes para uma mesma função de onda. Sendo assim, os autores os apontaram como contradição às previsões da Mecânica Quântica, uma vez que, quando grandezas ou operadores que não comutarem entre si, o conhecimento de um dos estados do sistema impossibilita o conhecimento do outro. O Quadro 1 apresenta as equações que afirmam a não comutatividade das grandezas P e Q .

Quadro 1 – Equações que descrevem um sistema de duas partículas

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{(2\pi i/h)(x_1 - x_2 + x_0)p} dp \quad (8)$$

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_p(x_2)(u_p)(x_1) dp \quad (9)$$

$$\Psi_p(x_2) = e^{-(2\pi i/h)(x_2 - x_0)p} \quad (10)$$

$$v_x(x_1) = \delta(x_1 - x) \quad (11)$$

$$P = (h/2\pi i)\partial/\partial x_2 \quad (12)$$

$$Q = x_2 \quad (13)$$

$$PQ - QP = h/2\pi i \quad (14)$$

Fonte: Silva (2021).

Diante disso, quais foram as consequências das conclusões de Einstein, Podolsky e Rosen para a Teoria Quântica de então e a posterior? Brassard e Méthod (2006) analisaram o artigo dos autores a partir de duas partes: a linguagem lógica (primeira proposição, segunda proposição e tautologia) e o *Spukhafte Fernwirkungen* (efeitos remotos assustadores), apontadas como inconsistências da argumentação empreendida.

Definição 1 (Completeness). *Todo elemento de realidade física deve ter uma contrapartida na teoria física.*

[...]

Definição 2 (Realidade física). Se, sem perturbar de alguma maneira um sistema, pudermos prever com certeza o valor de uma grandeza física (isto é, com probabilidade igual à unidade), então existe um elemento de realidade física correspondente a essa grandeza.

[...]

Afirmção A. A descrição da mecânica quântica da realidade não é completa.

Afirmção B. Operadores não-comutativos não podem ter realidades simultâneas.

[...]

(a) *ou (1) a descrição da mecânica quântica da realidade, dada pela função de onda, não é completa ou (2) quando os operadores, correspondentes às duas grandezas físicas, não comutarem as duas grandezas não podem ter realidades simultâneas.*

(b) *Na mecânica quântica geralmente se assume que a função de onda contém uma descrição completa da realidade do sistema, no estado para o qual corresponde. [...] Vamos mostrar, no entanto, que essa suposição, junta com o critério de realidade dado acima, leva a uma contradição.*

[...]

(c) *Começando, então, pela suposição de que a função de onda dá uma descrição completa da realidade física, chegamos à conclusão que as grandezas físicas, com operadores não-comutativos, podem ter realidades simultâneas. [...] Somos, assim, forçados a concluir que a descrição da mecânica da realidade física, dada pelas funções de onda, não é completa* (Brassard; Méthod, 2006, p. 4-5, grifos do autor, tradução nossa)⁹.

⁹ **Definition 1** (Completeness). *Every element of the physical reality must have a counterpart in the physical theory. [...] Definition 2* (Physical reality). *If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability*

Silva (2021) sintetizou as regras caracterizadas por Brassard e Méthod (2006), apontando os seus sentidos matemáticos, como demonstrado a seguir:

Nas citações (a), (b) e (c), os autores analisaram as afirmações A e B . De acordo com a Linguagem Lógica, (a) corresponde a $A \oplus B$ (1), ou seja, ou A ou B é verdadeiro, e não, ambos; (b) corresponde a $\neg A \wedge B \Rightarrow \text{falsidade}$, $\neg A \Rightarrow \neg B$ (2), ou seja, a falsidade de A ou de B produz uma falsidade mútua; (c) corresponde à tautologia lógica $(1) \wedge (2) \Rightarrow A$, ou $(A \oplus B) \wedge (\neg A \Rightarrow \neg B) \Rightarrow A$ (3) (Silva, 2021, p. 59, grifos do autor).

O

A partir das relações lógicas apresentadas por Brassard e Méthod (2006), a veracidade da afirmação A implica na falsidade da afirmação B , pois Einstein, Podolsky e Rosen concluíram que existem realidades simultâneas, mesmo quando os operadores de um sistema atômico não comutam entre si. Sendo assim, a argumentação construída por Einstein, Podolsky e Rosen trata-se de

*equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity. **Statement A.** Quantum mechanical description of reality is not complete. **Statement B.** Non-commuting operators cannot have simultaneous reality. (a) either (1) the quantum-mechanical description of reality given by the wave function is not complete or (2) when operators corresponding to two physical quantities do not commute the two quantities cannot have simultaneous reality. (b) In quantum mechanics it is usually assumed that the wave function does contain a complete description of the physical reality of the system in the state to which it corresponds. [...] We shall show, however, that this assumption, together with the criterion of reality given above, leads to a contradiction. [...] (c) Starting then with the assumption that the wave Function does give a complete description of the physical reality, we arrived at the conclusion that two physical quantities, with noncommuting operators, can have simultaneous reality. [...] We are thus forced to conclude that the quantummechanical description of physical reality given by wave functions is not complete (Brassard; Méthod, 2006, p. 4-5).*

um raciocínio tautológico, pois resulta no objetivo pretendido por eles, ou seja, a afirmação da incompletude da Mecânica Quântica.

Como podemos ver em Lehner (2011), apesar do emblema de determinista ou realista epistemológico tradicional, o posicionamento de Einstein sempre se voltou aos elementos de realidade num aspecto metodológico, ou seja, concernente à estrutura interna da Ciência e à escolha do seu aparato metodológico.

[...] Fine (1986, p. 86-111) vê o realismo de Einstein em um conjunto de requisitos para uma teoria fundamental satisfatória: a teoria deve falar sobre objetos independentes de observação, deve representá-los em um quadro espaço-temporal, deve consistir de leis deterministas (Lehner, 2011, p. 187).

Em resposta a uma carta de Schrödinger, Einstein expressou a sua compreensão da realidade e dos limites da Física ao descrevê-la. “A real situação repousa sobre o fato de que a física é um tipo de ‘metafísica’. [...] A Física descreve a ‘realidade’, mas nós não sabemos o que é a ‘realidade’, pois apenas a conhecemos através da descrição física” (Mehra; Rechenberg, 2001, p. 740, tradução nossa).

Acerca do *Spukhafte Fernwirkungen*, dos aparentes efeitos à distância dos fenômenos atômicos, Brassard e Méthod (2006) afirmaram que a medição de um dos estados influenciaria o resultado do outro, pois os estados estariam misturados, o que era inconcebível para Einstein, que aceitava, apenas, estados puros (Cf. Alford, 2015).

Podemos, então, calcular com a ajuda da equação de Schrödinger o estado do sistema combinado [...]. Não podemos, no entanto, calcular o estado em que um dos dois sistemas é deixado depois da interação. Isso pode ser feito, de acordo com a mecânica quântica,

apenas com a ajuda de medições adicionais, por um processo conhecido como *redução do pacote de onda* completa (Brassard; Méthod, 2006, p. 9, grifos do autor, tradução nossa)¹⁰.

A redução de estado, ou colapso da função de onda, sugeria a Einstein e aos seus apoiadores, que havia a transferência de comunicação a uma taxa superior à da velocidade da luz. Tal comportamento, caso factível, violaria e, mais que isso, ameaçaria o princípio basilar da Relatividade Restrita, que admite a luz como o ente mais veloz da natureza.

Consequentemente, além da presença de uma argumentação tautológica, reconhecemos motivações pessoais que levaram os autores a concluir que a Mecânica Quântica era incompleta. Entretanto, apesar dos esforços para a afirmação da incompletude, esse debate foi importante para a reflexão da natureza quântica de sistemas atômicos, permitindo-nos a reconhecer efeitos à distância distintos daqueles delimitados pelas teorias de campo.

2.2 Bohr respondeu às conclusões de EPR: delimitação científica ou regras linguísticas?

Será que a Teoria Quântica criticada por Einstein, Podolsky e Rosen era incompleta e incapaz de prever os estados de sistemas atômicos ou a própria natureza limita o nosso conhecimento integral das grandezas observadas? Alguns meses após a publicação de Einstein, Podolsky e Rosen, Bohr empreendeu a sua defesa da Teoria Quântica atual, explorando o conceito de

¹⁰ We can then calculate with the help of Schrödinger's equation the state of the combined system [...]. We cannot, however, calculate the state in which either one of the two systems is left after the interaction. This, according to quantum mechanics, can be done only with the help of further measurements, by a process know (sic) as the *reduction of the wave packet* (Brassard; Méthod, 2006, p. 9).

complementaridade e o comportamento de grandezas correlacionadas quando são medidas ou observadas.

Assim como Einstein, Podolsky e Rosen, Bohr também elaborou a sua argumentação a partir de experimentos mentais. Ele fez referência ao critério de realidade que tem sentido, quando qualquer sistema não seja perturbado em processos de observação ou medição. Em sua argumentação, Bohr retomou o critério, explorando as singularidades de cada configuração experimental e a impossibilidade de não se perturbar um sistema num processo de medição.

Bohr elaborou dois experimentos mentais, com uma partícula passando através de fendas de um aparato e sendo detectada numa placa fotográfica. Para a medição de momento e posição, o autor sugeriu duas configurações distintas para o aparato. Sendo assim, ele sugere a distinção necessária para a medição de grandezas distintas e a impossibilidade de conhecimento simultâneo de ambas. “[...] Esses arranjos experimentais são compostos de diafragmas e outras partes como diafragmas com fendas paralelas às do primeiro diafragma (Silva, 2021, p. 43)”.

Para descrever medições de momento e deslocamento de uma partícula, Bohr sugeriu dois tipos de arranjos experimentais. O primeiro é idealizado para que se possa medir a posição, e o segundo é adequado para medir o momento. Esses arranjos experimentais são compostos de diafragmas e outras partes como diafragmas com fendas paralelas às do primeiro diafragma (Silva, 2021, p. 43).

Inicialmente, antes de a partícula ter interagido com o aparato experimental, o seu momento é completamente conhecido. Para conhecer o momento final ou a posição final, há escolhas livres para a configuração do aparato. Se quisermos conhecer a posição na placa fotográfica da partícula, o aparato deve ser configurado rigidamente; por outro lado, se quisermos conhecer seu o

momento depois da interação com o aparato, deve-se configurar o equipamento experimental, de maneira que haja algum movimento no instante de interação.

Como Bohr afirmou, essas escolhas resultam, naturalmente, em incertezas sobre o conhecimento de ambas as grandezas da partícula. Física e matematicamente, esse comportamento é explicado a partir das relações de incerteza de De Broglie (Equação 15) e das regras de comutação explicadas pelo princípio de Heisenberg.

$$\Delta p \Delta q \sim h \quad (15)$$

[...] Mesmo que o momento dessa partícula seja completamente conhecido antes que colida no diafragma, a difração pela fenda da onda plana, dando a representação simbólica de seu estado, implicará uma incerteza no momento da partícula, depois de ter passado pelo diafragma, quanto mais estreita for a fenda. Agora, a largura da fenda, se de alguma forma ainda for grande, comparada ao comprimento de onda, pode ser tomada como a incerteza da posição da partícula ao diafragma, em uma direção perpendicular ao diafragma, em uma direção perpendicular à fenda. Além disso, simplesmente é visto da relação de De Broglie, entre momento e comprimento de onda, que a incerteza do momento da partícula nessa direção está correlacionada à por meio do princípio geral de Heisenberg (Bohr, 1935, p. 697, tradução nossa)¹¹.

11 [...] Even if the momentum of this particle is completely known before it impinges on the diaphragm, the diffraction by the slit of the plane wave giving the symbolic representation of its state will imply an uncertainty in the momentum of the particle, after it has passed the diaphragm, which is the greater the narrower the slit. Now the width of the slit, at any rate if it is still large compared

Partindo da primeira configuração experimental, Bohr elaborou a sua explicação do que acontece com a partícula e o aparato na medição de sua posição. Para essa finalidade, o aparato deve ter todas as suas partes rigidamente conectadas, para que não haja reação quando houver troca de momento entre a partícula e qualquer uma das partes. O momento transferido é distribuído para o suporte comum e não produz reações consideráveis no aparato, permitindo ao experimentador determinar a posição final da partícula.

Já para a segunda configuração, Bohr idealizou um aparato preparado para exibir algum movimento quando há transferência de momento. Quando a partícula passa através das fendas e troca momento com o aparato, é possível observar a quantidade final de momento que a partícula possui.

Bohr afirmou que cada uma das configurações foi idealizada para a medição de uma grandeza em particular. Quando se pretende medir a posição final da partícula, é preciso elaborar uma configuração rígida das partes, impossibilitando o conhecimento do momento final e, para se conhecer a quantidade de movimento final, é preciso elaborar uma configuração sem restrições de movimento, impossibilitando o conhecimento da posição final. Ele defendeu que não se trata de limitações da teoria, mas se trata das limitações impostas pela própria natureza.

[...] A impossibilidade de uma análise mais atenta das reações entre a partícula e o instrumento de medição não é, de fato, nenhuma peculiaridade do procedimento experimental descrito, mas é, pelo contrário, uma

with the wave-length, may be taken as the uncertainty of the position of the particle relative to the diaphragm, in a direction perpendicular to the slit. Moreover, it is simply seen from de Broglie's relation between momentum and wave-length that the uncertainty of the momentum of the particle in this direction is correlated to by means of Heisenberg's general principle (Bohr, 1935, p. 697).

propriedade essencial de qualquer arranjo adequado ao estudo do fenômeno do tipo em questão, para o qual temos que fazer com uma característica de *individualidade* completamente estranha à física clássica (Bohr, 1935, p. 697, grifos do autor, tradução nossa)¹².

Apesar de qualquer crítica sobre incompletude da Teoria Quântica, Bohr empreendeu a sua argumentação, seguindo os conceitos de localização espacial e o teorema da conservação de momento da Teoria Clássica. No entanto, o desconhecimento de uma ou outra grandeza reside na incapacidade de controlar, precisamente, as interações entre a partícula e o aparato. Nesse sentido, o critério de realidade expresso por Einstein, Podolsky e Rosen não se sustenta, pois como afirmou Bohr, o próprio ato de experimentar acaba perturbando o sistema sob investigação.

[...] a *interação finita entre objeto e aparatos de medição*, condicionada pela própria existência do quantum de ação, implica – por causa da impossibilidade de controlar a reação do objeto nos instrumentos de medição, caso sirvam à sua finalidade – a necessidade de uma renúncia final do ideal clássico de causalidade e uma revisão radical da nossa atitude em relação ao problema da realidade física (Bohr, 1935, p. 697, grifos do autor, tradução nossa)¹³.

12 [...] The impossibility of a closer analysis of the reactions between the particle and the measuring instrument is indeed no peculiarity of the experimental procedure described, but is rather an essential property of any arrangement suited to the study of the phenomena of the type concerned, where we have to do with a feature of *individuality* completely foreign to classical physics (BOHR, 1935, p. 697).

13 [...] the *finite interaction between object and measuring agencies* conditioned by the very existence of the quantum of action entails – because of the impossibility of controlling the reaction of the object on the measuring instruments if these are

Sobre a completude apresentada por Einstein, Podolsky e Rosen, Bohr (1935) afirmou que se tratava de uma completude matemática a partir de teoremas de transformação de coordenadas.

As deduções contidas no artigo citado podem [...] ser consideradas como uma consequência imediata dos teoremas de transformação da mecânica quântica que talvez [...] contribua para assegurar a completude matemática e sua correspondência racional com a mecânica clássica (Bohr, 1935, p. 696, tradução nossa)¹⁴.

Para explicar a impossibilidade de conhecimento simultâneo das grandezas, Bohr firmou o conceito de complementaridade. Quando duas grandezas estão correlacionadas, ou emaranhadas, o conhecimento de uma exclui o conhecimento da outra. Esse é o significado dado a grandezas complementares. Assim como acontece entre a posição e o momento da partícula, se fossem utilizados relógios para os processos, esses instrumentos poderiam ser imprecisos e assíncronos, uma vez que a transferência de energia para eles implicaria em funcionamentos desiguais para cada um.

Bohr fez uma provocação sobre os desenvolvimentos da Teoria Geral da Relatividade (TGR) que também precisou definir grandezas de maneira não usual, como o tempo e o espaço. Na TGR, o espaço-tempo não pode ser definido como classicamente era, mas são concebidos de modo relativo. Do mesmo modo que

to serve their purpose – the necessity of a final renunciation of the classical ideal of causality and a radical revision of our attitude towards the problem of physical reality (Bohr, 1935, p. 697).

14 The deductions contained in the article cited may [...] be considered as an immediate consequence of the transformation theorems of quantum mechanics, which perhaps [...] contribute to secure its mathematical completeness and its rational correspondence with classical mechanics.

Einstein defendia um espaço-tempo a partir de paradigmas epistemológicos não usuais, a Teoria Quântica também faz com as grandezas envolvidas nos fenômenos atômicos. Bohr argumentou que essa distinção pode não ser tão necessária para a Teoria Clássica, mas que, para a Teoria Quântica, ela é essencial.

E como a argumentação de Bohr foi recebida pela comunidade científica de então? Em que extensão seus argumentos a convenceu? Para a grande maioria dos cientistas da época, a defesa de Bohr não foi além de regras linguísticas complexas e, além disso, faltava o formalismo físico-matemático. Esse foi um dos fatores que contribuiu para o crédito ao empreendimento de Bohr em sua defesa da Teoria Quântica.

Os princípios de Bohr fornecem, em última análise, apenas regras linguísticas de restrição, para o uso de um conjunto de conceitos físicos “convencionais” (i.e. clássicos) de uma forma que evita a inconsistência. Para Bohr, os problemas de linguagem na física eram, aparentemente, mais significativos do que as questões em relação aos contornos da realidade objetiva. Petersen recorda a seguinte declaração de Bohr: “Não há um mundo quântico. Há apenas uma descrição mecânica quântica abstrata. É errado pensar que a tarefa da física é descobrir como *é* a natureza. A física trata do que podemos dizer sobre a natureza (Brown, 1981, p. 76, *grifos do autor*)”.

Além das complicadas regras linguísticas apresentadas por Bohr, outro fator foi relevante para a baixa adesão à sua argumentação. Para Brassard e Méthod (2006), foi a não abordagem da questão central de Einstein, Podolsky e Rosen: a realidade física das grandezas observadas. Outrossim, a resistência à aceitação do posicionamento de Bohr, porque grande parte da comunidade científica entendeu que ele expressava um tipo de subjetivismo,

pois acreditava que a consciência humana influenciava os estados dos sistemas atômicos.

Para Bohr, a função de onda não tinha um sentido real, mas expressava o significado da realidade e era um instrumento para se descrever os sistemas atômicos. A sua compreensão desses artifícios físicos e matemáticos deviam ser compreendidos a partir dos seus sentidos instrumentais, conferindo-lhe um *status* de instrumentalista.

3 Como esse debate pode contribuir para o ensino de Física?

A partir da reconstrução do episódio do Paradoxo EPR, podemos reconhecer várias possibilidades de discussão no Ensino de Física. Além dos conceitos próprios do campo da Teoria Quântica, é possível explorar aspectos da Natureza da Ciência, bem como a atuação individual e coletiva dos participantes do momento histórico. Com isso, vislumbramos a abordagem dos aspectos conceituais basilares da teoria, assim como dos interesses individuais, coerência da argumentação, êxitos e fracassos.

Dentre os aspectos conceituais, o professor de Física pode discutir os significados da complementaridade, do princípio de incerteza inerentes às medições e observações, do Paradoxo EPR que diz respeito à ação à distância e que se difere daquela das teorias de campo e do emaranhamento quântico. Esses conceitos são imprescindíveis para se compreender a natureza epistemológica da descrição dos fenômenos atômicos dada pela Teoria Quântica. Nesse sentido, pode-se vislumbrar a distinção a ser feita entre a Teoria Clássica e a Teoria Quântica, que, em sua grande maioria, são irreconciliáveis.

A partir da exploração desse episódio, o professor é capaz de debater as imagens da Ciência e dos cientistas. Nele, conseguimos enxergar um Einstein movidos tanto por interesses científicos quanto por interesses individuais. O professor de Física tem a oportunidade de discutir as falhas da argumentação de Einstein,

Podolsky e Rosen, no que diz respeito à retórica da sua defesa da incompletude. Ademais, é possível caracterizar os interesses pessoais de Einstein nesse momento, qual seja, a defesa da validade da TGR, uma vez que ele via como uma ameaça a possibilidade de haver ação à distância, considerando-a dentro de paradigmas da Teoria Clássica.

Além dos pontos apresentados acima, o professor tem a oportunidade de problematizar os mitos (Cf. Allchin, 2002; 2004). O nome de Einstein é amplamente conhecido, mesmo não se conhecendo o seu trabalho, mas ele é sempre associado ao gênio inigualável. O episódio do Paradoxo EPR é um exemplo de que, mesmo personalidades aclamadas por seus feitos, cientistas também cometem erros, o que é natural de qualquer ser humano.

Conseqüentemente, deve-se trabalhar esse episódio em sala de aula, o professor pode problematizar imagens distorcidas ou deformadas da Ciência (Cf. Gil-Pérez *et al.*, 2001 para uma caracterização de visões deformadas do trabalho científico), aquelas que apresentam os cientistas como seres dotados de um dom natural, que trabalham numa ciência isolada dos contextos históricos, culturais, sociais, políticos, econômicos, que cientistas são pessoas reclusas e vivem em seus laboratórios, que os cientistas são desapegados de questões pessoais e que as suas ações são neutras, dentre outros aspectos.

4 O que nos trouxe até aqui: caminhos metodológicos trilhados para o presente artigo

Para a reconstrução histórica do episódio, foram utilizados os artigos originais de Einstein, Podolsky e Rosen (1935) e Bohr (1935). Esse tipo de artigo é, por vezes, classificado como literatura primária, uma vez que é produzido pelos investigadores sobre os quais o episódio se relaciona. Para discutir o teor das publicações de Einstein, Podolsky e Rosen (1935) e Bohr (1935),

foram utilizados artigos contemporâneos de seus comentadores, comumente chamados de literatura secundária, uma vez que possuem uma essência meta-científica.

A respeito das contribuições do episódio do Paradoxo EPR, partimos das considerações apresentadas em Silva (2021), pois o presente artigo é um recorte de sua pesquisa de mestrado realizada no Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e defendida em 2021.

5 Conclusão

Diante do objetivo proposto para este artigo, concluímos que a reconstrução histórica de episódios da Física é um trabalho que nos possibilita enxergar os acontecimentos com mais criticidade. É uma oportunidade para nos debruçarmos sobre eles sem um olhar apenas de contemplação, mas com um olhar criterioso e científico. A falta de conhecimento adequado da História da Física nos coloca numa posição acrítica e mítica, o que reforça imagens distorcidas e equivocadas dos fatos, obscurecendo o que deveríamos enxergar sobre o conhecimento científico e sobre os seus produtores.

Tornar episódios como esse acessíveis significa oportunizar conhecimentos científicos confiáveis aos professores de Física e, sobretudo, aos estudantes que devem ser orientados em seu processo de aprendizagem. A partir desses debates, esses estudantes podem enxergar a Ciência como um processo humano, localizado num momento histórico, num contexto social, político e econômico. Dessa forma, eles mesmos, além de enxergarem a Ciência a partir dessas nuances, podem enxergar a Ciência, enquanto bem da humanidade, assim como podem vislumbrar carreiras científicas para si.

Referências

- ALFORD, Mark G. Ghostly action at a distance: a non-technical explanation of the Bell inequality. **Physics Department, Washington University**, Saint Louis, June 6, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1506.02179>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science and Education**, Minneapolis/MN, n. 13, p. 179-195. 2004.
- ALLCHIN, Douglas. Scientific Myth-conceptions. **Issues and Trends**, Minneapolis/MN, p. 229-351. 2002.
- BALSAS, Álvaro. Interpretação ortodoxa da Mecânica Quântica. *In*: BALSAS, Álvaro. **Realismo e localidade em Mecânica Quântica**. 21. ed. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 472.
- BOHR, Niels. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? **Physical Review**, Institute for Theoretical Physics, University of Copenhagen, v. 48, p. 696-702, 1935.
- BRASSARD, Gilles; MÉTHOT, André Allan. Can quantum-mechanical description of reality be considered incomplete? **International Journal of Quantum Information**, Montreal, v. 4, n. 1, p. 45-54, dez. 2006. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0701001v1>. Acesso em: 28 de maio de 2019.
- BRICMONT, Jean. What did Bell really prove? *In*: Quantum Theory without observers III ZIF, 3., 2013, Bielefeld. **Anais [...]** Bielefeld: Université catholique de Louvain, 2013.

BROWN, Harvey R. O debate Einstein-Bohr sobre a Mecânica Quântica. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas/SP, v. 2, p. 51-89. 1981.

EINSTEIN, Albert; PODOLSKY, Boris; ROSEN, Nathan. Can Quantum-Mechanical description of Physical reality be considered complete? **Physical Review**, Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey, v. 47, p. 777-780, 1935.

GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍZ, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, São Paulo, n. 2, v. 7, p. 125-154, 2001.

GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. Schrödinger's Cat. *In*: GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. **The Quantum Challenge**: modern research on the foundations of Quantum Mechanics. London, UK: Jones and Bartlett Publishers, 1997, p. 157-179.

GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. The EPR Paradox and Bell's Theorem. *In*: GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. **The Quantum Challenge**: modern research on the foundations of Quantum Mechanics. London, UK: Jones and Bartlett Publishers, 1997, p. 105-130.

LEHNER, Christoph. O realismo de Einstein e sua crítica da Mecânica Quântica. *In*: FREIRE JR., Olival; PESSOA JR., Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa (org.). **Teoria Quântica**: estudos históricos e implicações culturais. Campina Grande: EDUEPB, 2011, p. 181-228.

LENHARO, Alcir. Introdução. *In*: LENHARO, Alcir. **Nazismo: o triunfo da vontade**. São Paulo: Editora Ática, 2003, p. 7-16.

MEHRA, Jagdish; RECHENBERG, Helmut. The debate on the completeness of Quantum Mechanics and its description of reality (1931-1936). *In*: MEHRA, Jagdish; RECHENBERG, Helmut. **The Historical Development of Quantum Mechanics**. New York: Springer, 2001, p. 713-759.

SILVA, Francisco Daniel de Pontes. **Paradoxo EPR e pseudo-história: análise de livros de Física Moderna e Contemporânea**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021.

ZEILINGER, Anton. Novos experimentos, novas incertezas, novas questões. *In*: ZEILINGER, Anton. **A face oculta da natureza: o novo mundo da Física Quântica**. São Paulo: Editora Globo, 2005, p. 57-129.

3



LEI DE INÉRCIA COMO DIVISOR DE ÁGUAS NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA OCIDENTAL: UMA POSSÍVEL ARGUMENTAÇÃO¹

Michael Patrick Costa de Lucena²
Maria Amélia Monteiro³
Jenner Barretto Bastos Filho⁴

1 Introdução

Em um de seus escritos, Koyré (1966) argumentou que, a despeito da Lei de Inércia parecer algo evidente para alguém já familiarizado com a ciência newtoniana, essa evidência,

1 Agradecemos ao nosso colega Prof. Dr. Marcos Barros da UEPB, pelo honroso convite para escrever o presente ensaio. Agradecemos também à nossa colega Profa. Dra. Diana R. Guimarães Farias, tanto pela revisão quanto pelas judiciosas sugestões que melhoraram, substancialmente, o texto.

2 Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas. E-mail: michael3172@gmail.com

3 Universidade Federal da Grande Dourados – MS, FACET – Ensino de Física. E-mail: mariamonteiro@ufgd.edu.br

4 Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas-IF/UFAL. E-mail: jenner@fis.ufal.br

ou melhor, essa aparente evidência tem apenas três séculos. Como ele escreveu isso no século XX e já estamos na primeira metade do século XXI, então, podemos tranquilamente afirmar, ao procedermos a uma atualização meramente cronológica, que essa evidência (ou “evidência” e até mesmo independentemente de aspas), aproximadamente, é de apenas quatro séculos. No entanto, se são três séculos, três séculos e meio ou quatro séculos, pouca diferença faz para a nossa argumentação aqui. De fato, o que podemos afirmar é que constituem um período curto na história humana de vários milênios. Deste modo, para fixar as ideias e enfatizar a importância dessa asserção de Koyré (1966), podemos dizer que a cultura grega na sua plenitude não conhecia algo como a Lei de Inércia e que a tentativa de encontrar o porquê disso é assunto muitíssimo relevante.

Sob essa perspectiva, elaboramos alguns questionamentos: Quais foram, pois, os obstáculos com os quais os gregos se depararam, a ponto de não conseguirem superá-los e, enfim, poderem estar em condições de formular a Lei de Inércia? E para não nos restringirmos a um eurocentrismo *stricto sensu*, poderíamos ainda perguntar sobre as razões para, tanto quanto saibamos, a formulação precisa de a Lei de Inércia não ter emergido em outro contexto cultural, ou seja, em um contexto não eurocêntrico. Até que ponto isso seria verdadeiro?

Piaget e Garcia (2011) exploram, à luz dos estudos de Needham, um paralelo entre a cultura grega e a cultura chinesa e encontram um pensador chinês do século V a.C. que expressa a ideia, cujo espírito converge, pelo menos à primeira vista, para uma concepção de inércia: “Se não há força oposta, o movimento nunca para”. E em continuidade: “E isso é tão evidente quanto uma vaca não ser um cavalo”. A propósito, Piaget e Garcia (2011) perguntam:

A que se deve o fato de uma afirmação absurda para os gregos ser uma evidência para os chineses? Em nossa opinião, encontramos aqui

uma das raízes da relação entre ciência e ideologia. Pensamos igualmente que a resposta a essa questão esclarece um dos mecanismos epistemológicos pelo qual a ideologia de uma sociedade condiciona o tipo de ciência que nela se desenvolve (Piaget e Garcia, 2011, p. 342).

Embora a ideia de inércia *lato sensu* se manifeste de alguma maneira no pensamento desse chinês do século V a.C., devemos asseverar que não é claro o que significa **força** para o aludido chinês; certamente, **não é a força newtoniana**. De qualquer maneira, analisar a questão, à luz do par dialético complexidade/simplicidade, é de grande relevância.

Em conformidade com o plano que adotamos para o presente trabalho, procederemos, a seguir, com uma narrativa didático-pedagógica como uma possibilidade para articular o processo de compreensão da Lei de Inércia e de seus obstáculos para o pensamento grego.

Optamos, aqui, por começar a discussão com uma narrativa que chamamos também de **didático-pedagógica**; alternativamente, podemos também chamá-la de uma **reconstrução racional com viés epistemológico**. Para a facilitação dos argumentos que temos a intenção de articulá-los, lançaremos mão de uma gama de conceitos cuja conexão pretendemos proceder, com base em Costa de Lucena (2019).

2 Os argumentos de Galileu

A partir de seus famosos experimentos reais ou experimentos pensados (vale ressaltar a existência de controvérsias que aqui não consideraremos), Galileu (1564-1642) argumentou que planos inclinados descendentes são causa de aceleração, enquanto planos inclinados ascendentes são causa de desaceleração. Por conseguinte, um plano que não seja nem descendente nem ascendente

não seria causa nem de aceleração nem de desaceleração e, portanto, seria o caso de persistência. Esse seria o plano horizontal, no qual o corpo persistiria com o seu movimento *ad infinitum* em linha reta com velocidade constante.

Poder-se-ia considerar, assim como fazem vários livros, que aí estaria formulada a Lei de Inércia, mas o próprio Galileu, presentindo a grande dificuldade teórica de tratar a lei enquanto princípio universal, contemplará outros elementos. Galileu presente que, se fôssemos além de uma formulação válida em nível meramente local e passássemos para uma formulação que se constituísse em princípio geral, então ele se depararia com enorme dificuldade, na medida em que a persistência do movimento em linha reta, quando pensada para além de um movimento meramente local, implicaria em uma subida do corpo pela tangente à superfície da Terra, o que contradiria, flagrantemente, a lei da queda livre, à qual estão sujeitos todos os graves.

Isso levou Galileu a tecer considerações sobre a natureza do que seria esse plano horizontal. Este é tão somente o plano horizontal da geometria de Euclides, se nos ativermos ao nível local. A única alternativa para escapar da contradição com a sua lei da queda livre seria a de assumir que o plano horizontal, o qual, na aproximação local, é o plano da geometria euclidiana, aqui, nada mais seria que o plano da superfície da Terra que é esférica e, assim, a persistência do movimento se daria em um plano que não se aproximasse nem se afastasse do centro da Terra. Introduce Galileu, nesse ponto, uma espécie de inércia circular, profundamente problemática, como veremos a seguir.

3 Argumentos de Descartes e confrontação com Galileu

Descartes (1596-1650) mostrou que o movimento circular não pode persistir, pois, para tal movimento, é requerida uma *ação* contínua para desviar o corpo do movimento em linha reta. É importante salientar que a demonstração cartesiana não se dá

em termos de conceitos newtonianos. Deste modo, a *ação cartesiana* não é, do ponto de vista histórico, a força newtoniana, nem deve ser confundida com essa. Seria um anacronismo atribuir a Descartes conceitos newtonianos como os de força e de massa. O raciocínio de Descartes reza do seguinte teor: em um movimento circular, hoje diríamos em um movimento circular uniforme, se removermos a ação que é solicitada para o corpo realizar o movimento circular, então, o corpo emerge pela tangente da trajetória circular em linha reta; logo, o movimento circular não pode persistir e, por conseguinte, não pode haver inércia circular.

O raciocínio de Descartes, quando analisado à luz de termos conceituais newtonianos, pode, assim, ser simplificada e exposta: uma pedra amarrada a uma corda que gira em torno da mão de alguém, segundo uma trajetória circular de raio R , tem a seguinte velocidade linear em módulo: $|V| = 2\pi|R|/T$, onde T denota período, ou seja, o tempo requerido para uma rotação completa da pedra na funda em torno da mão de alguém que a faz girar. Tendo em vista que a velocidade é um vetor, diríamos que, apesar de a velocidade linear permanecer constante em módulo, a sua direção varia constantemente ao longo do movimento; logo, o vetor velocidade varia com o tempo e, por conseguinte, há uma aceleração cujo módulo é $|a| = 2\pi|V|/T = [2\pi(2\pi|R|/T)/T] = 4\pi^2|R|/T^2 = |V|^2/R$.

Essa aceleração que age sobre a pedra amarrada a uma corda é dirigida para o centro. Deste modo, ela é chamada de aceleração centrípeta ou central. Se introduzirmos o conceito newtoniano de força, então, a força centrípeta, agindo sobre a pedra na funda é $|F| = M|V|^2/R$, onde M denota a sua massa.

Galileu e Descartes, ambos, deram um passo gigantesco. Ambos estabeleceram algo decididamente revolucionário no século XVII, que foi a concepção do movimento *enquanto estado* e, ainda mais, enquanto estado-relação de cunho matemático. Este passo é importantíssimo e precisa ser explorado no contexto do ensino de Física.

Havia uma contradição dilacerante que aqui pode ser assim explicitada: movimento, para os gregos, era algo que mudava. Movimento significava mudança em sentido lato. Por outro lado, estado correspondia a algo que não muda. Como se podia conceber o significado de *estado de movimento*, se a própria expressão *estado de movimento* se referia a coisas mutuamente contraditórias?

4 O confronto entre o pensamento grego e os pensamentos dos modernos Galileu, Descartes e Newton: a dialética processo/estado

Os gregos se referiam a movimento enquanto *processo*. Assim é importante, tanto histórica quanto epistemológica e, ainda, pedagogicamente, ter em mente o *obstáculo epistemológico*⁵ imenso que se constituiu em superar a antiga concepção de *movimento enquanto processo*, para se estabelecer a concepção de *movimento enquanto estado*.

Nesse sentido, a *Lei de Inércia* caminha para ser concebida como intimamente relacionada ao *Princípio da Relatividade de Galileu*, que confere igual estatuto ontológico aos referenciais inerciais, correspondente àqueles que se deslocam em linha reta com velocidades constantes, uns em relação aos outros ou, em outras palavras, a concepção de *igual estatuto ontológico atribuído tanto ao repouso quanto ao movimento*.

Deste modo, estabelece-se um passo de compreensão muito importante que permite conferir autonomia à Lei de Inércia enquanto princípio independente, também implicando a sua relação com o Princípio da Relatividade de Galileu, ao estabelecer igual estatuto para todos os referenciais inerciais do universo, ou seja, para aqueles que se deslocam em linha reta com velocidades constantes uns em relação aos outros. Assim, quando se

5 Para o conceito de *obstáculo epistemológico*, ver Bachelard ([1967] 1996).

assevera que as Leis de Newton valem igualmente para quaisquer referenciais inerciais do universo, então, está implícito que a própria definição de tais referenciais já pressupõe a Lei de Inércia enquanto princípio independente.

Essas considerações, até então trazidas à baila, são suficientes para criticar uma atitude – completamente errônea, tanto histórica quanto epistemológica e, ainda, pedagogicamente – ao insistir que a Lei de Inércia seria um caso particular da segunda lei de Newton, quando o vetor força fosse igual a zero, pois, nesse caso, a solução da equação diferencial correspondente somente seria compatível com movimentos em linha reta com velocidades constantes.

Este reducionismo é falso e, portanto, um ensino de Física ancorado nele tem que ser duramente criticado, pois as pessoas que assim ensinam não se dão conta de que as outras duas leis de Newton (a segunda enquanto definição de força e a terceira que se constitui na lei da ação e reação) pressupõem, necessariamente, o Princípio da Relatividade de Galileu e, intimamente ligado a esse, a Lei de Inércia, que foi uma lei elevada por Newton a Princípio Independente.

Em outras palavras, tudo isso pressupõe a concepção revolucionária de igual estatuto, atribuído a repouso e a movimento, bem como a concepção de movimento, enquanto estado e, ainda mais, enquanto estado-relação de cunho matemático.

5 Em busca da Inércia como lei Universal

A extensão cosmológica da Lei de Inércia enquanto princípio geral e, além disso, enquanto Princípio Universal, será realizada com a teoria gravitacional de Newton que pressupõe, enquanto elemento imprescindível, a constante de interação universal G , sem a qual não se poderia unificar a física de Galileu, válida para movimentos locais próximos à superfície da Terra, com a teoria gravitacional de Newton. De maneira inteiramente análoga, não

poderíamos unificar a astronomia de Kepler, válida para os planetas que giram em torno do Sol, com a teoria gravitacional de Newton. Nesse procedimento, aparecem os vínculos matemáticos que ligam a teoria gravitacional de Newton, tanto à física dos movimentos locais de Galileu quanto à astronomia de Kepler (ver Bastos Filho, 1995; 2018; Lucena & Bastos Filho, 2017 – parte2).

É interessante trazer à baila também a carta escrita por Euler a uma princesa, no dia 3 de setembro de 1760 e intitulada *Sobre o descobrimento da gravitação universal feita por Newton* (ver Euler, 1985, p. 74- 77)⁶. É importante notar que, apesar de ser uma carta belíssima dirigida a uma princesa (não sabemos se ela leu ou caso tenha lido, se entendeu), ela introduz, por ironia, um elemento mistificador que se constituiu na tão criticada lenda da maçã de Newton. A carta está repleta de elementos fatalistas, modernamente muito criticados pelos historiadores da ciência e pelos educadores como, por exemplo, a mensagem, segundo a qual, se Newton não tivesse existido, estaríamos perdidos na ignorância. Este aspecto foi explorado por Lucena & Bastos Filho, 2017 – parte 1 quanto ao obstáculo da mitologia da genialidade.

Quando analisamos a unificação newtoniana, constatamos o caráter de universalidade da constante de gravitação de Newton \mathbf{G} e, com ela, os conceitos de massa gravitacional e massa inercial, bem como o de sua igualdade. Então, somos levados a um vínculo que pode ser expresso por $[\mathbf{g}_i(\mathbf{R}_i)^2 / (\mathbf{M}_i)] = \mathbf{G}$, onde \mathbf{G} denota constante de gravitação universal de Newton; \mathbf{g}_i a aceleração da gravidade local desse i -ésimo corpo; \mathbf{M}_i a massa newtoniana do i -ésimo corpo que se considere e \mathbf{R}_i o raio geométrico desse mesmo i -ésimo astro em consideração. Este vínculo expressa que podemos dar expressão cosmológica a quaisquer movimentos

6 Trata-se da carta datada de 3 de setembro de 1760, enumerada na edição espanhola por nós consultada como carta n. 52 e intitulada “*Sobre el descubrimiento de la gravitación universal hecho por el gran Newton*” (Euler, 1985, pp. 74-77).

locais de Galileu (em queda livre) como ocorrendo, em princípio, nas respectivas superfícies de quaisquer astros que consideremos (Terra, Lua, Júpiter, asteroide, Io, Réia etc.).

Podemos conceber, também, lugares no imenso cosmos, para os quais $\mathbf{g} \approx \mathbf{0}$. Para tais locais, podemos tranquilamente conceber que, se o corpo receber um piparote, deverá acontecer algo como uma persistência do movimento em linha reta. Quaisquer corpos massivos, no sentido newtoniano, estão sujeitos à inércia enquanto dotados de massa e, assim, a Lei de Inércia de Galileu é elevada a Princípio Universal. Sendo assim, a História da Lei de Inércia pode, então, ser considerada como uma construção, na qual nomes como Galileu (1564-1642), Descartes (1596-1650) e Newton (1642-1727) e muitos outros desempenharam importantíssimos papéis.

Aspecto importantíssimo é que a assim chamada primeira Lei de Newton, apesar de se constituir em um Princípio Explicativo independente e autônomo no conjunto das três leis de Newton e de ser base para a ciência da mecânica clássica newtoniana, cuja corroboração empírica é extensiva, sendo o mais monumental exemplo constituído pela própria corroboração empírica da unificação newtoniana é, por mais estranho que pareça ou venha a parecer, uma lei contrafactual. Não porque exista o atrito e outras dissipações para restringir o seu caráter de persistência eterna, mas pela sua própria construção interna.

Ora, rigorosamente, a validade absoluta da Lei de Inércia de Galileu-Descartes-Newton entre outros requer que, no universo, haja apenas um único corpo que se propague em linha reta com velocidade constante em um espaço preexistente, pois, no caso em que haja um outro corpo e a qualquer distância em que se encontre do primeiro, então, há forçosamente uma interação de natureza gravitacional entre os dois corpos, o que impediria o movimento livre de qualquer força newtoniana em linha reta com velocidade constante. Tudo isso mostra que a Lei de Inércia é uma elaboração complexa em que pese a sua aparente simplicidade.

Por fim, diríamos que o estudo aprofundado da Lei de Inércia, bem como de suas múltiplas relações, é base para englobar um enorme leque de conceitos, a saber: de *espaço, tempo, velocidade, aceleração, aceleração centrípeta, massa, força newtoniana, força gravitacional, força decorrente de considerações de uma física inercial, a igualdade entre massa inercial e massa gravitacional, universalidade, unificação entre céu e terra, espaço absoluto, tempo absoluto e interações a distância*. Sabemos, por exemplo, que o espaço absoluto é expressão do conjunto de todos os referenciais de inércia do universo e o tempo absoluto está intimamente ligado às interações instantâneas de Newton.

6 Qual educação científica desejamos?

Pensamos que uma pergunta, tal como a que escolhemos para intitular a presente seção, pode ser respondida de várias maneiras, a depender de muitas circunstâncias, tais como: o Projeto Pedagógico da Escola e do estado ao qual devemos nos ater, a concepção de mundo do professor e/ou da professora que ministre o curso etc. O exemplo da Lei de Inércia pode ser considerado, a nosso ver, um excelente exemplo para tentar responder a essa pergunta.

No intuito de tentar responder a essa pergunta, nos atenhemos ao momento posterior da narrativa didático-pedagógica que aqui foi exposta. Insistimos na questão que julgamos ser um equívoco histórico, epistemológico e didático-pedagógico aquele que se constitui em conceber uma suposta “redução” da Primeira Lei de Newton como um caso particular da Segunda Lei de Newton.

Argumentemos, pois,

Para um movimento de uma massa newtoniana, constante M diferente de zero e sujeita a uma força newtoniana nula, a equação diferencial de movimento equivalente é:

$$M (d^2x/dt^2) = 0$$

Aqui, x denota coordenada espacial e t denota tempo.
A solução geral desta equação diferencial é:

$$x(t) = (vt + c)$$

Aqui, v e c são duas constantes arbitrárias.

Ora, tal solução compreende, em geometria analítica, as infinitas equações das infinitas correspondentes retas que podem ser traçadas no plano xt . Quando escolhemos um dado par de constantes $\{v, c\}$, ou seja, as assim chamadas condições de contorno, então, escolhemos uma dada reta que corresponde ao movimento de nosso caso específico, previamente escolhido.

Ora, de um ponto de vista concebido numa lógica meramente *stricto sensu*, uma tal “redução” parece evidente, mas insistimos no fato de que uma tal “redução” é manifestamente falsa, tanto do ponto de vista histórico quanto do ponto de vista pedagógico e também do ponto de vista didático-pedagógico.

Prossigamos com a nossa argumentação:

Ela é falsa do ponto de vista histórico, pois esconde e escamoteia o complexo processo de elaboração que necessariamente tem a necessidade de superar obstáculos. Ela é falsa, de um ponto de vista epistemológico, pois, ao considerar apenas atalhos drásticos em nome de resultados de chegada, os conceitos não são devidamente considerados constituindo-se, pois, em um déficit cognitivo que atrapalha o desenvolvimento do espírito crítico de estudantes e de professores. Ela é falsa de um ponto de vista didático-pedagógico, pois empobrece a educação científica, exatamente pelas mesmas razões previamente aventadas. Em suma, a narrativa epistemologicamente rica, aqui em tela, não faria sentido em um ensino meramente instrumental e empobrecedor, o que nos leva a argumentar, acertadamente, que um ensino nesses moldes, pleno de “reduccionismos”, deve ser evitado.

Ademais, a racionalidade, no sentido lato do termo, não é domável nem domesticável pela lógica de Aristóteles, se bem que essa última sempre seja desejável como um controle importante. Um exemplo emblemático e retumbante é a poesia. A poesia é expressão da racionalidade humana no sentido lato e, por isso, tem a liberdade de transcender os limites da lógica. Logo, a dimensão racional transcende e transcende, em muito, a mera dimensão lógica.

De forma análoga, a dimensão cronológica, embora seja importante para se fazer história, não é suficiente para implicá-la. Em outras palavras, História requer cronologia, mas cronologia não necessariamente implica história. *Mutatis mutandis*⁷, a ordem lógica não implica na ordem epistemológica, tal como um de nós argumentou em capítulo em homenagem a Roberto Moreira Xavier de Araújo (Bastos Filho, 2017).

Em tempos de reflexões sobre o mais adequado Ensino Médio para os nossos adolescentes, devemos insistir no fato de que nenhum *itinerário formativo* ou *suposto itinerário formativo* deverá ser tão drástico, a ponto de, numa lógica meramente instrumental e neoliberal que persegue lucros, eficiências comerciais e interesses estritos de mercados, seja tal a não permitir a capacidade de pensar, questionar, criticar e especular sobre quaisquer assuntos que sejam, pois tais qualidades são imprescindíveis para uma educação que se deseje genuinamente crítica.

7 Considerações finais

O nosso objetivo precípuo neste estudo foi o de discutir, com proveito pedagógico, um intrigante tema, mediante um exercício

⁷ A expressão latina *Mutatis mutandis* segundo o Dicionário Houaiss da língua portuguesa, Rio de Janeiro: Objetiva, 2009, 1ª edição significa: uma vez efetuadas as necessárias mudanças.

de argumentação, no qual estão envolvidos vários aspectos do par dialético complexidade/simplicidade.

-Em tom de pergunta, eis a questão que formulamos aqui: *A Lei de Inércia e a sua história, ainda que severamente simplificadas, se inscreveriam mais adequadamente em quais dos campos? O da simplicidade? O da complexidade? Ou ainda no campo da entrelaçada dialética simplicidade/complexidade?* Somos mais propensos a responder em prol da terceira alternativa, na medida em que os obstáculos epistemológicos, históricos e metodológicos para a sua conceituação foram muitos e todos eles, a tal ponto, desafiadores que nos permitem, seguramente, afirmar que a sua aparência de simplicidade decorre muito mais de um complexo, duradouro e penoso exercício de construções racionais.

Se a expressão *estado de movimento* comporta em si própria a contradição de reunir a palavra *estado* (aquilo que não muda) com a palavra *movimento* (aquilo que muda) este não é o único obstáculo relevante ao longo do processo. O aspecto contrafactual envolvido não nos impede de asseverar que a Lei de Inércia constitui um fundamento sólido de uma ciência teoricamente sólida, amplamente corroborada, que é a mecânica clássica com desdobramentos profundos nas suas consequentes formulações posteriores, notadamente a lagrangeana e a hamiltoniana e isso para falar o mínimo.

Com a sutileza de um grande historiador e em uma passagem quase poética, Alexandre Koyré (1986) resumiu a penosa construção de uma lei aparentemente simples, assim:

O princípio da inércia não saiu já feito, como Atena da cabeça de Zeus, do pensamento de Descartes ou de Galileu. A formação da nova concepção de movimento – implicando uma nova concepção da realidade física –, de que o princípio da inércia é ao mesmo tempo a expressão e o suporte foi precisada por um

longo e penoso trabalho do espírito (Koyré, p. 203)⁸

Em suma, estamos firmemente convencidos de que a argumentação, enquanto expediente de uma racionalidade, no sentido lato do termo, e que não se domestica com normas que são arbitradas para a educação científica, encontra um vigoroso exemplo nas complexas considerações em torno da Lei de Inércia.

Referências:

BACHELARD, G. **La Formation de l'Esprit Scientifique** (Contribution à une Psychanalyse de la Connaissance Objective). Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 5a edition, Colletion: Bibliothèque des textes philosophiques, 1967 [originalmente publicado em francês em 1934]. Disponível em: https://gastonbachelard.org/wcontent/uploads/2015/07/formation_esprit.pdf.

BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico** (Contribuição para uma Psicanálise do Conhecimento), Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda., tradução de Estela dos Santos Abreu, 1a edição maio de 1996, 5a reimpressão, janeiro de 2005. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/fis2008/Bachelard1996.pdf>.

BASTOS FILHO, Jenner Barretto. A Unificação de Newton da Física de Galileu com a Astronomia de Kepler à Luz da Crítica Popperiana à Indução. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 17, n. 3, p. 233-242, 1995

8 Le principe d'inertie n'est pas sorti tout fait, comme Aténa de la tête de Zeus, de la pensée de Descartes ou de Galilée. La formation de la nouvelle conception du mouvement – impliquant une nouvelle conception de la réalité physique -, dont le principe d'inertie est à la fois l'expression et le support , a été précisée par un long et pénible travail de l'esprit (Koyré, 1966, p. 164-165).

BASTOS FILHO, Jenner Barretto, Reconstruções Racionais de Episódios da História da Ciência sob um Viés Epistemológico: Fundamentação. *In*: CARUSO, Francisco (ORG.) **Roberto, o amigo**: Roberto Moreira e a História e Filosofia da Ciência, São Paulo: Livraria da Física, p. 75-115, 2017

COSTA DE LUCENA, M. P. **Principais Obstáculos à Inserção da História da Ciência e da Filosofia da Ciência no Ensino de Física no Contexto da Educação Básica**. 2019. 92 pág. Dissertação de Mestrado defendida junto ao Programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, MNPEF-Polo 36, Instituto de Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, 2019

COSTA DE LUCENA, M. P.; BASTOS FILHO, J. B. Contribuição para a Inserção da História da Ciência e da Filosofia da Ciência no Ensino de Física no Contexto da Educação Básica-Parte-1, **Anais do IV Encontro Alagoano de Ensino de Ciências e Matemática**, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Educação, ISSN: 2446-7022, Maceió, de 01 a 03 de fevereiro de 2017

COSTA DE LUCENA, M. P.; BASTOS FILHO, J. B. Contribuição para a Inserção da História da Ciência e da Filosofia da Ciência no Ensino de Física no Contexto da Educação Básica-Parte-2, **Anais do IV Encontro Alagoano de Ensino de Ciências e Matemática**, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Educação, ISSN: 2446-7022, Maceió, de 01 a 03 de fevereiro de 2017

EULER, L. Carta a una princesa alemana sobre diversos temas de física y filosofía. *In*: **Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia**. Madrid: Alianza Editorial, 1985

KOYRÉ, A. **Études Galiléennes**, Paris: Hermann, 1966

KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos**, Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1986

NEEDHAN, J. **La Science Chinoise et l'Occident**, Paris, Seuil, 1973

PIAGET, J.; GARCIA, R., **Psicogênese e História da Ciência**, Petrópolis RJ: Vozes, 2011

4



O LEGADO CIENTÍFICO DE MARIE CURIE: DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA REPRESENTATIVIDADE FEMININA NA CIÊNCIA¹

Rejane Maria da Silva Farias²

1 Introdução

Durante nossa trajetória acadêmica, raras são as ocasiões em que temos a oportunidade de discutir as desigualdades entre os cientistas frequentemente reconhecidos como

-
- 1 Recorte da pesquisa de dissertação de mestrado realizada em 2018 no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, sob a orientação do professor Dr. Marcos Antônio Barros Santos.
 - 2 Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Educação Contextos Contemporâneos e Demandas Populares da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB (2018). Especialista em Práticas Pedagógicas Interdisciplinares da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB (2014). Licenciada em Física pela Universidade Estadual da Paraíba UEPB (2010), fariasrejane806@gmail.com.

“pais” de determinadas teorias. Também são escassas as situações que nos fazem refletir sobre o motivo pelo qual as mulheres foram historicamente invisibilizadas. Por que tão poucos nomes femininos se destacam ao longo da história da ciência? Dessa forma, acreditamos que esse tema é relevante para o debate contemporâneo, pois nos ajuda a entender a contribuição das mulheres para a formação e desenvolvimento da ciência e do método científico.

A escolha deste tema para a pesquisa que se apresenta se deve a uma inquietação provocada desde a participação no curso de especialização em Práticas Pedagógicas Interdisciplinares, oferecido pela Universidade Estadual da Paraíba, UEPB, no ano de 2015. Na vivência desse curso, durante uma disciplina ministrada pelo professor Dr. Vitor Macedo, orientador de trabalho de conclusão de curso, discutimos a participação feminina na elaboração e apropriação do conhecimento. Na época, nos propusemos a investigar se as Ciências Exatas e da Natureza constituíam um campo aberto para receber as mulheres. Construímos um trabalho investigativo voltado às reflexões sobre gênero, Ciências Exatas e docência. A partir das percepções de interesses de estudantes do ensino médio pelas carreiras docentes, compomos alguns pressupostos de escolhas profissionais de meninas e meninos para as áreas de Ciências da Natureza. Preocupou-nos, contudo, a partir da análise dos dados, compreender que, ainda na atualidade, os alunos do ensino médio têm dificuldade em optarem por carreiras que envolvam essa área científica. Além disso, sempre nos intrigou não existir números equivalentes de homens e mulheres em todos os ambientes acadêmicos.

No mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática, durante a disciplina de História e Filosofia das Ciências, as discussões geradas em torno desse tema nos levaram a considerar não apenas a presença de mulheres nas Ciências atualmente, mas também como essa realidade se desenrolava em séculos passados. Desta forma, investigar o legado de Marie Curie se apresentou como uma iniciativa extremamente pertinente. Além de entender

como uma mulher conquistou reconhecimento nas pesquisas científicas como especialista em sua área, também pudemos explorar os desafios e as perspectivas enfrentadas por essa cientista no final do século XIX e início do século XX. Por meio da análise do caso de Marie Curie, buscamos, assim, compreender as expectativas e possibilidades para as mulheres daquele período.

Marie Curie nos demonstra, por meio de seu legado científico, que as pesquisas envolvendo elementos radioativos estão, indissociavelmente, ligadas ao seu nome. Embora tenha sido tema de investigação por diversos outros cientistas, o método que ela desenvolveu se destaca como um diferencial crucial para a descoberta dos elementos radioativos, permitindo que ela participasse de reuniões e debates no mais alto nível das ciências francesas. Além disso, Curie se tornou a primeira mulher a receber dois prêmios Nobel, um feito extraordinário em uma época, na qual o acesso à educação para mulheres era bastante limitado. Ela também foi a primeira mulher a lecionar na Sorbonne, instituição onde obteve suas duas graduações e seu doutorado. Portanto, analisar a trajetória desta cientista, que foi mãe de duas filhas, esposa de Pierre Curie e responsável pela descoberta dos elementos radioativos Rádium e Polônio, além de muitos outros destaques, se revela um diferencial.

É fundamental destacar que não cogitamos elaborar uma biografia de Marie Curie, nem considerar seu sucesso acadêmico e científico como algo óbvio. Nossa intenção é examinar os eventos que a cercaram de forma não linear e sem romantizações. O foco será entender de que maneira seu nome emergiu no mundo da ciência, considerando as dificuldades enfrentadas por ser uma mulher em um ambiente predominantemente masculino.

Diante do exposto, a proposta sugerida pela problemática de pesquisa consiste em identificar os desafios e as perspectivas enfrentados por uma mulher, no caso Marie Curie, para integrar a produção do conhecimento científico no final do século XIX e início do século XX. Além disso, busca-se resgatar o legado

que essa cientista construiu ao longo de sua trajetória, destacando as principais dificuldades e oportunidades que as mulheres enfrentavam ao tentar ingressar nas ciências em um ambiente predominantemente masculino. Com isso, objetiva-se, ainda, compreender o contexto histórico, social e político da Europa de 1890 a 1934 e a participação feminina nas sociedades desse período; analisar o perfil de Marie Curie e da nova mulher que surge no período analisado, a partir de documentos históricos, erguendo seu legado científico e buscando compreender o caminho traçado por essa mulher em paralelo com a aceitação social da mulher nessa época e, por fim, analisar a vida e obras de Marie Curie, família Curie e amigos, para buscar suporte que venha evidenciar o trajeto feminino percorrido para reconhecimento do seu nome num universo masculino.

Buscando atingir os objetivos propostos, foi desenvolvida uma pesquisa de abordagem qualitativa com enfoques historiográficos, baseados nas propostas de discussões levantadas pelo orientador do trabalho de dissertação do mestrado, professor Doutor Marcos Barros e das leituras de Roberto Martins, a respeito das investigações em torno dos bastidores da vida e pesquisa de Marie Curie. Para análise dos dados, adotamos o perfil proposto por Roberto Martins sobre o método historiográfico, não nos preocupando em compreender os fenômenos físicos e suas correlações, mas a participação dos cientistas nessas descobertas.

Dessa forma, acreditamos que a pesquisa proporcionou significativas contribuições à visibilidade que as mulheres, indiscutivelmente, merecem nos processos históricos. Além disso, este estudo fornece elementos que corroboram com a percepção de como os acontecimentos sociais ocorreram em função da presença feminina no campo científico. Com isso, compreendemos que foi possível obter um entendimento mais profundo sobre a cientista que desafiou as convenções de sua época e deixou um legado indelével na História.

2 Revisão da Literatura

Os livros e periódicos que embasaram este estudo nos ofereceram a descrição histórica sobre uma cientista em um ambiente predominantemente masculino, possibilitando a elaboração de um texto sistemático e objetivo. A partir do contexto histórico relacionado aos episódios escolhidos, visamos seguir nossa proposta de pesquisa historiográfica, mantendo a fidelidade aos fatos e evitando as interpretações distorcidas, frequentemente encontradas na literatura não especializada.

Associada a essa premissa, buscamos, em Martins (2005), a compreensão necessária do termo historiografia e sua reflexão sobre os acontecimentos históricos, no sentido de não fazer uma mera descrição de uma realidade histórica, mas de agregar, associar ou acrescentar algo novo ao aspecto histórico pesquisado. Assim, ao fazermos a descrição de eventos históricos ligados ao academicismo de Marie Curie, procurando associar esse fato a sua vida pessoal, social, econômica e cultural, estamos sendo fiel ao termo e, ao mesmo tempo, contribuímos para a construção deste imenso campo do conhecimento.

2.1 Livros e periódicos utilizados na descrição historiográfica de Marie Curie

Nesta seção, exploraremos o contexto histórico em que viveu Marie Salomea Sklodowska, renomeada de Marie Curie, destacando-a como exemplo representativo dos desafios e aspirações das mulheres de sua época ao adentrarem o universo científico, domínio esse amplamente comandado por homens. Para isso, realizamos uma revisão bibliográfica, ligando-a aos eventos históricos do final do século XIX e do início do século XX e utilizando as principais fontes históricas disponíveis, que nos ofereceram uma perspectiva diferenciada. Este levantamento nos ajudou a

compreender melhor os episódios da sua vida, tanto como mulher comum quanto como cientista, evidenciando as dificuldades e expectativas que enfrentou antes de se tornar um ícone na pesquisa sobre radioatividade.

Nos cercamos de materiais originais e relevantes sobre a vida e a obra de Marie Curie, uma figura seminal na história da ciência e um exemplo notável de superação no contexto de sua época, ainda que muitos de seus manuscritos e originais não puderam ser visitados, devido aos altos índices de contaminação radioativa que ainda afetam partes de seu legado. Tal fato nos leva à percepção de que desafios contínuos nos cercam, quando se pensa em estudar uma pioneira na pesquisa com radioatividade, que não só impactou a Ciência, mas também pagou um preço pessoal considerável por isso. Isso nos permite, ainda, compreender a trajetória de Curie, não apenas em termos de suas descobertas científicas, mas também em relação às dificuldades que enfrentou sendo mulher nessa trajetória científica e pode proporcionar uma visão mais ampla sobre como as questões de gênero influenciam a Ciência e a pesquisa. Além disso, o uso de publicações de cientistas da época enriquece a análise, oferecendo contextos sobre as práticas e as normativas que prevaleciam, além de destacar as lutas pessoais que enfrentaram muitos cientistas.

Para enriquecer essas fontes e compreender melhor a perspectiva de Marie Curie sobre sua pesquisa e os desafios que enfrentou, examinamos sua tese de doutorado (1904). Nela, encontramos suas ideias iniciais sobre os elementos radioativos, assim como sua visão acerca dos obstáculos de gênero que surgiram durante sua integração à comunidade acadêmica da época. No entanto, foi nos jornais da época, nas cartas e escritos pessoais (Biografias), trocadas entre ela e seus familiares e amigos próximos, não pertencentes à comunidade acadêmica, que encontramos os melhores subsídios para a compreensão do seu pensamento, em meio a um universo masculino, bem como suas dificuldades.

As notas de aula³ de Isabelle Chavannes em 1907 (2007), aluna de Marie Curie, na época em que alguns professores resolveram fazer revezamento e ensinar às crianças, Física, Matemática e Química elementar, nos revela um pouco da sua forte personalidade, bem como o modo como defendia a sua visão sobre a Ciência, enquanto alternativa para mudar realidades. Segundo Isabelle Chavannes (2007), ela foi uma mulher dedicada à pesquisa, à Ciência e não tinha medo de ingressar em ambientes desconhecidos. Prova disso é que se propôs, juntamente com outros professores, a ensinar as ciências básicas às crianças. Segundo seus alunos, Marie Curie transmitia-lhes o amor pela ciência e o prazer pelo trabalho, muito cuidadosa e com métodos precisamente articulados, ela afirmava: “É preciso chegar ao ponto de nunca se enganar”, o segredo é “nunca andar muito depressa”.

A biografia de Madame Curie, escrita por sua filha Eva Curie (1943), apesar de apresentar uma visão romantizada e heroica da cientista, contribui muito com nosso trabalho, no que tange às informações sobre a vida dessa mulher, como também em relação aos acontecimentos pessoais e íntimos de Marie Curie, nos auxiliando a desmontar a ideia de gênio e a entender a forma como ela compreendia o seu meio e como superava as dificuldades inerentes a sua pesquisa e vida social. Essa biografia termina por omitir alguns detalhes da sua vida, mas, por outro lado, nos aponta situações de como uma mulher de origem humilde, advinda de uma nação dominada e escravizada, enfrentou algumas dificuldades e se tornou o nome da pesquisa com elementos radioativos. Além desses detalhes pessoais da vida de Marie Curie, essa obra ainda

3 Essas notas de aula foram fruto da cooperativa de ensino, articulada por Marie Curie com as lições de Física, Jean Perrin com Química e Paul Langevin com Matemática. As senhoras Perrin e Chavannes, juntamente com Magrou e Mouton, lecionavam literatura, história, línguas vivas, ciências naturais, modelagem, desenho. Dessa forma, as crianças tinham acesso a toda forma de saberes que pudessem ser compreendidos por elas (Chavannes, 2007).

nos mostra bastidores de pessoas que a rodearam, notadamente as que contribuíram com sua pesquisa, com a sua vida pessoal e a de sua família.

Para tratarmos do perfil histórico da Marie Curie, faz-se necessário um embasamento sobre historiografia. Nesse sentido, buscamos, em Martins (2005), as compreensões acerca desta abordagem remontada por pesquisadores ao longo dos anos. O primeiro ponto que nos compete destacar é que, nesses estudos, não há interesse em desvendar os fenômenos físicos, mas esclarecer alguns aspectos da atividade dos cientistas, dentre os quais destacamos o social, econômico, político, científico, etc e que, certamente, nos leva a compreender as nuances em volta do personagem em pesquisa.

Diversas outras obras poderiam ser mencionadas e foram utilizadas como essenciais para o nosso trabalho. No entanto, destacaremos aquelas que melhor se alinham com a nossa questão de pesquisa. As obras, aqui citadas, oferecem insights valiosos para entendermos as dificuldades e expectativas das mulheres no final do século XIX e início do século XX.

3 Contexto histórico: presença das mulheres na ciência francesa no período de 1890 a 1934

Este tópico contextualiza a vida de Marie Salomea Skłodowska (1890 a 1934) no cenário histórico da época, abrangendo desde sua infância na Polônia até seus anos como estudante e pesquisadora na França. O objetivo não é apresentar uma narrativa completa da história da Europa ou do mundo, mas sim resgatar o momento histórico em que emergiu a figura de uma cientista, mãe e pesquisadora, que, desafiando normas estabelecidas, visou afirmar suas habilidades em uma sociedade, a qual restringia o espaço para a exploração intelectual e a responsabilidade pública exclusivamente aos homens.

3.1 Fim do século XIX e início do século XX: a Europa em busca de ascensão

Os séculos XIX e XX constituem uma era tão brilhante e tão peculiar para as Ciências quanto a renascença o foi para as Artes (Ségre, 1987, p.2). Nestes séculos, acontecem as mudanças fundamentais para entendermos a Física que temos hoje. Grandes nomes surgiram no campo da pesquisa científica, entre eles o nome de Marie Curie, dentre outros que fizeram história nesse período. Não quero dizer, com isso, que as descobertas científicas brotam dos cérebros prontas e acabadas e que não aconteceriam, caso essas pessoas não existissem. Na verdade, elas são fruto de um acúmulo de trabalho preliminar e exigem muito esforço e determinação na moldagem da pesquisa, mas grandes realizações não seriam possíveis sem um preparo científico e um indivíduo peculiarmente adequado à tarefa (Goldsmith, 2006, p. 15).

No mundo ocidental, foi onde começou a revelar-se o conhecimento da estrutura do átomo: a Inglaterra, a França e a Alemanha eram os três países líderes na área das Ciências (Ségre, 1987, p.3). Por esse motivo, temos que entender a estrutura social que esses países possuíam. A Polônia necessita dessa mesma análise, não como um país que contribuiu para a pesquisa científica com elementos radioativos, mas como o país onde nasceu e viveu uma parte da vida a Marie Curie e no qual foram fundamentais alguns acontecimentos de sua infância para a sua formação social.

A primeira questão a se observar sobre o mundo no século XIX, início do século XX, é que as estruturas político-econômicas se encontravam sob influência direta de países que se destacavam tecnológica e cientificamente. As mudanças ocorridas na Europa, nesse período, afetaram a sociedade mundial de uma forma nunca observada, uma vez que os países europeus estavam à frente dessas novas estruturas que se firmavam. Houve modificações culturais, sociais e, principalmente, nas formas de agir das pessoas. Nota-se

que a industrialização dos países europeus foi o marco diferencial para gerar as mudanças ocorridas. Esse processo de industrialização gerou uma forte concorrência entre as nações, que passaram a defender seus territórios e a disputar territórios vizinhos.

A industrialização estava trazendo fatores positivos e negativos ao mundo do final do século XIX. Um dos pontos positivos para a humanidade foi que as mulheres começaram a surgir no cenário mundial como capazes de se enquadrar no sistema de produção das indústrias que estavam em ascensão, inclusive, operando maquinários, função que até o momento era exclusivamente masculina. Elas passaram a fazer parte do núcleo de trabalhadoras que agiam e seguiam a mesma disciplina imposta aos homens. As formas de trabalho e as condições impostas pelos patrões não configuravam tarefa muito fácil, na época.

Nesse cenário mundial, nasce Maria Salomea Skłodowska (a qual adotará, mais tarde, o nome afrancesado de Marie Curie), no dia 7 de novembro de 1867, perto do centro antigo de Varsóvia, na Polônia. Entrou num mundo, onde todos os atos, inclusive o de dar nome a uma criança, tinha ligação com a luta que os poloneses travaram para sobreviver a sistemática de eliminação do seu país. O nome Maria na Polônia do século XX era ligado à causa nacional e os patriotas buscavam todas as maneiras de manterem viva a história do seu povo. Assim como o catolicismo, o nome Maria estava repleto de antigas histórias⁴ e era usado como forma de manter firme sua fé e suas crenças de superação da opressão que

4 Muitas histórias estavam ligadas ao nome Maria na Polônia do século XIX, entre elas, segundo Quinn (1997), os membros da antiga cavalaria usavam um medalhão da virgem Maria no peitoral de suas armaduras, fato que os ajudava a vencer as batalhas e voltar para casa em segurança. Diziam que Maria, a virgem negra de Czestachowa, interferira pessoalmente para expulsar os invasores suecos e resgatar a Polônia, em 1655. Então, o nome Maria, nessa época, era utilizado como uma forma de buscar força para a superação das provações que esse país vivia. Esse foi o nome escolhido para Marie Curie e, como veremos no desenrolar desse trabalho, não poderia ter sido diferente. Não que o nome fosse

viviam os poloneses. E, assim, embora Wladyslaw Sklodowski e sua esposa Bronislawa, os pais de Marie Curie, não fossem crentes em demasia, era natural escolher Maria para o nome de sua 5ª filha. Acreditavam, de fato, que Maria era “a patrona... do nosso país”, como comentou Wladyslaw (Quinn, 1997, p.15).

A Polônia, nesse período, vivia arruinada por rebeliões e ocupação de seus territórios, era um país que sofria, desde muito tempo, com a dominação de sua cultura. Para termos uma ideia da imensidão de tempo que o país sofreu, dentre outros fatores relevantes, em 1772, ocorreu a primeira partilha da Polônia, na qual foi dividida entre outros países mais de 200 mil km² de território polonês habitados por 4,5 milhões de pessoas. Nesse ano, a divisão se deu entre as potências Rússia, Prússia e Áustria. Com isso, o país buscou formas de tentar se reerguer, sendo todas elas suprimidas antes de serem efetivadas. Logo, foi convocado o primeiro ministério da educação do mundo, com o objetivo da formação de novos jovens que suprimissem as invasões, mas eram tentativas em vão (Kaminski & Korkuc, 2016).

Maria Sklodowski pertencia a uma família da pequena nobreza que as desgraças da Polônia haviam arruinado. O próprio sobrenome tinha relação com as posses e com a situação econômica da família. Sklodi⁵ é um aglomerado de herdades a uma centena de quilômetros de Varsóvia. Diversas famílias, originadas desse território, herdaram esse sobrenome, já que era costume o senhor das terras permitir que seus agregados lhe adotassem o brasão (Curie, 1943, p.4).

determinante para qualquer fato, mas a personalidade que a pessoa adquiriu no decorrer de sua formação foi carregada da fé que foi colocada por todos sobre ela.

5 A família Sklodowski provinha da pequena nobreza de proprietários de terra, particularmente de terra polonesa, conhecida como szlachta, nobres, que, nos séculos precedentes, haviam lutado pela república, mas que valorizavam sua autoridade independente e defendiam o parlamento. Na Polônia, títulos como de príncipe ou de marquês não tinham sentido algum (Quinn, 1997, p. 18).

Como na maioria dos países, onde a divisão de renda não é equiparada, as diferenças entre ricos e pobres eram imensas na Polônia do século XIX. Os mais poderosos possuíam vastas propriedades de terra e esse fato os fazia continuar cada vez mais ricos. A maioria das pessoas do país eram pobres e não possuíam terras, como também não possuíam quase nada. Os de altas classes econômicas tinham o poder das posses e conseguiam trabalhadores que custavam pouco e contribuía para que eles se mantivessem no poder. Os szlachta, que eram os antigos proprietários de terra, que hoje não possui mais bens, representavam uma significativa parcela de pessoas do país. Os Sklodwsi e Boguski, famílias originárias do pai e da mãe de Maria Sklodwsi, apesar de histórias nobres, haviam sido reduzidas a serem da posição de szlachta, menos importantes (Quinn, 1997, p.19).

No final do século XIX, precisamente no ano de 1889, Maria Sklodwsi decide continuar seus estudos na cidade de Paris. Anos antes, sua irmã Bronia já havia ido estudar medicina no mesmo país. Assim, as duas tinham um trato de se ajudarem mutuamente. A irmã, na ida a Paris, combinou que Maria Sklodwsi iria assim que ela terminasse seu curso de medicina. Maria trabalhava como governanta para poder auxiliar nas despesas da irmã em Paris e, assim, as duas pensavam em meios que as fizessem ter uma carreira científica. Maria Sklodwsi escreve à irmã Bronia, contando da sua decisão de partir para Paris:

.... Agora Bronia, quero resposta definitiva. Decida se pode ter-me aí, porque estou disposta a tudo. Tenho dinheiro para as despesas. E se, sem grande sacrifício você pode dar-me comida, escreva-me. Ser-me-á uma grande felicidade, por que moralmente isto me porá de pé depois das muitas provações cruéis deste verão, e que influirão sobre minha vida – mas não quero impor nada. Como você está a espera dum filhinho, eu poderei ser útil na

casa. Em todo caso, diga tudo. Se minha ida é coisa possível, diga também que exames de ingresso tenho de fazer, e até quando poderei inscrever-me (Curie, 1943, p. 76).

Com a afirmativa da irmã, Maria Sklodowski viaja para Paris, com o pouco dinheiro que conseguiu economizar no seu trabalho de governanta e contando com a ajuda de Bronia, a qual hospeda Maria e ajuda nos primeiros passos num país livre, onde poderia seguir carreira. Ela inicia o primeiro semestre do curso de Ciência Física no dia 3 de novembro de 1891. Assim, se inicia mais uma etapa da sua vida, carregada de muita descoberta e satisfação por seu trabalho. Bronia acreditava firmemente que “podia preparar Maria para enfrentar os desafios de ser polonesa e mulher, num mundo predominantemente francês e masculino” (Quinn, 1997, p.89).

Marie, estrangeira em país desconhecido, lança-se, com ardor, a essa nova vida. Estuda com empenho, tanto na Sorbonne, quanto em casa. Descobre as alegrias da camaradagem, da solidariedade e as parcerias que os estudos nessa instituição lhe proporcionavam. Entre alguns alunos mais próximos que se tornaram amigos, apesar de sua timidez atrapalhar a comunicação, foram duas matemáticas, Mlles Krakowska e Dydynska, o doutor Motz, o biologista Danysz e Stanislas Szalay – futuro presidente da República Polonesa (Curie, 1943, p.84). Essas pessoas se encontravam sempre na colônia que eles mantinham como forma de poderem conversar sobre sua terra natal e buscando manter vivo seu patriotismo.

No que se refere à escolarização, segundo Hobsbawn (2007), a instrução escolar oferecia um bilhete de entrada para as faixas médias e baixas serem reconhecidas na sociedade, pois era um meio de socializar os que não tinham posses nem nome para serem incluídos no meio da alta burguesia. Sem falar, ainda, que essa escolarização estava dando oportunidades, para que os que

nunca tiveram acesso a ela conseguissem almejar uma profissão, uma vez que, no século XIX, poucos homens eram formados em alguma área. Se para os homens essa formação era pouca, menos ainda era para as mulheres, já que quase não existia esse tópico na tradição das famílias francesas.

Entre 1875 e 1912, o número de estudantes alemães mais que triplicou e o de franceses (1875- 1910) mais que quadruplicou. Na educação secundária pública, até 1902, não se podia pensar a educação universitária fora dos dois centros de Oxford e Cambridge. Estava no auge um novo tipo de sociedade, uma burguesia que se fechava para assuntos tradicionais, mas um povo aberto para assuntos educacionais. Os cidadãos começavam a enxergar a educação como uma forma de libertação pessoal e de melhoria das condições de vida (Hobsbawn, 2007).

Marie foi uma das 23 mulheres matriculadas entre os 1.825 estudantes da *Faculté des Sciences* da Sorbonne, em 1891, e concluiu o curso de Ciências Física como a melhor estudante da sala. Para atingir esse objetivo ela conta:

Toda a minha mente estava centralizada nos meus estudos. Eu dividia meu tempo entre os cursos, trabalho experimental e estudo na biblioteca. À noite, trabalhava em meu quarto, algumas vezes até muito tarde da noite. Tudo o que eu via, aprendia e era novo me encantava. Era como um mundo novo aberto para mim, o mundo da ciência, que eu, afinal, tinha permissão para conhecer com toda liberdade” (Curie, 1923, p.171).

Ela contou com a colaboração de professores notáveis para auxiliar na sua formação acadêmica. O de Física era Gabriel Lippmann, que ganharia um prêmio Nobel, em 1908, por desenvolver um método de reprodução de fotografias em cores. Outro de Física, Joseph Boussinesq, era o oposto de Lippmann, físico

clássico, autor de obras imaginativas e pioneiras, inflexivelmente contrária a teoria da relatividade e todas as suas aplicações. Poincaré, também um excelente matemático, proporcionou contribuições históricas para a teoria matemática e mecânica celeste (Quinn, 1997, p. 105 – 109).

3.2 A invisibilidade das mulheres nas Ciências e na sociedade no final do século XIX e início do século XX: a complementaridade do casal Curie

Um número crescente de pesquisas realizadas nos últimos anos tem buscado entender por que, ao longo da história, o número de mulheres pesquisadoras e cientistas tem sido tão limitado em comparação ao de homens na mesma área. Muitos autores e publicações têm tentado identificar as razões por trás da suposta “invisibilidade” das mulheres nas Ciências e na sociedade. Em qualquer período histórico analisado, a presença feminina é escassa e aquelas que se destacam, normalmente, é em função do trabalho realizado por homens, atuando como coadjuvantes ou assistentes e sempre à sombra de alguém. No entanto, ao examinarmos o final do século XIX e o início do século XX, notamos que algumas mulheres emergem na história e seus trabalhos promovem mudanças significativas para a humanidade.

Alguns questionamentos nos fazem refletir sobre essa realidade: Como historicamente foram definidos os papéis sociais de homens e mulheres? Quais os motivos que fizeram com que esses papéis sociais fossem definidos dessa maneira? e Qual o interesse, e a favor de quem, circula essa divisão de atividades de homens e de mulheres na sociedade? Elucidando esses questionamentos, teremos maiores condições de entender que, biologicamente, não foi provado que haja diferenças entre o sucesso no desempenho de atividades baseado no gênero. Essas barreiras impostas pelo sexismo estão mais ligadas à cultura e à tradição.

Com base nesses questionamentos, buscar-se-á compreender a nova mulher que surge no final do século XIX e início do século XX na Europa com suas nuances e expectativas, bem como os fatores históricos que fizeram com que ela assumisse esse papel de visibilidade no mundo científico. Para isso, também será feito um paralelo em diversos pontos com as escolhas de Marie Curie dentro do seu legado científico e pessoal.

Segundo Michelle Perrot (2010), ainda no século XVIII, havia uma discussão se as mulheres eram seres humanos, como os homens, ou se estavam mais próximas dos animais irracionais. Elas tiveram que esperar até o final do século XIX, para ter reconhecido seu direito à educação e muito mais tempo para ingressar nas universidades. Desde então, começou-se a debater o motivo de as mulheres não serem reconhecidas na Ciência como os homens e por que as mulheres não deveriam ter direito à educação de modo igualitário. Define-se, assim, os papéis sociais de homens e mulheres, eles sendo os responsáveis pela produção e organização do saber e elas responsáveis pela família.

Muitos ambientes masculinizados não permitiam a presença de mulheres, como na política, nas artes e na ciência. Muito embora, juntamente com os maridos, nas discussões familiares, as mulheres contribuíssem com seus pontos de vista, os quais eles adotavam como sendo seus. Seria improvável uma mulher poder participar com igualdade de fala perante uma discussão coletiva acerca de um tema de interesse político, por exemplo. Se essas não podiam participar desses espaços, muito menos era lhes dado o direito de intervir em uma determinada situação para modificá-la. Mudar essa realidade não era tarefa fácil e o fato é que modificar uma organização cultural, historicamente elaborada, exige esforço e muito conhecimento para impor, em determinados momentos, a presença feminina em ambientes, aos quais não era culturalmente permitido ter acesso.

Interessante notarmos que a Ciência era espaço privilegiado para os homens, os quais, naturalmente, podiam exercer influência,

já que era o seu lugar de direito. Contudo, as classificações de Ciências e do saber científico também sofreram modificações no decorrer do tempo e o que se entendia por científico no século XIX não é necessariamente o que se entende hoje. No que diz respeito ao seu conceito na atualidade, segundo Chassot (2006), o primeiro aspecto a se analisar é que a “Ciência é um construto humano, logo, falível e não detentora de dogmas, mas de verdades transitórias, respostas a realizações de homens e mulheres”.

Saindo da Polônia subjugada pela Rússia, não acredito que Marie Sklodwska viesse determinada a vencer essa invisibilidade imposta culturalmente às mulheres. Acredito que seu ímpeto era prosseguir sua carreira acadêmica e contribuir com as pesquisas em laboratório, ação a qual ela gostava muito de fazer. Contudo, contestar o papel da mulher na sociedade nunca foi seu objetivo. Mesmo por que ela não se considerava feminista, muito embora as mulheres tenham utilizado sua história como forma de inspiração e busca pela ascensão.

Marie entra nesse universo da pesquisa científica, tendo plena consciência de que essa era uma tarefa árdua. Havia participado, na Polônia, das universidades voadoras⁶, escondendo-se dos oficiais para não ser flagrada e, assim, perder seu direito de cidadã polonesa. Essa polonesa ingressa no sistema de educação francês tem consciência das dificuldades que enfrentará para atingir seus objetivos. Marie era ciente que o universo, no qual estava prestes a entrar era quase impossível às mulheres, ainda mais se

6 As universidades voadoras na Polônia eram encontros sistemáticos, que os intelectuais e alunos que haviam concluído o secundário mantinham para estudarem e terem acesso às informações e conhecimentos sobre o seu país e demais países. Esse tipo de associação que os poloneses conservavam se manteve viva durante muitos anos e ajudava na formação dos jovens patriotas. Em sua maioria, as pessoas que frequentavam essas universidades eram mulheres. Tendo em vista que, na Polônia, o ensino superior lhes era proibido, essa era uma forma de dar continuidade a sua formação, lhes preparando para uma possível universidade estrangeira que aceitasse mulheres.

essas fossem estrangeiras. Ela escreve anos depois em suas notas autobiográficas:

Eu tinha ouvido sobre poucas mulheres que obtiveram sucesso em certos cursos em Petrogrado ou em outros países, e eu estava determinada a me preparar através de trabalhos preliminares para seguir seus exemplos (Curie, 1923, p. 166).

Assim, Marie Sklodowski ingressa na Sorbonne, uma universidade francesa tradicional muito reconhecida e renomada, com muitos professores conhecidos por suas pesquisas e com premiações diversas, que aceitavam mulheres em seu núcleo estudantil. Possivelmente, Marie Curie atribui à possibilidade de exercer o ofício de cientista na França um poder de liberdade. Certamente, uma liberdade muito maior que a que tivera na Polônia, onde não pode concluir sua formação como desejava.

Como nem tudo que se preza é fácil adquirir, Marie Sklodowska passa por algumas situações difíceis de serem lidadas por uma mulher, nesse fim de século num país estrangeiro, com costumes e tradições diferentes daquelas, com as quais estava habituada no seu país de origem. Existiam muitas restrições para as mulheres que, inegavelmente, iriam afetar as escolhas de todas e modificar os padrões preestabelecidos se quisessem fazer diferente. Marie preferia fazer seus estudos à noite em casa, talvez, não por que era mais agradável e aconchegante, mas por que era impensável uma moça desacompanhada, solteira, andando pelas ruas escuras ou, ainda, arriscando ser confundida com uma prostituta, o que era comum nos cafés da cidade de Paris.

Tomemos como ilustração dessa situação a lei 1892, que proibia o trabalho noturno às mulheres e limitava suas jornadas de trabalho a onze horas. Essa lei foi votada por uma aliança de deputados católicos (Thébaud, 2010). A intenção era impedir a promiscuidade moral e a intensificação dos debates em torno das

diferenças sexuais entre homens e mulheres. Mulheres tinham seus lugares definidos socialmente, assim como os homens, então, não havia necessidade de um espaço ser invadido por um gênero diferente do original.

Chassot (2006) destaca que fomos ensinados a pensar de determinadas maneiras e, assim, passamos a acreditar no que se ensina. Não existem grandes explicações para o fato dessa invisibilidade das mulheres em algumas áreas. O diferencial é que, desde muito pequenas, meninas são ensinadas para serem donas de casa e meninos são ensinados para serem os responsáveis pelo conhecimento. Desde muito pequenas, as crianças são separadas segundo seu sexo, meninas brincam de bonecas, meninos brincam de cientista. Estamos moldados e moldando as civilizações para que a realidade permaneça como está.

Antes de discutir o porquê dessa situação, há uma explicação rasa, mas racional: não somos assim – não aprendemos assim – por acaso. Nós nos construímos, ou fomos construídos assim. Há razões / explicações para sermos dessa maneira – aqui o sujeito é: nós, os seres humanos, e, numa análise mais particularmente recortada, nos comentários que se apresentam, estamos nos referindo à Civilização Ocidental (Chassot, 2006).

Marie Sklodowski nasceu em um ambiente que induzia à educação. O pai professor, a mãe havia sido professora e diretora em uma escola de meninas, os avós haviam sido professores também. Em especial, o pai de Marie estava preocupado com o desenvolvimento das crianças e seus estudos, até no tempo livre de brincadeiras das crianças, ele dava ideia de brincadeiras que pudessem ensinar alguma coisa. No “lar dos Sklodowski, o aprendizado era brincadeira e a brincadeira se tornava aprendizado” (Quinn, 1995). O desenvolvimento das crianças nesse meio induzia a curiosidade e despertar do aprendizado de todos eles, muito

embora houvesse os que eram naturalmente mais propensos a aprender determinados assuntos em detrimento de outros.

A curiosidade de Marie sempre foi acirrada para atividades práticas e ela muito se identificava em testar as situações para provar ou refutar ideias, pensamento natural das ciências positivistas no século XIX. O seu pai, sendo professor de Física e tendo sido proibido de trabalhar com materiais práticos em suas aulas, montou em casa uma prateleira com diversos materiais de laboratório. Isso aguçava ainda mais a curiosidade de Marie, que ficava nas pontas dos pés para conseguir ler o nome: A-PA-RE-LHOS DE FÍ-SI-CA. E pensava: “que nome esquisito”. Ela podia ver nessa prateleira: tubos de vidro, pequenas balanças, amostras de minérios e até um eletroscópio de folha de ouro (Curie, 1943). Todos esses materiais somados à curiosidade da criança em fase de aprendizado e a boa vontade do pai em sanar todas as suas dúvidas foram os primeiros passos de Marie Curie rumo à pesquisa laboratorial.

Acredito que o pai de Marie Sklodwsi, Vladslaw Sklodwsi, projetasse, nos filhos, a expectativa de formação e de cientista dele. Queria que os filhos conseguissem ir além do que ele conseguiu. Para isso, fizera até uma pequena economia que auxiliaria nas despesas com educação. No entanto, acabou apostando em um negócio que não deu certo e perdeu todas as economias para a educação dos filhos, fato que ele lamentou até o dia da sua morte. Para felicidade da família, um por um, os filhos de Sklodwsi realizaram as expectativas do pai, formando-se como os melhores alunos da sala, desde o ensino nos liceus até a formação superior (Goldsmith, 2006, p.24).

A mãe de Marie Curie, Bronislawa Sklodwsi, embora tivesse ideias avançadas para seu tempo, com relação ao trabalho e também ao papel das mulheres (Quinn, 1995), pouco contribuiu na formação, principalmente da caçula (Marie), já que ela já se encontrava doente de tuberculose quando a filha estava em fase de aprendizado. A falta do carinho de mãe será sentida por toda

a vida de Marie e, embora as irmãs e pai tentassem suprir essa carência, ela sente muito e projeta para suas próprias filhas a distância e falta de demonstração de afeto que sentiu da sua mãe. Quando ela perde a mãe e a irmã mais velha, uma por tuberculose e outra por tifo, destaca em suas notas autobiográficas que fora acometida por uma “depressão profunda”. Situação que, se notarmos com mais dedicação, lhe acompanha pelo resto da vida.

Na Polônia, o destino certo escrito culturalmente para Maria Sklodowski seria o casamento. Com isso, ela passaria a ser dona da sua casa e teria como tarefa zelar pelo marido e pelos filhos, assim como aconteceu com algumas de suas amigas e com sua mãe. Marie chegou a cogitar essa possibilidade algumas vezes e via, de fato, o casamento como uma alternativa para seu futuro. Primeiro, quando trabalhava de governanta nos tempos de cidadã na Polônia na casa dos Zorawski: o filho mais velho da família, Kazimiers Zorawski voltou de Varsóvia, onde estudava matemática, para visitar os pais e encontrou uma governanta que lhe chamou a atenção. E apaixonaram-se⁷. Ela não tinha ainda dezoito anos e ele um pouco mais que isso e começaram a falar sério sobre casamento (Curie, 1943, p.60).

Não pensavam os apaixonados que a família dele se oporia, fielmente, a essa união e não aceitariam, de forma alguma, que seu filho viesse a se casar com uma governanta da casa, sem dote. Marie sofreu com essa situação, muito embora não tenha deixado isso muito claro em suas anotações. Todavia, leva a entender que perdeu as ilusões com paixão e possível casamento. Ela escreve a Henriete em 10 de dezembro:

7 Conhece-se pouco a respeito dessa paixão de Marie Sklodowski, sabe-se apenas um esboço do que poderia ter acontecido, já que pouco se escreveu a respeito desse fato. As únicas coisas mencionadas, quando se trata dessa primeira paixão, é o fato da família de Kazimiers não ter permitido o namoro e que Marie continuou trabalhando na casa da família até decidir partir para Paris (Quinn, 1995, p.75).

.... Não acredite nos boatos sobre o meu próximo casamento; não tem base. Espalhou-se isso aqui pela zona e mesmo em Varsóvia, e embora não por culpa minha tenho medo que do boato me venham aborrecimentos. Meus projetos de futuro são os mais modestos: um cantinho onde viver com papai. O coitado! Faço-lhe muita falta; ele quer minha presença lá e rói-se de saudades. Para conseguir a independência e ter um cantinho, darei metade de minha vida... (Curie, 1943, p.65).

Já em Paris, Marie Sklodowski cogita novamente a possibilidade de casamento, mas dessa vez o pensamento não é tão romantizado quanto da primeira vez. Ela resiste um pouco às investidas do pretendente, mas acaba cedendo. Ele é Pierre Curie, físico sugerido que Marie o conhecesse, já que ele poderia auxiliá-la nos trabalhos que desenvolvia, naquele momento no laboratório do professor Lippman, sobre as propriedades magnéticas de diversos aços, sua especialidade. Os dois mostram-se atraídos pela Ciência e viam possibilidades de colaboração em trabalhos de equipe. Ambos achavam que “se interessavam por coisas, não por pessoas”. O casamento aconteceu no jardim da casa dos pais de Pierre e, como Marie desejava, foi um casamento diferente do que os franceses estavam habituados a presenciar. Nada de vestidos brancos, nem anel, nem cerimônia religiosa, ao invés disso, um par de bicicletas para passarem a lua de mel, conhecendo os campos da cidade.

Assim, o casal inicia suas pesquisas em colaboração mútua. Contudo, as mulheres, de uma maneira mais geral, adquiriram uma invisibilidade na área das Ciências, que, mesmo trabalhando com maridos, pais e irmãos em laboratórios e atuando nas áreas, ainda não tinham seus nomes reconhecidos pelas tarefas realizadas. Na maioria das vezes, esse apagamento na História é somente pelo sexismo. Desse modo, preliminarmente, podemos afirmar que não é apenas a Ciência que é predominantemente

masculina, mas toda a construção humana há alguns milênios (Chassot, 2006).

Marie Curie não foi pioneira nem a única a se aventurar nesses domínios científicos. Algumas outras mulheres entraram no campo da pesquisa científica em tempos anteriores ao dela e algumas foram lembradas por suas descobertas. Outras entraram no campo das Ciências depois do exemplo de Marie ou paralelo a ela. Como o caso de Clemence Royer, que foi a primeira mulher a receber a Legião de Honra do governo francês por seus trabalhos científicos. No entanto, o caso que tentamos focar aqui é que, no percurso de Marie Curie, todas as expectativas e dificuldades de mulheres integrarem um universo masculino podem ser evidenciadas.

Tornou-se óbvia a mudança nas expectativas sociais das mulheres durante as últimas décadas do século XIX. Muito embora, seja necessário notar que estamos falando de um número muito reduzido de mulheres que tinham acesso a esses detalhes que lhes proporcionavam mudanças. Ademais, para muitas, a condição de submissão estava justa e assim não havia necessidade de mudança. Historicamente, estavam definidos os papéis de homens e mulheres na sociedade e, assim, muitas acreditavam, de fato, nessas delimitações, situação compreensível, já que durante todo o tempo foram educadas para isso.

Esse pensamento de servidão perdurava e alcançava todas as classes sociais. Acreditava-se que era preciso educar as meninas e não exatamente instruí-las, ou instruí-las apenas no que fosse necessário para tornar-lhes agradáveis e úteis. Deveria ser ensinado como ser uma boa dona de casa, uma esposa e uma mãe agradável. Os saberes que deveriam ter eram com relação à economia doméstica, valores de pudor e morais, obediência e polidez, renúncia e sacrifício. Essas seriam as virtudes esperadas para uma mulher que desejasse um espaço definido como senhora casada de respeito, assim herdaria o nome do marido e poderia, servindo-lhe e aos filhos, trilhar seus espaços na sociedade (Perrot, 2007).

Muitos seriam os motivos que contribuíram para essa invisibilidade das mulheres nos espaços das Ciências. Como cita Michelle Perrot (2007) homens são seres de sobrenome que lhes são transmitidos pela família, não é necessário que esses venham se firmar para conquistar espaços, já é natural que seu lugar de direito seja ali. As mulheres não têm sobrenome, são pouco vistas, pouco se fala delas. Essa falta de registros femininos será uma das principais causas de não se saber das mulheres na história. A atenção que historiadores dispensarão às mulheres será reduzida ou ditada por estereótipos, serão conhecidas aquelas que se destacuem no padrão natural de beleza, bondade ou maldade. Rainhas cruéis, malvadas, ou boazinhas e lindas, damas galantes do renascimento com seus rostos perfeitos, as cortesãs de todos os tempos que fazem os homens se apaixonarem. É preciso ser piedosa ou escandalosa para existir nos registros do final do século XIX.

O pensamento social que reinava era que as mulheres eram seres passivos que deveriam ser protegidas por um homem. Sendo assim, não havia necessidade de que essas desempenhassem atividades remuneradas, nem muito menos viessem a se comparar a um homem na busca pela aparição de seu nome em ambientes que eram proibidos a elas, como as Academias de Ciências, por exemplo. Octave Mirbeau, um escritor da França desse período, disserta com relação à intensão de duas mulheres participarem da Academia de Letras:

A mulher não é um cérebro, é um sexo, o que é muito melhor. Ela só tem um papel nesse mundo, o de fazer amor, ou seja, perpetuar a nação. Ela não é boa para nada além do amor e da maternidade. Algumas mulheres, não raras exceções, têm sido capazes de dar, seja na arte, na literatura, a ilusão de que são criativas. Mas elas são normais, ou simples reflexos dos homens. Prefiro as que são chamadas de

prostitutas por que elas, pelo menos, estão em harmonia com o universo (Quinn, 1997, p.98).

As premissas com relação à aparição das mulheres na história contada sobre o século XIX, apresentadas aqui, apontam claramente para uma inferioridade atribuída às mulheres com relação a todos os setores sociais. Elas foram marcadas como seres menos capazes e, portanto, mais frágeis. Visei explicitar essas nuances de invisibilidade na História, com todos os seus questionamentos.

Marie Curie pode ser caracterizada, nesse sentido, como uma mulher organizada, sistemática e cheia de fé que sua pesquisa daria certo. Quatro anos anteriores a esta época, ela escreveu a Bronia, sua irmã: “A vida não é fácil para nenhum de nós..., mas temos de perseverar, e, sobretudo, de ter confiança em nós mesmos... temos de crer-nos dotados para qualquer coisa a ser alcançada custe o que custar” (Curie, 1943, p. 135). Assim, Marie se referia a sua vida, não como um problema que teria que solucionar, mas como uma forma de preservá-la, para conseguir objetivar suas expectativas, tanto com relação à pesquisa, quanto com relação à vida pessoal.

Muitas mulheres que conseguiram se impor no ambiente científico enfrentaram enormes dificuldades. Não são raros os casos de elas terem que ficar confinadas em laboratórios, escritórios ou sótãos para poderem realizar suas pesquisas. A ciência era considerada árdua, rigorosa e lógica; as mulheres deviam ser meigas, fracas e ilógicas. Por consequência, mulheres cientistas eram, por definição, seres anormais (Mcgrayne, 1994, p. 13).

METODOLOGIA

Apresentamos, nesta seção, a abordagem metodológica adotada neste trabalho, visando fornecer suporte e fundamentação para a compreensão do nosso problema de pesquisa. Optamos por uma abordagem qualitativa, pois acreditamos que ela nos

permitirá explorar mais profundamente as interpretações decorrentes do nosso estudo. Focamos, em especial, nas dificuldades e perspectivas das mulheres nas Ciências, considerando as relações sociais, afetivas e profissionais. Para isso, tomamos como exemplo a trajetória de Marie Curie, analisando o contexto histórico e científico que ela enfrentou, bem como os desafios e barreiras que teve de superar no final do século XIX e início do século XX, em um ambiente predominantemente masculino.

4.1 Natureza da Pesquisa

Com o objetivo de obter resultados a partir do nosso problema inicial, decidimos realizar uma pesquisa com abordagem qualitativa, que busca planejar nossas ações com foco na compreensão da realidade vivida pelo nosso objeto de estudo. Dessa forma, acreditamos que, ao adotar uma abordagem qualitativa e considerar o perfil histórico e o legado de Marie Curie, teremos um suporte mais robusto para entender as dificuldades e as perspectivas das mulheres nas ciências.

4.2 Tipo de Pesquisa

Esta pesquisa é estritamente bibliográfica e historiográfica, de modo que nossas afirmações terão um papel significativo, pois é por meio da leitura, análise e discussão que obteremos uma compreensão robusta dos eventos históricos, evitando uma mera descrição da realidade, conforme alerta Martins (2005). Com base nessa premissa, devemos considerar os fatos históricos vividos por Marie Curie, especialmente sua investigação sobre radioatividade, focando nas particularidades e desafios de sua época. Buscaremos evidenciar as dificuldades e as situações a que ela foi inevitavelmente submetida, tanto por ser uma mulher — algo inusitado para o período — quanto por liderar pesquisas e desenvolver métodos próprios para validar suas descobertas.

4.3 Instrumentos da pesquisa

Para atingir os nossos objetivos, coletamos informações, a partir de periódicos publicados por cientistas de sua época, cartas pessoais trocadas entre Marie Curie e amigos próximos, biografias e alguns livros publicados sobre essa cientista, bem como sua tese de doutoramento e sua autobiografia. A análise desse material deverá ter uma interpretação não linear dos fatos, mas uma visão mais global, mais sistematizada, no sentido de fazermos uma descrição mais acentuada a respeito dos acontecimentos em torno do seu legado e, assim, nortear as perspectivas social, econômica, política e acadêmica, no qual ela se encontrava inserida. Dessa forma, acreditamos reconstruir o seu perfil historiográfico, refletindo sobre sua realidade.

5 Considerações Finais

Em síntese, a pesquisa empreendida neste trabalho, assim como sua complementaridade, efetivada através da dissertação de mestrado disponível no site da UEPB⁸, sobre a trajetória de Marie Curie e o papel das mulheres na ciência, à luz do contexto histórico do final do século XIX e início do século XX, trouxe à tona a relevância da discussão sobre a visibilidade feminina nas áreas científicas. Observamos que, apesar de Curie ter sido uma pioneira e uma figura emblemática em sua busca pela verdade científica, seu reconhecimento não chega a desmistificar totalmente as barreiras enfrentadas por muitas outras mulheres em situações semelhantes. Por meio da análise de sua vida, assim como das várias dificuldades e conquistas que permeavam seu caminho, conseguimos traçar um perfil de uma nova mulher que, apesar das limitações impostas por uma sociedade predominantemente

8 <https://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3119>

masculina, buscava se afirmar em um campo que, até então, lhe era praticamente negado. Curie não apenas desafiou as expectativas de gênero de sua época, mas também se tornou um símbolo de determinação e resiliência na luta pela igualdade de oportunidades nas ciências.

É essencial destacar que a escolha desse tema, além de promover um melhor entendimento do papel das mulheres na ciência, também permite refletir sobre a permanência de desigualdades estruturais que ainda persistem. Curie nos (re)lembra que cada conquista no campo científico é o resultado não apenas do talento individual, mas também do abandono de estigmas sociais, da abertura de espaços e do reconhecimento da diversidade de contribuições que compõem a história da ciência. Compreender a trajetória de Marie Curie é entender que a luta pela igualdade e pelo reconhecimento das mulheres nas ciências é, na verdade, uma luta contínua que precisa ser reforçada.

Assim, examinando o passado, podemos melhor embasar as demandas contemporâneas por um ambiente acadêmico e científico mais inclusivo, capaz de acolher e valorizar a diversidade de vozes e experiências que compõem a produção do conhecimento. O legado de Curie não é apenas seu trabalho nas ciências; é um convite a continuar a batalha pelas oportunidades e pela equidade para futuras gerações de mulheres cientistas.

Os materiais utilizados demonstram que, embora muitas mulheres tenham contribuído significativamente para o avanço da ciência, frequentemente eram invisibilizadas ou alocadas para papéis subsidiários. A investigação sobre a vida de Curie oferece um panorama para entendermos como o construto cultural de gênero moldou a trajetória dessas cientistas, servindo, ao mesmo tempo, como um alerta sobre as práticas ainda prevalentes que sufocam o potencial de muitas. Tais investigações também nos possibilitaram uma reflexão crítica sobre a importância de narrativas que não apenas celebrem conquistas individuais, mas que também contextualizem as condições sociais e históricas que

moldaram essas histórias. Uma abordagem historiográfica permite que honremos as contribuições de figuras como Curie, ao mesmo tempo em que buscamos uma compreensão mais holística e justa da história da ciência, que, até então, relegava as mulheres a papéis secundários.

Por fim, essa revisão de literatura e a investigação em torno da figura de Marie Curie sublinham a necessidade de propagar a história das mulheres na ciência, não apenas como um ato de justiça, mas como um imperativo ético que enriquece nossa compreensão de um campo vasto e complexo dedicado ao conhecimento. A luta pela inclusão e pela equidade nas ciências é uma continuidade do legado de Curie, que devemos seguir e perpetuar.

Referências

- CHASSOT, Attico. **A Ciência é masculina?** É sim senhora. Ed.Moderna. São Paulo, 2006
- CHAVANNES, Isabelle. **Aulas de Marie Curie:** anotadas por Isabelle Chavannes em 1907. Trad. Waldyr Muniz Oliva. EDUSP. São Paulo, 2007
- CURIE, Eva. **Madame Curie.** São Paulo: Companhia Editora Nacional. Trad. Monteiro Lobato. São Paulo, 1943.
- CURIE, Marie. Pierre Curie, **With the autobiographical notes of Marie.** Nova York, 1963.
- CURIE. Marie. **Recherchers sur les substances radioatives.** Gallica. 1904.
- GOLDSMITH, Barbara. **Gênio Obsessivo:** o mundo Interior de Marie Curie. Tradução: Ivo Korytowski. Companhia das Letras. São Paulo, 2006.

HOBBSAWM, Eric J. **A era das revoluções Europa 1789 – 1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2007.

KAMINSKI, Lukaz. KORKUC. **Guia pela História da Polônia de 966 a 2016**. Varsóvia, 2016

MARTINS, Roberto de Andrade. **Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência**. Grupo de História e Teoria da Ciência, DRCC-IFGW, Unicamp, 2005

MCGRAYNE, Sharon. **Mulheres que venceram o Nobel**. São Paulo: Marco Zero, 1994.

PERROT, Michelle. **Os excluídos da história: operários, mulheres e prisioneiros**. São Paulo: Paz e Terra. Trad. Denise Bottmann. 2010.

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

SEGRÉ, Emilio. **Dos raios X aos quarks**. Trad. Wamberto H. Ferreira. Brasília. Ed. Universidade de Brasília. 1987.

THÉBAUD, Françoise. **Mulheres, cidadania e estado na França do século XX**. *In*: Tempo. Rio de Janeiro, n. 10, 2010

5



O PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA: SUA CONSTRUÇÃO HISTÓRICA E SUA DIDATIZAÇÃO

Anna Julya Santos de Oliveira¹
Alexandre Campos²

1 Introdução

O conceito de energia possui caráter unifica/dor, tanto na ciência quanto nas experiências diárias. No contexto científico, é possível aplicar o conceito em diversas áreas do conhecimento, permitindo, por exemplo, a transição entre ciências da saúde e ciências químicas por meio de aspectos quantitativos relacionados à energia. No entanto, esse caráter unificador também se manifesta em contextos não científicos, como na crença comum entre profissionais de terapias holísticas de que o contato com a terra favorece a harmonização das “energias” com o planeta.

1 Mestranda em Ensino de Ciências e Educação Matemática – UEPB. E-mail: annajulya.tso@gmail.com

2 Professor Doutor em Ensino de Física – UFCG. E-mail: alexandre.campos@df.ufcg.edu.br

Lindsay (1975) afirma que a palavra energia descreve muitos elementos da nossa experiência de forma econômica e poderosa. Isso ocorre, pois seja na ciência, seja no cotidiano, esse termo é muito abrangente. Essa captura de possibilidades torna possível explicar aparentemente de maneira bastante simples as experiências humanas e as observações, comprovações e explicações científicas, cada qual em seu domínio explicativo.

De acordo com Bunge (2000), o conceito de energia está no limite entre a física e a metafísica, já que é utilizado no domínio daquela, mas esse não é suficiente para sua explicação. Dessa forma, pode-se considerar que o conceito possui uma maior complexidade em relação a outros estudados na Física. Papadouris e Constantinou (2011) associam tal caráter, que é, ao mesmo tempo, unificador e abstrato, ao seu desenvolvimento histórico de forma confusa e fragmentada, pois é um conceito construído analiticamente, numa confluência dos processos de conversão, do ponto de vista qualitativo, e das respectivas confirmações quantitativas da conservação de uma grandeza numérica, do ponto de vista quantitativo.

Em acordo com as confirmações quantitativas, se percebeu a proximidade com a força viva, por conta, principalmente, de seu uso na função trabalho (Dugas, 1988; Kuhn, 2011). Ou seja, foi a partir da percepção de uma quantidade que se conserva que o conceito de energia foi engendrado. Configura-se, assim, o desenvolvimento de um conceito que é não observável. Portanto, o conceito de energia vai além de uma simples definição fechada, que se baseia apenas no aspecto operacional. Como dito por Feynman (2008), a energia é algo que não se sabe, ao certo, de que se trata, mas está relacionada a uma quantidade que se transforma e se conserva.

Tendo em vista as características desse conceito, sendo ele complexo, abrangente e abstrato, é viável pensar em aspectos de seu processo de didatização. Pesquisadores da área de ensino de ciências apontam que, do ponto de vista da aprendizagem e do desenvolvimento, a apreensão do que seja energia e do que seja

conservação de energia é muito frágil. Possui forte influência do termo energia, utilizado indistintamente no cotidiano e relacionado as suas diversas formas de manifestação, fato que pode contribuir para que o aluno não entenda o conceito apropriado (Hansen *et al.*, 2020).

Diante desse contexto, este estudo - recorte de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em licenciatura em Física- objetiva analisar o processo de didatização do princípio de conservação de energia mecânica a partir da Teoria da Transposição Didática (TTD), verificando o processo de transposição externa (passagem do saber sábio ao saber ensinar) nos livros didáticos de ciências da natureza aprovados no Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2021, para identificar a distância que existe entre esses saberes.

Para isso, o presente artigo está estruturado da seguinte maneira: na segunda seção, apresentamos os pressupostos teóricos, apresentando um breve panorama do conceito de energia no ensino e a Teoria da Transposição Didática como referencial teórico. A terceira seção explicitará a escolha metodológica que norteou a investigação, justificando a escolha dos livros. A quarta apresentará e discutirá a sobrevivência do conceito de energia mecânica nos livros didáticos, tomando como ponto de partida o saber original, aquele engendrado na esfera científica. Por fim, na última seção, delineamos algumas considerações e possíveis implicações a partir desse estudo.

2 Fundamentação Teórica

2.1 O conceito de energia no ensino

A complexidade que cerca o conceito de energia se mantém quando observado o seu ensino. Solbes e Tarín (1998) destacam que a abordagem desse conceito na Educação Básica é realizada de forma vaga. Por isso, os alunos finalizam seus estudos sem

conseguir relacioná-lo as suas principais características: a transformação e a conservação. Dessa forma, o ensino não privilegia aspectos da natureza do conceito, apenas a sua formalização matemática ou seu caráter utilitário.

Alguns temas são destacados como aspectos que cercam a dificuldade do ensino do conceito de energia, a exemplo da formação de professores na área de ensino de ciências. Osório, Stoll e Martins (2019) realizaram uma pesquisa com base em uma oficina ministrada para alunos do curso de Licenciatura de Ciências da Natureza. Nesta oficina, verificou-se que a maioria dos acadêmicos demonstrou o conhecimento apenas do aspecto operacional do conceito, definindo-o como “capacidade de realizar trabalho”. Portanto, os próprios professores em formação permanecem com uma definição vaga, parecida com a definição apresentada na Educação Básica, apenas com um nível matemático mais aprofundado.

Além disso, o conceito de energia é considerado interdisciplinar, pois, do ponto de vista escolar, não pertence exclusivamente a este ou àquele componente. Ele se encaixa em conteúdo de Física, Química, Biologia e até mesmo de Educação Física. Isso acaba ocasionando confusão em relação a sua definição, porque, para os alunos, aparenta existir uma definição diferente para cada disciplina. De acordo com Hansen *et al.* (2020), os alunos identificam durante a Educação Básica uma definição diferente para cada disciplina, assim, entendendo as diversas formas de energia como conceitos diferentes que não possuem relação entre si.

Outra questão que gera complexidade ao conceito é o seu uso abrangente nas situações cotidianas, seja relacionado aos aspectos utilitaristas como “preciso de energia para correr” ou até mesmo em relação a aspectos místicos como “esse ambiente tem uma energia negativa”. Por causa dessas ideias do senso comum sobre o conceito, surgem pesquisas que destacam as concepções espontâneas a seu respeito.

São chamadas de concepções espontâneas um agrupamento de categorias de ideias alternativas do conceito, presentes no

senso comum da maioria das pessoas. Tais concepções são, em sua maioria, consensuais, no que se refere às pesquisas em ensino de ciências, que tiveram seu auge nas décadas de 1980 e de 1990 (Solomon, 1988). Com base nessas pesquisas, as concepções foram sintetizadas em cinco: i. Antropocêntrica; ii. Energia armazenada (depósito); iii. Associada à força e movimento; iv. Energia como combustível e v. Fluido, ingrediente ou produto (Barbosa e Borges, 2006).

Por mais que as pesquisas a respeito das concepções espontâneas tenham acontecido há quatro décadas atrás, [elas] permanecem presentes nos dias atuais. Essas concepções são ainda reforçadas por alguns livros didáticos, já que eles, normalmente, apresentam uma ciência pronta, com definições fechadas e matematizadas, distorcendo a construção histórica e epistemológica dos conceitos. Isso causa um impacto direto no fazer escolar, já que os livros didáticos, muitas vezes, estão presentes como fonte principal, ou até mesmo única, para professores da Educação Básica.

Essa confusão e uso indiscriminado do conceito de energia e do princípio de conservação também sofrem influência de outros conteúdos estudados na escola. Segundo a revisão da literatura de Tatar e Oktay (2007), pesquisas realizadas, ainda na década de 1980, verificaram que, para os alunos explicarem o processo de combustão, recorreriam aos conhecimentos de Química (reações químicas), à percepção de que, na queima, ocorre diminuição da massa (da madeira, do papel etc), ao conhecimento que possuem de que, em nível atômico, a velocidade dos elétrons é c e da equação (por ser facilmente lembrada), para justificarem o princípio de conservação de energia (Tatar e Oktay, 2007).

Assim, é observado que, por mais que a preocupação acerca do ensino do conceito de energia exista há diversos anos nas pesquisas em ensino de Ciências, os problemas permanecem presentes. Diante de um conceito tão abrangente e abstrato, é necessário um processo de didatização que privilegie os aspectos de sua

construção e da sua natureza. Para verificar como esse processo tem ocorrido, será analisada a passagem entre o saber de origem e o saber presente nas salas de aula, identificando a distância que existem entre eles a partir da TTD.

2.2 Teoria da Transposição Didática

A TTD foi desenvolvida, inicialmente, por Michel Verret, em 1975, porém, em 1982, o didata francês Yves Chevallard retoma a ideia, tornando-a uma teoria para investigar aspectos da epistemologia (Brockington e Pietrocola, 2005). Esse desenvolvimento aconteceu na área da matemática, mas atualmente se estende entre diversas áreas, inclusive a Física. Isso pode ser observado nos trabalhos de Krapas (2011), Sobrinho (2014) e Nunes, Queirós e Cunha (2022).

Para entender a teoria, é importante conhecer o espaço e os agentes que nela atuam. Chevallard (1991) define o espaço, onde ela acontece, como sistema didático, que é composto por uma relação ternária: professor, aluno e saber. A respeito do saber, é importante destacar que existem três saberes distintos entre si: o saber sábio, o saber a ensinar e o saber ensinado. De acordo com Thiara *et al.* (2022), pode ser observada a tabela abaixo com as definições e fontes de cada um dos três saberes.

Quadro 1 – Os três saberes

Saberes	Definição	Fontes
Saber Sábio	Saber de origem, desenvolvido pelos cientistas	Fontes primárias
Saber a Ensinar	Saber modificado para que seja apresentado na escola de forma “ensinável”	Livros didáticos e materiais instrucionais
Saber Ensinado	Saber que o professor ensina em sala de aula	Ensino em sala de aula

Fonte: Os autores (adaptado de Thiara *et al.*, 2002, pp. 1308-2)

Portanto, a transposição didática se refere aos passos do saber sábio ao saber ensinado e a distância eventual que os separa, pois, para que seja possível o ensino de certo elemento, ele deverá ter sofrido algumas transformações para estar apto a ser ensinado. Pode-se verificar na figura 1 o esquema dessa transformação entre os saberes. As três esferas dos saberes e as setas indicam, respectivamente, a Transposição Didática Externa (T.E.), referente à transposição do Saber Sábido ao Saber a Ensinar e a Transposição Didática Interna (T.I.), referente à transposição do Saber a Ensinar ao Saber Ensinado.

Figura 1 – Transposição ocorrida entre os saberes



Fonte: Os autores

Por mais que a transposição esteja centrada no sistema didático, é necessário entender o que ocorre em seu exterior, chamado por Chevallard (1991) de entorno. O entorno imediato do sistema didático é o sistema de ensino que reúne o conjunto de sistemas didáticos e tem ao seu lado um conjunto estruturado que permite o funcionamento didático e intervém em seus diversos níveis, já o sistema de ensino possui em seu entorno a sociedade. Como dito por Cordeiro e Peduzzi (2013), Chevallard mostra que o processo de transposição vai além de simplificações do conteúdo, envolve direta ou indiretamente toda a comunidade ligada ao ensino.

Portanto, é possível notar que a estrutura do entorno é bastante complexa, pois, em seu interior, estão presentes os pais, acadêmicos e o governo. Entre o entorno da sociedade e o sistema de ensino estão localizados os principais acontecimentos para o funcionamento didático, correspondentes aos problemas,

conflitos, negociações e surgimento das soluções. Esse local é chamado por Chevallard (1991) de noosfera.

Como a transposição didática ocorre com o intuito de tornar o saber sábio ensinável, surge um problema quando ocorre o desinteresse por este saber [saber sábio], pois o que chega ao sistema não leva em conta a sua construção histórica e a sua epistemologia. Isso acaba gerando desgaste no saber, por causa das exigências que intervêm na preparação didática do saber e estão influenciando desde a construção do saber sábio.

No processo de textualização do saber, para torná-lo escolarizável, Chevallard (1991) apresenta algumas características inerentes ao processo: a descontextualização, a dessincretização, a despersonalização, a publicidade e a programabilidade. A seguir serão apresentados, no Quadro 2, os aspectos principais de cada característica com base nas definições de Thiara *et al.* (2022).

Quadro 2 – Características da textualização do saber

Características	Aspectos principais
Descontextualização	O saber é desvinculado dos seus problemas de origem e passa a ser generalizado
Dessincretização	O saber perde aspectos relacionados à epistemologia da ciência e passa a ter aspectos relacionados à epistemologia escolar.
Despersonalização	O saber é desvinculado do cientista e da sua relação com o saber, sendo divulgado de uma forma universal, impessoal.
Publicidade e programabilidade	O saber é adequado aos professores, alunos e programas de ensino, se tornando compatível ao tempo escolar disponível.

Fonte: Os autores (adaptado de Thiara *et al.*, 2022)

Dessa forma, ao tornar o saber escolarizável, ele é retirado do seu nicho epistemológico, divulgado de forma impessoal, separado dos seus inúmeros autores e afastado do seu contexto histórico. Sendo assim, a textualização do saber não será apenas

uma simplificação do saber original, mas a criação de um novo saber.

Portanto, entendendo que existe a criação de um novo saber, pode ser colocada em prática a vigilância epistemológica. Essa prática possibilita que os agentes do sistema de ensino preservem a distância necessária entre o saber sábio e o saber escolar, garantindo que essa separação não cause erros conceituais ao objeto de saber (Pereira, Paiva e Freitas, 2016).

3 Metodologia

Ao realizar uma pesquisa, é necessário definir qual tipo de investigação se realiza. De acordo com o problema de pesquisa e metodologia desse trabalho, é possível definir a investigação a ser realizada como qualitativa. Esse tipo de investigação ocorre, quando a preocupação é interpretar as mensagens dos sujeitos, utilizando-se do aspecto descritivo para tratamento dos dados obtidos.

Essa pesquisa tem como objeto de pesquisa fontes históricas do conceito estudado e os livros didáticos da área de Ciências da Natureza do ensino médio aprovados no PNL D 2021. Dessa forma, entendendo a diversidade metodológica da pesquisa qualitativa, de acordo com os objetivos dessa pesquisa, pode-se definir esse trabalho como uma Pesquisa Documental, pois segundo Ludke e André (2013, p. 45), “a análise documental busca identificar informações factuais nos documentos a partir de questões ou hipóteses de interesse”.

Para complementar a análise de documentos, foi utilizada a Teoria da Transposição Didática. Com objetivo de entender a natureza do conceito de energia mecânica, seu princípio e conservação, foi observada a sua construção histórica, direcionando a análise para o saber de origem, aquele desenvolvido na esfera da ciência, para que, posteriormente, fosse realizada uma comparação com o saber a ensinar, presente nos livros e materiais didáticos.

Todavia, pesquisar sobre a história da evolução de um conceito científico não é fácil. Conforme destacado por Gomes (2015), o primeiro obstáculo são as fontes, pois é unânime a prioridade dada às fontes primárias, mas quando se trata de um conceito construído por vários pesquisadores ao longo de séculos, se torna muito difícil a finalização da análise, dependendo do tempo disponível para pesquisa. Outro obstáculo são as fontes secundárias, já que quem escreve sobre algo emite sua opinião sobre aquilo, porque entendemos que não existe escrita neutra.

Com intuito de minimizar erros na abordagem histórica do conceito, foram utilizadas como base as fontes secundárias indicadas por Martins (1984). Ao longo de sua leitura, algumas fontes primárias foram selecionadas. Como a construção histórica do conceito de energia mecânica é bastante rica em detalhes e complexa, esse trabalho não tem como intuito descrevê-la completamente, mas abordar o que foi discutido pelos cientistas dentro do limite do mundo ocidental, no período da Antiguidade até o século XVIII.

Partindo para a análise da Transposição Didática Externa, primeiramente foram escolhidos os livros didáticos. Para essa escolha, foram utilizadas como critério as coleções aprovadas no PNLD 2021 (Quadro 3), já que são livros a que os docentes possuem um maior acesso. Inicialmente, foram selecionadas as unidades que abordavam o conceito de energia mecânica e seu princípio de conservação de cada coleção.

Quadro 3 – Coleção de livros didáticos analisados

Título	Editora	Ano
Ciências da Natureza – Lopes e Rosso	Moderna	2020
Conexões - Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	2020
Diálogo - Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	2020
Materia, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar	Scipione	2020

Título	Editora	Ano
Moderna Plus - Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	2020
Multiversos – Ciências da Natureza	FTD	2020
Ser Protagonista Ciências da Natureza e suas Tecnologias	SM	2020

Fonte: Dados da pesquisa – Link: https://pnld.nees.ufal.br/pnld_2021_proj_int_vida/componente-curricular/pnld2021-didatico-ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologia

Com isso, foi observado como os livros apresentam o conceito-chave de trabalho, energia mecânica, energia cinética, energia potencial e conservação de energia. Para a análise, foram verificadas as cinco características destacadas por Chevallard, citadas anteriormente, que devem estar presentes no processo de textualização do saber, para torná-lo escolarizável. Dessa forma, foi possível notar qual a distância existente entre saber de origem, presente na construção do conceito e o saber a ensinar, presente nos materiais didáticos.

4 Discussão dos Resultados

Com o objetivo de observar a transposição do conceito de energia mecânica e seu princípio de conservação, foi necessária a análise da construção histórica desse conceito para compará-lo com o saber a ser ensinado presente nos livros didáticos e notar os passos e a distância que existe entre ele e o saber sábio.

4.1 O desenvolvimento histórico do princípio de conservação da energia mecânica

4.1.1 Raízes do conceito: Antiguidade e Idade Média

Não é simples dizer quando começou a surgir o conceito de energia mecânica, mas é possível observar raízes do conceito

no livro VIII do tratado *Physica*, elaborado por Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.), onde são apresentadas questões relacionadas ao movimento e às máquinas. Nesse trabalho, ele destaca a ideia de conservação, que é a chave do conceito de energia. De acordo com McKeon (1930 *apud* Lindsay, 1976) se uma coisa é o dobro da outra quando antes não era assim, uma ou outra delas, se não ambas, deve ter sido um processo de mudança. Logo, é possível notar o entendimento de que, mesmo em meio a uma mudança de um movimento, existe um valor que se mantém o mesmo.

No livro *Mechanica*, obra Pseudo Aristotélica, é tratado a respeito do funcionamento das máquinas, em específico a balança e a alavanca. Nesse trabalho, é apresentada a ideia de proporção e compensação de grandezas nos movimentos. Essa mesma ideia também aparece no trabalho sobre mecânica de Heron de Alexandria (10 d.C. - 70 d.C.). A percepção da compensação demonstra a ideia de que se ela existe é para manter uma quantidade constante.

Já no século 15, recorrente nos estudos a respeito de problemas mecânicos, surgem as discussões sobre o movimento perpétuo com autores como Leonardo Da Vinci (1452 - 1519). Essa questão tem implicação direta no conceito de energia, pois, se o movimento perpétuo existisse, significaria que o movimento persistiria, mesmo que a energia mecânica do sistema fosse dissipada sem receber qualquer outro tipo de energia para suprimir a perda.

As ideias de Da Vinci sobre a impossibilidade do movimento perpétuo influenciaram Jerome Cardan (1501-1576) e Simon Stevin (1548-1620). Cardan, na sua obra *De Subtilitate*, também reafirma a impossibilidade desse tipo de movimento. Por mais que não apresente observações conclusivas, ele demonstra a consistência da improbabilidade de conseguir algo em troca de nada. De acordo com Leiden (1663 *apud* Lindsay, 1976), a continuidade do movimento vem daquilo que está de acordo com a natureza ou não é uniforme. Aquilo que sempre diminui,

a menos que seja continuamente renovado, não pode ser perpétuo. Portanto, notamos aí a base para o conceito de conservação e transferência de energia.

4.1.2 Século XV ao XVIII (Algumas contribuições de Galileu Galilei (1564-1642))

Nas ideias de Galileu Galilei, também é possível identificar vestígios da ideia de energia. No seu *trabalho On Motion and on Mechanics*, ele deixa claro sua compreensão completa sobre a característica essencial de qualquer máquina, o princípio da compensação. Portanto, o que se ganha em força perde-se em velocidade. Essa compreensão fica clara, quando ele afirma que:

[...] quem espera e tenta por meio de máquinas obter o mesmo efeito sem diminuir a velocidade do corpo móvel certamente se enganará e demonstrará que não compreende a natureza dos instrumentos mecânicos e as razões de seus efeitos (Galilei, 1960, p. 159 *apud* Lindsay 1976, p. 88).

Logo, nesse trabalho está presente os primórdios do conceito de energia, já que, na ideia de compensação, existe um resquício que podemos considerar o início da ideia de conservação e transformação de energia. Além desse trabalho, pode-se analisar o exemplo de constância encontrado por Galileu no seu livro conhecido como *Discorsi*, publicado em 1638. O autor, buscando identificar que a velocidade de uma bola caindo livremente sob a gravidade depende apenas da altura de onde ela cai, se convenceu de que, no momento de queda, algo permanece constante. Com a sequência de suas explicações de forma empírica, é possível comprovar que Galileu possuía uma noção intuitiva sobre a compensação. Isso indica as ideias iniciais a respeito do princípio fundamental relacionado ao conceito de energia mecânica e sua conservação.

4.1.3 Algumas contribuições de Descartes (1596 – 1650)

Seguindo para Descartes, analisando um pequeno trecho da obra *Princípios de Filosofia* nota-se a constatação e as observações a respeito da conservação da quantidade de movimento. Ao longo do trecho, de acordo com Magie (1935 *apud* Lindsay, 1976), Descartes afirma que, na natureza do movimento, existe uma quantidade de movimento que nunca muda, nunca aumenta nem diminui. Ele afirma que um material pode conservar continuamente uma quantidade igual de movimento, porém atribui esse fenômeno a Deus, explicando que, por esse ser imutável, isso é expresso na natureza. É possível observar isso quando ele afirma que,

Como Deus não está sujeito a mudanças, agindo sempre da mesma maneira, podemos chegar ao conhecimento de certas regras a que chamo as leis da Natureza, e que são as causas segundas, particulares, dos diversos movimentos que observamos em todos os corpos [e daí a importância dessas leis] (Descartes, 1997, p. 76).

Portanto, é interessante destacar que a importância dessas ideias de Descartes é sua ênfase na conservação. Por mais que ele não entendesse a razão dessa constância e atribuísse essa questão para um ser divino, essas constatações levantam aspectos importantes para o entendimento da ideia de conservação de energia.

4.1.4 Algumas contribuições de Leibniz (1646-1716)

Logo após, pode-se destacar um dos principais autores para o desenvolvimento do conceito em questão, Leibniz. Em 1686, foi publicado o trabalho *Acta Eruditorum*, por meio do qual o autor contesta as ideias de Descartes, informando que Descartes considerava a força de movimento (intitulada *vis motrix*) igual

à quantidade de movimento (produto da massa do corpo pela velocidade), sendo essas grandezas conservadas por Deus. Para comprovar que essa ideia estava errada, Leibniz apresentou uma série de exemplos de proporção e compensação.

No artigo conhecido como *Specimen dynamicum*, publicado em 1695, Leibniz escreve a respeito da natureza das forças. Ele explica que a força é dupla em caráter, sendo composta pela força morta (*vis mortua*), que seria apenas a instigação do movimento e pela força viva (*vis viva*), que seria a força associada ao movimento real. Atualmente, é possível relacionar essas nomenclaturas com termos reconhecidos, assim a *vis mortua* seria uma ideia próxima ao conceito de energia potencial e a *vis viva*, uma ideia próxima ao conceito de energia cinética. Além disso, sobre o final desse artigo, Lindsay (1975) afirma que o autor enfatiza a dependência entre a *vis viva* e “” (Equação 1).

4.1.5 Algumas contribuições de Johan Bernoulli (1667 – 1748) e D’Alembert (1717 – 1783): controvérsias sobre a vis viva

Nessa construção histórica, também esteve presente Johan Bernoulli, que se aliou a Leibniz ao se opor às ideias de Descartes. Nos capítulos V, IX e X do livro *Discours sur les lois de la communication du mouvement*, Bernoulli (1724 *apud* Lindsay, 1975), demonstra a intenção de determinar a verdadeira medida de *vis viva*, explicando a natureza e as propriedades dessa força.

No capítulo V, ele destaca as diferenças entre *vis mortua* e *vis viva*, sendo *vis mortua* apenas um esforço que não possui muita duração e a *vis viva* um movimento local real, portanto, a ideia presente no princípio de Leibniz. Para essa explicação, são utilizados alguns exemplos, como o de uma mola que, quando esticada, possui a capacidade de voltar, no mesmo grau que tinha originalmente, destacando a conservação das forças dos corpos em movimento. É interessante destacar que, sempre nos exemplos, existe a presença de um objeto com contato

forçando o movimento. Essa ideia pode ser resquícios das ideias de Aristóteles a respeito do movimento.

Neste trabalho, Bernoulli (1724 *apud* Lindsay, 1975) justifica sua pesquisa, informando a respeito das discussões filosóficas que persistiam na época, por causa do confronto das ideias de Descartes e de Leibniz. Assim, ele se dedica às ideias de Leibniz, já que suas primeiras ideias não eram claras e fez com que surgissem vários críticos. Dessa forma, o estudioso, através de algumas práticas empíricas apresenta a prova de que a *vis viva* de um corpo é proporcional ao quadrado da velocidade e não à própria velocidade.

D'Alembert também contribuiu para o desenvolvimento do conceito. De acordo com Magie (1935 *apud* Lindasy, 1976), em seu trabalho *Traité de Dynamique*, publicado em 1743, a discussão entre Leibniz e Descartes não tem importância, seria uma mera discussão sobre palavras. De acordo com D'Alembert, o movimento só ocorre por meio de obstáculos, sendo eles os obstáculos impenetráveis, os que têm precisamente a resistência e os que destroem o movimento aos poucos. Desenvolvendo sua ideia, a força é igual a quantidade de movimento apenas em casos de equilíbrio. Já no movimento retardado, o número de obstáculos superados é proporcional ao quadrado da velocidade. Ele também afirma que aqueles que disseram que a força é ora proporcional à velocidade, ora ao seu quadrado, só podem estar falando do efeito que se expressa.

4.1.6 Algumas contribuições de Euler (1707 – 1783)

Dando continuidade ao desenvolvimento do conceito de energia mecânica, observa-se a obra *Recherches sur l'origine des forces* de Leonard Euler. Ele se detém a estudar problemas de colisão de partículas, enfatizando que as forças são entidades que agem de fora sobre os corpos e deduzindo de forma analítica a

lei da conservação do momento e a equação de energia. Porém, é interessante destacar que Euler não utiliza nenhuma dessas terminologias e não faz referência à discussão de Descartes e Leibniz.

Portanto, Euler, de acordo com a tradução de Lindsay (1976), utilizando um exemplo de colisão linear, analisa os momentos anterior, momentâneo e posterior à colisão. Ele utiliza a segunda lei de Newton de forma diferencial para descobrir a magnitude da força, que, agindo sobre os corpos no instante dt , reduz a distância de seus diâmetros. Portanto, representa a colisão através da seguinte equação:

$$Av + Bu = Aa + Bb \quad (2)$$

Com isso, Euler afirma que uma propriedade geral de casos de colisões é o movimento do centro de gravidade comum não ser alterado pela ação do impacto dos corpos. Atualmente, entende-se que essa afirmação é a explicação da conservação da quantidade de momento, porém, em nenhum momento o autor utiliza essa nomenclatura.

Além disso, integrando as equações diferenciais é possível deduzir, analiticamente, a *vis viva* do sistema de dois corpos. A equação demonstra que a mudança da energia cinética é igual ao trabalho realizado na colisão, se no instante do impacto $z = 0$, $v = a$, e $u = b$, é possível escrever a equação 3.

$$Avv + Buu = Aaa + Bbb - 2 \int P dz \quad (3)$$

Por mais que Euler não fale a respeito da *vis viva*, com essa demonstração ele alcança uma etapa muito importante para o desenvolvimento do conceito de energia mecânica. Aqui se destaca que o exemplo utilizado neste trabalho não enfatiza a questão do contato dos corpos, o que demonstra uma superação do pensamento aristotélico sobre a mecânica.

4.1.7 Algumas contribuições de Daniel Bernoulli (1700 – 1782)

Daniel Bernoulli, assim como seu pai, Johann Bernoulli, também foi adepto das ideias sobre *vis viva*. Ele, através de seu trabalho publicado em 1748 para a Academia de Berlim, estabelece a equação da energia para casos especiais do corpo em queda e para atração gravitacional da lei do quadrado inverso.

Inicialmente, ele define a *vis viva* para um sistema com vários corpos, onde nenhum deles se move independente dos outros e cada um está sujeito a uma gravidade. Sendo as massas m, m', m'' e assim por diante e as velocidades v, v', v'' e assim por diante. Se consideramos um único corpo como independente do sistema, quando ele estiver livre, a velocidade será u, u', u'' e assim por diante. Então, a conservação da *vis viva* será:

$$mv^2 + mv'^2 + \dots = mu^2 + mu'^2 + \dots \quad (4)$$

Em outro exemplo, para gravidade uniforme e paralela, o quadrado da velocidade será proporcional ao deslocamento, então haverá uma conservação da *vis viva* em relação à altura da queda. Com isso tendo os corpos massas m, m', m'' e assim por diante e as distâncias x, x', x'' e assim por diante, observamos que:

$$u^2 = 2x, u'^2 = 2x', u''^2 = 2x'', \dots \quad (5)$$

Assim, podemos chegar a equação da conservação da *vis viva*:

$$mv^2 + m'v'^2 + m''v''^2 + \dots = 2mx + 2m'x' + 2m''x'' + \dots \quad (6)$$

Portanto, Daniel Bernoulli fica impressionado em como a lei da conservação da *vis viva* pode ser aplicada em diversas situações. Além disso, é possível verificar que, de forma completamente analítica, ele consegue demonstrar a conservação desse conceito.

4.1.8 Algumas contribuições de Thomas Young (1773 – 1829)

Thomas Young também contribuiu para o desenvolvimento do conceito de energia, pois, em sua oitava palestra, na qual discutia a respeito de colisões, é sugerido o uso da palavra energia para definir a *vis viva*. Nessa palestra, ele explica como se comportam a força, velocidade e centro de inércia, em casos de colisão com corpos elásticos e inelásticos. Partindo dessas discussões, Young afirma que, em casos de colisões, a soma dos momentos de todos os corpos do sistema, isto é, de suas massas ou pesos multiplicados por números que expressam suas velocidades, é o mesmo, quando reduzido à mesma direção, após sua colisão mútua, como era antes de sua colisão (Young, 1845 *apud* Lindsay, 1975).

Seguindo isso, ele sugere que o termo de energia poderia ser aplicado para definir o produto da massa de um corpo pelo quadrado da velocidade. Além disso, é explicado que, na época, esse produto era intitulado como força viva e alguns consideravam que seria o mesmo da quantidade de movimento, retornando a ideia da controvérsia da *vis viva* entre Descartes e Leibniz. Porém, de acordo com Young, essa força merece uma denominação diferente. A sugestão que Young traz é o que se define hoje como energia cinética, já que existem vários tipos de energia. Também, pode-se destacar que o uso do termo energia não teve impacto no uso até o século XIX, mesmo assim sua contribuição é inquestionável no âmbito da construção do conceito de energia.

4.1.9 Algumas contribuições de Lazaret Carnot (1752 – 1823)

Lazaret Carnot, pai do conhecido Sadi Carnot e aluno de D'Alembert, destacou aspectos relacionados a *vis viva* no contexto das máquinas. Ao analisar a mecânica, com objetivo de descobrir como o movimento iniciado é mantido, propagado e modificado, ele consegue relacionar a *vis viva* com o trabalho,

sendo a *vis viva* o produto da massa pela velocidade ao quadrado e o trabalho a capacidade de deslocar um peso em certo momento.

Portanto, sendo a massa M , o peso P , a altura H , as velocidades V e V' , além disso, dt o elemento tempo e T o tempo, Carnot chega à seguinte equação:

$$PH = \frac{MVV'T}{dt} \quad (7)$$

Logo, sendo dt e T quantidades homogêneas, PH será equivalente ao produto da massa multiplicado pelo produto de duas velocidades ou o quadrado da velocidade média entre V e V' , que podemos chamar de u^2 (Carnot, 1803 *apud* Lindsay, 1975). Com isso, é obtida a seguinte equação:

$$PH = Mu^2 \quad (8)$$

Dessa forma, consegue alcançar um novo passo em relação à construção do conceito, pois trabalha e relaciona as quantidades atualmente conhecidas como trabalho e energia cinética, mas anteriormente conhecida como *vis viva* e momento de ação. Além disso, esse exemplo é uma aplicação do princípio de conservação da *vis viva*, já, mesmo variando as quantidades como força, velocidade e tempo, o trabalho e a energia jamais ultrapassará MPH (Oliveira, 2006).

4.1.10 Algumas contribuições de Lagrange (1736 – 1813)

Lagrange também contribui em relação à formalização da conservação da energia mecânica, pois, para completar a solução de um problema no movimento de um sistema de partículas através do princípio de menor ação, era necessário um outro princípio. Portanto, o autor utilizou a equação de energia formada por Daniel Bernoulli, chegando à equação que expressa a conservação da *vis viva*.

$$S = \left\{ \left(\frac{dx}{dt} \right) + \left(\frac{dy}{dt} \right) + \left(\frac{dz}{dt} \right) + 2\pi \right\} m = 2H \quad (9)$$

Sendo H constante, vemos que a conservação da *vis viva* é igual a . Então, destaca-se que Lagrange consegue realizar a primeira formalização analítica da equação da mecânica para um sistema de partículas, pois é possível identificar, nessa equação, o que se chama, atualmente, de energia cinética e de energia potencial (Lindsay, 1975).

4.2 Transposição didática externa para o conceito de energia mecânica

Sendo a transposição externa a passagem do saber sábio ao saber a ensinar, entende-se que, neste local, acontece a textualização do saber. Portanto, surge um novo saber, com objetivo de didatizar o saber original. Conhecendo a existência dessa modificação, Chevallard destaca a importância da prática pedagógica reflexiva e questionadora, enfatizando a necessidade de o professor exercer a vigilância epistemológica (Brockington e Pietrocola, 2005).

Para realizar essa análise a respeito do conceito de energia mecânica e seu princípio de conservação, foram observadas as definições conceituais encontradas nos livros didáticos para o conceito de trabalho, energia mecânica, energia cinética, energia potencial e conservação de energia mecânica. De acordo com essas definições, tendo como referência aspectos e trechos históricos originais já apresentados anteriormente, pode ser verificado, nos livros didáticos, os aspectos de publicidade e programabilidade, despersonalização, desincretização e descontextualização.

Primeiramente, levanta-se alguns aspectos relacionados à publicidade e à programabilidade. O conceito de energia possui um longo caminho na sua construção, tendo diversas implicações importantes em relação a sua natureza. Porém, é observado em todos os livros que, para se adequar ao tempo didático, os

conceitos-chaves são apresentados com uma curta definição, partindo direto para descrição da fórmula. Dessa forma, é possível perceber que o foco está em operacionalizar o conceito. Além disso, em nenhum momento, os livros trazem os problemas de origem para construção do conceito, como por exemplo, o estudo do funcionamento das máquinas, enquanto motivador para sua definição.

Outro aspecto a ser pensado é a despersonalização, o ato de excluir o sujeito e separar a pessoa do saber. Por mais que o conceito de energia não tenha um autor principal, diversos cientistas trouxeram grandes contribuições para o desenvolvimento do conceito, desde a antiguidade até o século XVIII, como identificado ao longo do trabalho. Apenas a coleção Moderna Plus cita que vários cientistas tinham a noção de que a energia de um sistema se mantinha constante, apresentando que: “Há muito tempo, **os cientistas** perceberam que a quantidade de energia de um sistema isolado é uma grandeza invariável (Amabis *et al*, 2020, p. 20, **grifo nosso**)”. Porém, em nenhum dos demais livros didáticos, o conceito é associado à ação de algum indivíduo, o que fortalece a imagem de uma ciência que nasce pronta, sem influência humana.

Sobre o aspecto de dessincretização, quando os livros didáticos são analisados, é possível observar a total modificação do conceito. Nenhum dos livros apresenta contextualização histórica, eles seguem uma linha de definição dos conceitos, abordando primeiro a energia cinética, depois a energia potencial e, por fim, a energia mecânica e sua conservação, relacionando as duas formas anteriores de energia. Isso não acontece no seu desenvolvimento, pois o conceito de energia é descoberto de maneira desordenada e simultânea, com aspectos que remetem sempre a sua transformação e conservação (Kuhn, 2011).

Em sua maioria, os livros abordam o conceito, trazendo-o para o cotidiano, com situações reais, como um galho caindo de uma árvore, um estilingue ou a mola do motor de um veículo. Isso acaba fortalecendo a ideia de um conceito totalmente utilitarista,

além disso, acaba reforçando algumas concepções alternativas do conceito que deveriam ser discutidas em sala de aula. Sendo assim, o conceito perde em sua maior parte, seus aspectos epistemológicos que remetem à natureza do conceito científico. Isso gera o ensino de novos saberes que se encontram muito distantes dos saberes originais, chegando até mesmo a serem apresentados com concepções espontâneas.

Verifica-se essas concepções, quando é expressada, em cinco das sete coleções, a ideia de que a energia é algo substancial que pode ser “armazenado”, descrevendo que: “Ao elevar verticalmente um corpo de massa m a uma altura h , o corpo **armazena** uma determinada quantidade de energia, chamada de energia potencial gravitacional” (Carnevalle, 2020, p. 19, **grifo nosso**) ou “A energia potencial elástica é a energia **armazenada** em corpos como molas e elásticos, quando eles são deformados” (Santos, 2020, p. 108, grifo nosso). A concepção do conceito relacionado à ideia de um produto que pode ser “carregado” também aparece em uma das coleções, ao destacarem que “[...] todo corpo colocado a certa altura em relação à superfície da Terra **carrega** consigo uma quantidade de energia denominada Energia potencial gravitacional” (Thompson *et al.*, 2020, p. 52, **grifo nosso**).

A descontextualização se refere ao deslocamento do contexto original do saber. Portanto, na sua construção, verifica-se um desenvolvimento com base na reflexão do funcionamento das máquinas, em que, de maneira analítica, os cientistas chegam a algumas definições e descrições matemáticas. Já nos livros didáticos, não é destacado nenhum desses aspectos, pois, ao tentar aproximar o conceito da realidade, os autores abordam situações cotidianas, mas essa abordagem sempre surge com foco operacional, no sentido de aplicar valores em uma fórmula pré-definida.

Por mais que seja necessária a adequação do saber original para o ambiente de ensino, é importante ter atenção voltada para os aspectos analisados, pois a distância entre o saber sábio e o saber a ensinar deve ser a menor possível, para trazer aos alunos

aspectos da construção e natureza do conceito. Dessa forma, os alunos não conseguirão ver o ensino do conteúdo apenas como método de resolver exercícios, mas de refletir sobre a vida e as situações ao seu redor.

5 Considerações

Diante do que foi apresentado desde o início, é possível notar a complexidade que envolve o conceito de energia em sua construção histórica, pela superficialidade com que se apresenta nos livros didáticos e, até mesmo, pela aparente falta de clareza presente nos artigos da área. Essas constatações, talvez, ajudem a entender as dificuldades existentes em relação ao seu ensino.

Ao tentar identificar como é realizada a abordagem por parte dos pesquisadores da área, a fundamentação teórica aponta os diversos problemas que existem relacionados ao ensino do conceito. Além disso, até mesmo esses pesquisadores que abordam a natureza do conceito em alguma parte do texto, em alguns momentos, acabam recorrendo às ideias utilitaristas. Dessa forma, as concepções espontâneas são reforçadas, isso faz com que perdurem por mais tempo.

Tendo em vista essas considerações, partindo para verificar como o conceito é destacado nos livros didáticos (saber a ensinar), foi necessário entender o seu desenvolvimento histórico (saber sábio). Esse aspecto é bastante relevante, já que vários cientistas contribuíram para a construção desse conceito. Ele não possui um nome específico nesse processo, mas diversos autores que, de maneira não linear, com questionamentos e complementações de ideias uns dos outros, em alguns casos até sem o conhecimento do trabalho de outros cientistas (Kuhn, 2011), chegaram ao que se compreende atualmente.

Também é possível destacar que os aspectos principais da natureza do conceito são a conservação e conversão da energia. Com a análise, nota-se que a raiz dessas ideias vem desde

a antiguidade, já que diversos cientistas identificaram que existia uma quantidade de algo que sempre se mantinha constante. Assim, a partir da observação do funcionamento das máquinas e de pesquisas analíticas ao longo de anos, o conceito foi construído.

Porém, quando são observados os livros didáticos, o conceito descrito sempre é destacado de maneira direta e simples, sem seus aspectos epistemológicos e processos de desenvolvimento. Além disso, os autores, com intuito de aproximar o conceito da realidade dos estudantes, acabam relacionando com situações cotidianas, mas a forma como é realizada a relação acaba reforçando concepções espontâneas e a ideia de um conceito utilitarista.

Outro ponto a ser destacado é a ênfase na operacionalidade realizada pelos livros didáticos. As definições das formas de energia sempre são descritas por uma fórmula padrão, já finalizada, seguida de exemplos de aplicação dessa fórmula em situações descritas. Dessa forma, pode-se considerar que os livros didáticos não abordam o conceito destacando sua natureza e aspectos epistemológicos.

Como dito por Sobrinho (2014), esse distanciamento aponta implicações negativas em relação à compreensão e formação conceitual para o público-alvo dos livros didáticos. Esse apontamento é relevante, pois os livros didáticos possuem grande importância, já que, em muitos casos, ele é o único material didático disponível para alunos e professores. É interessante pensar que a noosfera possui um grande papel nessa questão, pois ela influencia diretamente a transposição externa.

A implicação do que foi abordado é a propagação da ideia de uma ciência que nasce pronta, bem definida e não pode ser refutada. Assim, os alunos mantêm a ideia de uma física estática, sem utilidade para vida. Também pode-se destacar o fortalecimento das concepções espontâneas e sendo essas concepções algo já presente nas ideias dos alunos por causa do uso do conceito no cotidiano, ter materiais didáticos que reforcem essas ideias pode ser um problema, principalmente, se os professores não aplicam

a vigilância epistemológica sobre o saber a ensinar para torná-lo a saber ensinado.

Dessa forma, é possível notar as contribuições de uma análise desse tipo sobre o conceito de energia. Já que mesmo que a complexidade e dificuldades relacionadas ao conceito e sua aprendizagem sejam abordados há décadas, é observado, nos artigos científicos da área e nos materiais didáticos atuais, que o conceito não é tratado da melhor maneira.

Referências:

AMABIS, J. M. *et al.* **Moderna plus:** ciências na natureza e suas tecnologias: manual do professor. São Paulo: Moderna, 2020.

BARBOSA, J. P. V.; BORGES, A. T. O Entendimento dos Estudantes sobre energia no Início do Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 182-217, 2006.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

BUNGE, M. Energy: Between Physics and Metaphysics. **Science and Education**, Nova Iorque, v. 9, p. 457-461, 2000.

CARNEVALLE, M. R. (ed.). **Ciências da natureza:** Lopes e Rosso: manual do professor. São Paulo: Moderna, 2020.

CHEVALLARD, Y. **La Transposicion Didactica:** Del saber sabio al saber enseñado. Argentina: La Pensée Sauvage, 1991.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 3602-1 - 3602-11, 2013.

DESCARTES, R. **Princípios da filosofia**. Tradução: João Gama. Lisboa: Edições 70, 1997.

DUGAS, R. **A History of Mechanics**. New York: Dover Publications, 1988.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R.; SANDS, M. **Lições de física de Feynman. [Revisão Técnica]**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GALILEI, G. **Dialogues concerning two new sciences**. Tradução: Henry Crew e Alfonso de Salvio. New York: The Macmillan Company, 1939.

GOMES, L. C. A história da evolução do conceito físico de energia como subsídio para o seu ensino e aprendizagem – parte I. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 407-441, 2015.

HANSEN, T. *et al.* O conceito de energia em periódicos da área de educação em ciências: a discussão da conservação/degradação de energia em práticas educativas de perspectivas Freire-CTS. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 25, n. 1, p. 120-139, 2020.

KRAPAS, S. Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 564-600, 2011.

KUHN, T. S. A conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea”. *In*: KUHN, T. S. (Org.). **A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica.** Tradução: Marcelo Amaral Penna-Forte. São Paulo: Unesp, p. 89-126, 2011.

LINDSAY, R. B. **Energy: historical development of the concept.** Stroudsburg, Pennsylvania: Halsted Press, 1975.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: Abordagem Qualitativas.** 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U, 2013.

MARTINS, R. A. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 6, p. 63-95, 1984.

NUNES, R. C.; QUEIRÓS, W. P.; CUNHA, J. A. R. Conceito de massa e a relação massa-energia no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física. **Ensenanza de la física**, Córdoba, v, 34, n. 1, p. 9-21, 2022.

OLIVEIRA, A. R. E. **A evolução do conceito físico de trabalho no contexto das máquinas.** 2006. Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

OSÓRIO, T.; GARCIA STOLL, V.; MARQUES MARTINS, M. Investigação na Formação Inicial: concepções sobre as TIC e a Energia no Curso de Licenciatura em Ciências da Natureza. **Revista Insignare Scientia**, Cerro Largo, v. 2, n. 2, p. 22-36, 2019.

PAPADOURIS, N.; CONSTANTINO, C. P. A Philosophically Teaching Informed Teaching Proposal on

the Topic of Energy for Students Aged 11-14. **Science and Education**, Nova Iorque, v. 20, p. 961-979, 2011.

PEREIRA, R. C.; PAIVA, M. A. V.; FREITAS, R. C. O. Vigilância epistemológica de Chevallard em um estudo de caso sobre o conceito de divisibilidade em uma turma do 6º ano do ensino fundamental. *In: Encontro Nacional de Educação Matemática*, 7., 2016, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo, 2016, p. 1-11.

SANTOS, K. C. (ed.). **Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor**. 1º ed. São Paulo: Moderna, 2020.

SOBRINHO, M. F; CARNEIRO, M. H. S. Newton e a decomposição da luz solar em um prisma: o que trazem os livros de ensino médio? **REnCiMa**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 35-55, 2014.

SOLBES, J.; TARÍN, F. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 16, n. 3, p. 387-397, 1998.

SOLOMON, Joan. The dilemma of science, technology and society education. *In: FENSHAM, Peter J. (Ed.). **Development and dilemmas in science education***. London: The Falmer Press, p. 266-281, 1988.

TATAR, E.; OKTAY, M. Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature. **International Journal of Environmental & Science Education**, [s.l.], v. 2, n. 3, p. 79-81, 2007.

THIARA, A. C. *et al.* Transposição didática: A radiação do corpo negro nos livros didáticos do PNLD 2018. **Latin American**

Journal of Physics Education, v. 16, n. 1, p. 1308-1 - 1308-10, 2022.

THOMPSON, M. *et al.* **Conexões**: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor. 1º ed. São Paulo: Moderna, 2020.

6



A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E RELIGIÃO EM LIVROS DIDÁTICOS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA DO PNLD 2021¹

Diego Lopes Bezerra²

1 Introdução

Ao longo dos anos, Ciência e Religião têm tanto “dado as mãos” quanto concorrido na tentativa de explicação das questões fundamentais da humanidade. Conforme Rodrigues e Motta (2011), na tentativa de explicação da realidade, essas duas áreas do conhecimento, geralmente, são vistas como inimigas, empenhadas num combate mortal pela posse dos corações e mentes do público. No âmbito do ensino de Ciências, é muito comum surgirem situações que as coloquem em disputa, enaltecendo um campo em detrimento do outro, quer por parte dos alunos, quer por parte dos professores, quer por parte dos autores dos livros

1 Agradeço ao professor Dr. Marcos Antônio Barros Santos do Programa de Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática da UEPB, por suas significativas contribuições e orientações para execução desta pesquisa.

2 Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática pela UEPB.

didáticos utilizados na sala de aula, o que indica a importância das reflexões em torno dessa temática.

O interesse pelo estudo da relação entre Ciência e Religião é, a priori, algo de cunho pessoal, haja vista possuir uma cosmovisão religiosa e também ser encantado pelos mistérios e explicações da Ciência. Além disso, outro motivo são as perguntas realizadas por alguns alunos, quando se deparam com contextos que acabam levantando esta temática. E agora, no papel de professor e pesquisador, é importante estar mais ambientado, para poder responder respeitosamente às indagações que, porventura, venham a aparecer.

Na graduação, esse eixo de estudo só me despertou no último ano. Já, no mestrado, a dúvida era por qual caminho seguir para estudar esta relação entre a Ciência e a Religião, até que, durante o levantamento bibliográfico, a dissertação de Miranda (2018) mostrou-se bastante interessante. Ele analisou como esta relação era apresentada em livros didáticos do Ensino Médio aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), mas não em temas específicos e sim de uma maneira geral, sob a ótica do letramento científico.

Miranda (2018) identificou que esta relação é trabalhada de uma forma bastante equivocada, algumas vezes, até com erros históricos e ainda sugeriu que houvesse uma atualização dos livros didáticos, a fim de melhorar como esta temática vem sendo abordada. Devido ao ano quando a Dissertação foi produzida, o autor analisou livros do PNLD de 2014 a 2016, mas, de lá para cá, uma importante mudança ocorreu no cenário da Educação Brasileira: a conclusão e o início da implementação da Base Nacional Comum Curricular - BNCC (Brasil, 2018).

Em 2018, a etapa do Ensino Médio foi concluída na BNCC e a implantação do Novo Ensino Médio iniciou-se em 2022 para todas as escolas do Brasil. Consequentemente, todo o material didático precisou estar alinhado com as definições dadas no

documento, a fim de contribuir para que suas diretrizes pudessem ser plenamente atendidas. Diante deste novo cenário, é importante analisar como estes novos materiais tratam esta relação entre Ciência e Religião, de forma semelhante ao que Miranda (2018) fez, porém em livros mais antigos.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa foi: Analisar como os livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2021 abordam a relação entre a Ciência e a Religião na Educação Básica.

Para fundamentar este artigo, que é um recorte da Dissertação, fizemos uma contextualização da relação entre Ciência e Religião, discutindo essa temática no Ensino de Ciências e na Base Nacional Comum Curricular, além de apresentar a categorização de Barbour (2004) sobre a relação entre Ciência e Religião. Em seguida, apresentamos a metodologia utilizada e os resultados obtidos através da análise de conteúdo de Bardin (1995). Por fim, trouxemos algumas considerações importantes, bem como sugestões de ampliação e melhor compreensão dos temas aqui abordados.

2 Contextualização da relação entre Ciência e Religião

Embora aparentemente opostas, Ciência e Religião podem ser entendidas como duas práticas importantes da cultura. Conforme Coutinho e Silva (2013), essas práticas servem para orientar e organizar o mundo em que vivemos. No entanto, no ambiente de sala de aula, principalmente em relação ao processo do ensino de Ciências, não é difícil surgirem situações que colocam uma contra a outra, parecendo que não pode haver nenhuma relação amistosa entre ambas.

Estudos como os de Sepulveda e El-Hani (2004), Amorim e Leyser (2009), Leal, Forato e Barcellos (2016) buscam compreender melhor como se dá esta relação entre Ciência e Religião tanto

em sala de aula, mediante assuntos que evocam essa discussão, quanto na formação de professores. Normalmente, a concepção é a de que existe uma disputa, uma incompatibilidade, que, como defendem Leal, Forato e Barcellos (2016) e Leal (2017), acaba por gerar violência e intolerância entre as pessoas com visões de mundo diferentes.

Esse comportamento agressivo pode desenvolver obstáculos cognitivos de alunos que professam uma fé religiosa, a qual apresenta concepções contrapostas por conceitos científicos, além de contribuir para a perpetuação de mitos e estereótipos no ensino, fomentando visões pífias sobre a natureza da Ciência. Sendo assim, superar esta perspectiva tendenciosa pode diminuir casos de violência e intolerância, presenciados em diversas mídias.

Os alunos precisam sentir-se seguros para expressarem seus pensamentos, ideologias e crenças. Inclusive, isto é assegurado pela própria Lei de Diretrizes e Bases da Educação de 1996. Em seu artigo 3º, encontramos, dentre os demais, estes princípios em que o ensino deve se basear:

[...] II - liberdade de aprender, ensinar, pesquisar e divulgar a cultura, o pensamento, a arte e o saber; III – pluralismo de ideias e de concepções pedagógicas; IV – respeito à liberdade e apreço à tolerância [...] X – valorização da experiência extraescolar [...] XII – consideração com a diversidade étnico-racial (Brasil, 1996, p. 7-8).

Todos os princípios apresentados mostram que o ensino deve levar em consideração aspectos muito mais amplos da sociedade e da vida daqueles que participam do processo do ensino e permitir que esses se expressem de forma respeitosa e também sejam respeitados por aquilo em que acreditam, embora essa ainda não seja a realidade vivida em nossas escolas.

Convém ressaltar, porém, que não se trata de igualar, no ensino de Ciências, os diversos conhecimentos acerca de determinado tema, mas sim de abrir a possibilidade para uma problematização mais adequada e respeitosa no ambiente de sala de aula entre temas complexos e que dizem respeito à realidade de cada um, como no caso da relação entre Ciência e Religião.

Cabe destacar, ainda, que não é papel do professor legitimar e/ou defender qualquer posicionamento, quer religioso ou não, mas sim contribuir para que seus alunos tenham autonomia e condições de, por si só, decidirem se vão ou não acreditar em determinadas concepções científicas ou religiosas (Miranda, 2018; El-Hani, Bizzo, 2002).

Todo o processo de ensino deve estar pautado em conferir aos alunos autonomia e protagonismo, tanto nos conhecimentos científicos quanto em aspectos morais. Como defende Razera (2009):

[...] se o objetivo for a construção da autonomia moral, prevalecerá o diálogo, a cooperação e a busca compartilhada de um senso crítico racional que deixará o aluno mais apto nas escolhas que fará diante dos vários pontos de vista. Nessa perspectiva, o ensino de ciências tem o seu papel preservado junto ao conhecimento científico. No entanto, sem coação e coerção, explícita ou velada, pois as opções de escolha sempre estarão – e assim deverão permanecer – com o aluno (Razera, 2009, p.10).

A fim de alcançar o que foi tratado até aqui sobre a relação entre a Ciência e a Religião presente no ensino de Ciências, é importante que todos e tudo o que esteja envolvido no processo educacional tenham um posicionamento e uma linguagem coerentes com esse respeito e com o desenvolvimento da autonomia dos alunos.

Sendo assim, o próprio material didático que é utilizado precisa abordar de uma maneira adequada essa relação. No entanto, como fala o historiador John Brooke, em uma entrevista³ concedida a Miranda

Este é um território muito difícil, porque algumas pessoas de fato têm opiniões muito, muito fortes a respeito disto. A dificuldade que eu vejo é de que, se você tivesse, digamos, quatro professores escolares diferentes, a quem se pedisse incluir em seus livros didáticos algo sobre a relação entre ciência e religião, você teria um consenso? Eu não acho que você teria. Em outras palavras, as experiências particulares, as crenças particulares, sejam elas religiosas ou antirreligiosas, dos escritores dos livros didáticos, poderiam influenciar demais.

E este aspecto não pode passar despercebido pelo professor, ao usar o livro didático, pois, mesmo que esse possa evitar trabalhar trechos em que a relação entre Ciência e Religião esteja presente, o aluno, por si só, pode fazer essa leitura. Logo, aspectos como estes precisam chamar a atenção do docente, a fim de se construir uma educação baseada no respeito, na valorização da diversidade, no desenvolvimento da autonomia e protagonismo dos alunos e, desta forma, evitar posicionamentos simplistas e enviesados sobre a relação entre Ciência e Religião. Esta visão de educação está presente na Base Nacional Comum Curricular, tanto nas Competências Gerais, que permeiam todas as etapas da Educação Básica, como também nas Competências e Habilidades Específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na etapa do Ensino Médio.

3 Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=LxBxAaG3nNg>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

Dentre as dez Competências Gerais da BNCC (Brasil, 2018), seis trazem aspectos que podem ser considerados, quando se pensa sobre a relação entre Ciência e Religião (Competências 1, 3, 6, 8, 9 e 10)⁴. Nenhuma dessas competências falam diretamente sobre a religião, mas trazem termos que estão alinhados, mesmo que indiretamente, com a valorização de conhecimentos para além dos científicos, inclusive os religiosos, mas não se restringindo a esses. Além disso, em todas essas competências que os estudantes precisam desenvolver ao longo de sua formação na Educação Básica, estes termos estão associados à valorização, ao respeito, ao conhecer e à sua utilização.

Como já dito anteriormente, a BNCC (Brasil, 2018) traz as competências que devem ser desenvolvidas por cada aluno ao longo de sua Educação Básica, mas o currículo em si deve ser elaborado pelos sistemas de ensino e escolas, buscando compreender as suas especificidades e necessidades, a fim de atender ao contexto, em que estão inseridos. Sendo assim, a Base Nacional Comum Curricular defende o uso de temas transversais e integradores, como vida familiar e social e diversidade cultural, que podem abranger aspectos voltados para a vida religiosa.

Pensando especificamente na etapa do Ensino Médio, a BNCC (Brasil, 2018) defende a diversidade de juventudes presentes num ambiente escolar, compreendendo e respeitando a heterogeneidade própria desses estudantes. Ao olhar para os jovens em sua complexidade, olha-se para todos os valores éticos e morais que cada um possui, o que os define e os orienta nas tomadas de decisões e no posicionamento frente a diversos assuntos que não ficam do lado de fora dos muros da escola.

Neste mesmo pensamento, ao definir as finalidades do Ensino Médio na Contemporaneidade, a BNCC (Brasil, 2018) traz um aspecto bastante interessante, que é o aprimoramento do

4 Para leitura das Competências, acessar a BNCC (Brasil, 2018).

educando como pessoa humana. Ao olhar para o estudante dessa forma, todas as nuances que envolvem a sua vida são respeitadas e valorizadas, de tal maneira que a escola se torna um espaço de livre expressão de pensamentos e valores, no qual cada indivíduo se sente como parte de um todo, promovendo o respeito entre as diferenças, mas, sobretudo, a possibilidade da discussão e do debate dessas diferenças.

Quando trata especificamente da Área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a BNCC (Brasil, 2018) chama a atenção para a valorização de diferentes cosmovisões, mesmo que reconhecendo que são conhecimentos não pautados nos aspectos metodológicos das ciências ocidentais. Entre as competências e habilidades destas áreas, cabe alguns destaques. A Competência Específica 2 nos mostra que o aluno deve ser capaz de:

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. (Brasil, 2018, p. 556).

Esta Competência aborda um tema que é realmente bastante comum em trabalhos que lidam com a relação entre Ciência e Religião no ensino de Ciências: a Origem do Universo e da Vida. É muito comum, no âmbito do ensino de Ciências, trazer esse tema apenas sob a ótica considerada válida pela Ciência Moderna, não havendo, muitas vezes, abertura para uma discussão sobre as outras explicações. No entanto, a BNCC (Brasil, 2018) traz, nesta Competência, duas habilidades interessantes, quais sejam:

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações

sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente [...]

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana (Brasil, 2018, p. 557).

Podemos observar que, principalmente, a habilidade **EM13CNT201** demonstra a intenção de que os alunos devem ter acesso a outras explicações e serem capazes de fazer as devidas comparações, permitindo, assim, uma maior abertura, no que diz respeito à relação entre Ciência e Religião. Embora a habilidade **EM13CNT208** não deixe esse aspecto tão evidente, traz consigo a importância da valorização e respeito da diversidade étnica e cultural humana, o que acaba por contribuir com a ideia da primeira habilidade.

A Competência Específica 3, segundo a BNCC (Brasil, 2018), é a capacidade do aluno para:

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (Brasil, 2018, p. 558).

Conforme observado acima, ela versa sobre a aplicação dos conhecimentos científicos e a comunicação do que é produzido

pela Ciência. Neste cenário, duas habilidades estão relacionadas com a temática deste trabalho. Elas são:

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista

(EM13CNT305) Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade (Brasil, 2018, p. 559).

A habilidade **EM13CNT304** trata sobre situações controversas dentro da Ciência, pelo fato de lidarem com outros aspectos da humanidade, como moral, ética e valores. A BNCC não enxerga essa situação como uma oportunidade para uma imposição dos conhecimentos científicos sobre toda a sociedade, mas como uma forma de estimular que os alunos sejam capazes de analisar e debater tais situações, criando argumentos firmes para posicionar-se e defender determinada posição.

Já a habilidade **EM13CNT305** mostra a relevância de mostrar-se ao aluno o aspecto falho das Ciências da Natureza, a qual pode ser usada para fins outros que não para o benefício da humanidade e da natureza, como por exemplo a própria construção da bomba atômicas e diversas armas nucleares. O interessante desta habilidade é ampliar para o estudante o olhar do aspecto humano da Ciência, ao mesmo tempo que busca valorizar e respeitar a

diversidade. Desta forma, isso contribui para uma visão mais clara e nítida do que seja Ciência e de como ela se relaciona com as outras atividades humanas.

Diante de tudo isto, é notório que, embora a BNCC (Brasil, 2018) não aborde de forma direta como devem ocorrer as discussões durante o ensino sobre a relação entre Ciência e Religião, ela traz, em suas competências e habilidades, princípios que revelam como os conhecimentos acadêmicos precisam se relacionar com os diversos outros tipos de conhecimento, por meio da análise, investigação, comparação, discussão, o que demonstra que estes outros conhecimentos devem ser considerados no momento pedagógico, bem como na valorização da diversidade humana. Assim, a BNCC propõe uma abordagem mais complexa sobre a relação entre Ciência e Religião e admite uma compreensão mais ampla da Ciência e da sua relação com outros conhecimentos.

Neste ínterim, cabe destacar que o livro didático deve estar em consonância com essa intenção proposta pela BNCC. Diante desse contexto, elaboramos as perguntas norteadoras desta pesquisa: Os livros didáticos aceitos pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didáticos 2021 (PNLD - 2021) permitem uma abordagem mais complexa sobre a histórica relação entre ciência e religião? Ao tratar sobre temas no âmbito da ciência e religião, estes livros estão em acordo com a BNCC?

Para uma melhor compreensão desta temática, é importante ter em mente como podemos entender esta relação entre a ciência e a religião. Para isto, vamos fazer uso da categorização criada pelo físico e teólogo norte-americano Ian Barbour, que se tornou referência nesta temática, destacando quatro relações possíveis entre estas esferas da expressão humana, quais sejam: **Conflito, Independência, Diálogo e Integração** (Barbour, 2004).

A primeira categoria a ser destacada é a do **Conflito**. Segunda esta perspectiva, Ciência e Religião são mutuamente excludentes e de forma alguma compatíveis. Como destaca Rodrigues e Motta (2011), a imagem de “guerra” entre Ciência e Religião é

a mais recorrente no imaginário popular, influenciada pela própria mídia que as coloca em polos distintos, sempre que temas mais polêmicos vêm à tona. Sanches e Danilas (2012) destacam o materialismo científico e o literalismo bíblico como posições extremas. Como o próprio Barbour (2004, p. 25) afirma, “tanto o materialismo científico quanto o literalismo Bíblico alegam que a Ciência e a Religião têm verdades literais e rivais a afirmar sobre o mesmo domínio (a história da natureza), de modo que é preciso escolher uma delas”.

A segunda categoria é a **Independência**. Nesta categoria, a Ciência e a Religião se constituem como esferas tão diferentes que a autonomia e independência de cada uma se torna indiscutível. Conforme Rodrigues e Motta (2011), a Ciência diz respeito a fatos objetivos; já a Religião está mais relacionada ao subjetivo. De acordo com Barbour (2004, p. 33), “os cientistas são livres para prosseguir com seu trabalho sem a interferência da teologia e vice-versa, uma vez que seus métodos e objetos de estudo são totalmente diversos”. Outro motivo para dar base à Independência é que Ciência e Religião têm linguagens e cumprem funções distintas. Acerca da Religião, Barbour (2004, p. 35) afirma que “as funções específicas da linguagem religiosa [...] são as de recomendar um modo de vida, explicitar um conjunto de atitudes e estimular a adesão a determinados princípios morais”, já “a Ciência formula perguntas cuidadosamente delimitadas sobre fenômenos naturais. Não podemos esperar que ela cumpra papéis [...] como fornecer uma visão de mundo integral, uma filosofia de vida ou um conjunto de normas éticas”.

A terceira categoria é o **Diálogo**. Nesta forma de pensar, existem interações indiretas e fronteiras menos rígidas entre Ciência e Religião. O diálogo pode surgir quando ambos os campos explicativos não encontram respostas para um determinado questionamento ou ambos concordam em um determinado ponto, conforme defende Rodrigues e Motta (2011). De acordo com Barbour (2004), o diálogo proporciona relações mais construtivas

entre Ciência e Religião, uma vez que “o Diálogo enfatiza as semelhanças entre pressupostos, métodos e conceitos, enquanto a Independência enfatiza as diferenças” (Barbour, 2004, p. 38). Sanches e Danilas (2012) destacam duas características dessa categorização. A primeira diz respeito ao abandono da Ciência como sendo puramente objetiva e da Religião como sendo puramente subjetiva. A segunda é a condição do observador que, quer na Ciência, quer na Religião, não se comportam como meros observadores, mas sim como agentes e dificilmente conseguem ficar imparciais sem influenciar nos resultados de suas experiências.

A quarta e última categoria é a **Integração**. O ápice da aproximação entre Ciência e Religião é captado por esta categoria, a qual envolve as iniciativas científicas de procurar na natureza, através do método científico, uma “prova” da existência da divindade (teologia natural, design inteligente) e também as iniciativas religiosas de reformular suas crenças com base nas descobertas da Ciência, conforme explica Rodrigues e Motta (2011). De acordo com Sanches e Danilas (2012), nesta categoria podem ser encontradas algumas visões distintas, tais como teologia natural (cujas características de Deus são conhecidas através dos tempos pela revelação, mas a existência de Deus é entendida apenas pela razão); a teologia da natureza, que, conforme Barbour (2004, p. 49), “deve fundamentar-se tanto na Ciência como na Religião em sua tarefa de elaborar uma ética ambiental pertinente para o mundo de hoje” e uma síntese sistemática que faz com que Ciência e Religião contribuam para o desenvolvimento de uma metafísica includente, a qual, segundo Barbour (2004, p. 50), “é a busca de um conjunto de conceitos gerais em cujos termos seja possível interpretar diversos aspectos da realidade”.

Para Rodrigues e Motta (2011), as relações entre Ciência e Religião são complexas e não podem ser enquadradas totalmente em um único quadro explicativo. No entanto, um modelo conceitual, como o de Barbour (2004), é extremamente importante e ajuda a entender melhor as concepções que as pessoas podem

ter acerca desse tema. Sobre este aspecto, temos a tese da complexidade, defendida por John Brooke em seu livro *Science and Religion: Some Historical Perspectives* (1991). Conforme Miranda (2018) afirma, essa tese se baseia no princípio de que as questões que fazem parte deste âmbito não são simples e, exatamente por isso, não tem como existir uma única teoria completa e suficiente para lidar com essa situação.

Cabe aqui salientar que essas relações não representam a cronologia de como Ciência e Religião foram sendo vistas e como foram se modificando. Elas são as formas como cada cientista, cada estudante, cada pessoa enxerga essa relação. Podemos ver claramente que, dependendo da forma como cada pessoa entende esta relação, isso pode influenciar suas atividades. Além disso, dependendo da forma como cada cientista entende a religião e sua relação com a ciência, isso pode influenciar ou não o que ele pesquisa e para o que ele pesquisa. Isso porque o ser cientista não anula, de forma alguma, o ser humano.

Segundo Kneller (1980),

Tal como as outras pessoas, os cientistas são impelidos por fortes emoções; cada um deles tem uma personalidade e uma biografia que lhe são próprias, cada um deles tem suas necessidades e seus interesses pessoais [...] A Ciência é um empreendimento disciplinado que busca a verdade impessoal, mas também pode ser altamente pessoal, até subjetivo (Kneller, 1980, p. 180).

Dessa forma, o que os cientistas descobrem, em suas pesquisas, pode ajudá-los a corroborar seus pensamentos ou, então, fazê-los mudar de ideia, pois seus achados colocam em cheque aquilo que tinham como certo. Conforme afirma Kneller (1980), a ciência é uma atividade humana, assim como a economia, política, sociedade, cultura e, também, a religião. Assim como os cientistas, os autores de livros didáticos também podem e são influenciados por

suas cosmovisões e isso aparece na forma como cada um trata a ciência e a religião em suas produções.

3 Metodologia

De natureza qualitativa, esta pesquisa teve como objeto de estudo duas coleções de Livros Didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, destinados ao Ensino Médio e aprovados pelo PNLD 2021. Foi realizado um recorte de trechos que envolvessem a relação entre Ciência e Religião para uma análise mais precisa do seu conteúdo, a qual ocorreu segundo a Análise de Conteúdo de Bardin. Esta, em geral, envolve três fases: pré-análise, exploração do material e o tratamento dos resultados, da inferência e da interpretação (Bardin, 1995).

Na Pré-análise, foram escolhidas a temática, objetos de estudo e técnicas para análises. Como já mencionado anteriormente, a dissertação de Miranda (2018) realizou a análise de como se dá a relação entre Ciência e Religião em alguns livros didáticos aprovados pelo PNLD dos anos 2014, 2015 e 2016. Comparativamente, esta pesquisa, justifica sua relevância por dois principais aspectos: primeiramente, realizar uma pesquisa semelhante em livros mais atuais pode contribuir para uma compreensão de como esta temática modificou ao longo destes anos; em segundo lugar e, neste caso talvez seja realmente mais importante, os livros analisados nesta pesquisa estão imersos em uma nova realidade da Educação brasileira, uma vez que a BNCC já está estabelecida e os livros precisam estar adequados a ela.

Ao todo, foram aprovadas sete coleções no PNLD 2021, no entanto, analisar todas essas seria um trabalho um tanto extenso. Assim, foram selecionadas duas coleções: **Moderna Plus** da editora Moderna e **Multiversos** da editora FTD, por serem as mais escolhidas pelas escolas das cidades de Caruaru-PE (cidade residência do autor da pesquisa) e Campina Grande-PB (cidade sede do Programa de Mestrado).

Para o levantamento da hipótese, foi necessária uma fundamentação mais embasada para compreensão de como a BNCC sugere que deve ser tratada a relação entre a Ciência e a Religião. Assim, a hipótese elaborada seria de que estes livros apresentam uma visão, no mínimo, de **Independência**, segundo a categorização de Barbour (2004), sobre a relação entre a Ciência e a Religião, uma vez que a BNCC apresenta aspectos como respeito à diversidade cultural, crenças e valores de todos os alunos, tanto no que diz respeito às competências gerais como específicas da área de Ciências da Natureza.

De início, foi realizada uma leitura flutuante, buscando encontrar conteúdos e assuntos comumente mais relacionados com o tema em questão, como por exemplo, a Origem do Universo e a Evolução dos Seres Vivos, o que claramente foi encontrado. Tomando-se como base a dissertação de Miranda (2018), o índice foi a menção à temática da relação entre Ciência e Religião. Os trechos escolhidos para serem analisados foram aqueles que, de forma direta ou indireta, tratam sobre aspectos religiosos que sejam importantes para o tema da relação com a Ciência. Trechos sobre valores e aspectos éticos e morais, mesmo que não explicitamente religiosos, mas que, com um olhar mais cuidadoso, tinham pontos de contato com a religião, também foram analisados. Além disso, trechos que discorriam sobre a concepção de Ciência dos autores, em contextos, nos quais a relação com aspectos religiosos era evidente, também foram analisados.

Já a categorização foi feita a partir de um sistema de categorias já existente, que foi a proposta por Barbour (2004) e já apresentada anteriormente. No entanto, no decorrer da análise, percebemos que alguns trechos não tinham informações suficientes para serem alocados em uma das quatro categorias propostas pelo físico, sendo então estabelecida uma categoria denominada de **Indeterminado**. Para finalizar a etapa de pré-análise, faltaria a atividade que Bardin (1995) chama de preparação do material. No entanto, para esta pesquisa, como o material a ser analisado

era o livro como um todo, não foi necessário nenhum tipo de preparação específica, a não ser realizar o *download* dos exemplares nos sites das respectivas editoras.

Na etapa de Exploração do Material, realizamos uma leitura de todos os capítulos dos livros disponibilizados ao aluno e, quando o tema se mostrava importante para a análise, o Manual do Professor também foi lido, para verificar as orientações e sugestões para os docentes diante de determinadas situações de alguns capítulos. Além disso, a parte inicial do Manual do Professor, que se refere a aspectos gerais sobre as concepções dos autores acerca da BNCC, da Educação, da Avaliação, entre outros aspectos, também foi analisada.

Já na última etapa, do Tratamento dos Resultados, a Inferência e a Interpretação, ao mesmo tempo que o material estava sendo explorado, fomos realizando o tratamento dos resultados, as inferências e interpretações dos trechos, tomando como base outras pesquisas já realizadas sobre o tema, a análise que já tínhamos feito sobre a BNCC e o contexto em que estes trechos estavam presentes. Esta terceira etapa acabou ficando muito relacionada com a segunda, pois foi na busca de uma categorização que as interpretações foram ocorrendo.

4 Análise das coleções de livros didáticos⁵

Neste espaço, vamos destacar os principais pontos que, ao nosso entendimento, apareceram ao finalizar a análise das coleções. Na coleção da Moderna Plus, embora, na maioria das vezes, parte da relação entre a Ciência e a Religião tenha sido tratada com um tom ameno, há um volume em especial que traz uma

5 A discussão dos resultados, aqui apresentada, focalizou os tópicos mais relevantes encontrados. Para resultados e análise mais detalhada, por coleção, manual do professor, volumes e capítulos, é indicada a leitura da Dissertação completa, disponível em: <https://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/4302>.

postura mais agressiva e com boa parte dos trechos categorizados como **Conflito**. É interessante notar que este volume trata exatamente sobre assuntos que, geralmente, suscitam uma discussão mais acalorada entre aqueles que defendem a Ciência e os que defendem a Religião: Origem do Universo, da Vida e Evolução.

No entanto, esta temática não está totalmente envolta por uma linguagem conflituosa, uma vez que algumas atividades trazem um posicionamento mais neutro, dentro da **Independência** e até mesmo mais dialógico. Todavia, quando fizemos uma comparação com a coleção Multiversos, percebemos que o volume que trata desta temática é o que mais contém trechos categorizados como **Independência**. São trechos que trazem diversas concepções e explicações sobre as origens, principalmente indígenas. Notamos que os autores poderiam ter explorado um pouco mais esta temática, mas já trazem um significado e importância maior das diversas espiritualidades, para além de uma religião institucionalizada. Mesmo com esse posicionamento, a coleção Multiversos não deixa de trabalhar adequadamente os conceitos e teorias científicas mais aceitas atualmente, ao mesmo tempo que permite que os alunos pensem e desenvolvam o respeito à diversidade cultural.

Aproveitando o ensejo sobre a análise da coleção Multiversos, foi observado que essa apresenta pouquíssimos trechos conflituosos. Em um deles, presente em um enunciado de uma atividade não autoral, o conflito foi perceptível mais nas entrelinhas do que realmente no que foi dito. Todavia, chama a atenção outro trecho, que traz um aspecto de relacionar grupos religiosos a movimentos antivacinas. Isso talvez ocorra, devido ao cenário político atual, com inúmeras discussões, no que diz respeito à validade das vacinas contra o vírus da Covid-19, o qual, por muitas vezes, assume uma temática religiosa baseada em achismos por parte de algumas lideranças, mas que não pode configurar como uma condição necessariamente presente em todas as comunidades e credos. Assim como já dito anteriormente, os autores poderiam

ter detalhado mais essas situações, a fim de se evitar possíveis associações errôneas.

Outro ponto interessante a se destacar é que as duas coleções, quando tratam sobre questões-limite, como células-tronco, clonagem e aplicações genéticas, apresentam uma linguagem mais dialógica, principalmente ao estimular atividades que permitam a discussão e o debate de opiniões contrárias, sempre estimulando a defesa de posicionamentos bem fundamentada e não apenas embasada no achismo.

Trechos que trazem uma linguagem mais integrativa só estão presentes na coleção Moderna Plus, embora não reflitam claramente o posicionamento dos seus autores. No entanto, ao mostrar que alguns dos principais cientistas da história possuíam uma religiosidade muito forte que influenciava nas suas pesquisas científicas, revelam que há uma possibilidade de essa situação se configurar como verdade na vida de outros cientistas. Levando-se em consideração que muitos outros cientistas deixaram de ter esse aspecto de espiritualidade apresentado e que, mesmo aqueles que realizaram essa apresentação não o fizeram de forma mais detalhada, claramente há muito ainda a se compreender sobre a importância da relação entre Ciência e Religião.

Cabe destacar que muitos dos trechos que foram categorizados como **Indeterminados** possuíam um grande potencial para melhor desenvolver a relação entre Ciência e Religião. É bem verdade que alguns trechos estão aqui presentes simplesmente pelo fato de apresentarem algum termo que tenha ligação com a temática e que não se tinha muito o que retirar deles para uma melhor discussão, mas outros poderiam ter sido melhor explorados, quer trazendo mais detalhes sobre a vida de alguns cientistas, quer na elaboração de atividades que pudessem valorizar mais a multiculturalidade.

Após as análises realizadas, percebemos que, de maneira geral, a hipótese de que os livros analisados deveriam estar mais alinhados com a Independência foi confirmada positivamente, uma vez

que trechos que demonstravam conflito não ficaram tão presentes nas obras como um todo. No entanto, principalmente na coleção Moderna Plus, o posicionamento de conflito, ao lidar com a temática sobre as Origens e a Evolução, destoou completamente do que está defendido na BNCC.

Ainda assim, não é de se condenar esse material, uma vez que, de maneira geral, ele traz contribuições para o desenvolvimento de um pensamento de respeito às diversidades culturais. No entanto, a coleção Multiversos foi mais eficaz neste intuito. Foi perceptível o cuidado que os autores tiveram em respeitar o que está posto na BNCC ao trabalhar esta temática, servindo como exemplo a forma como autores de livros textos de Ciências da Natureza devem trabalhar temas que perpassam pelas diversas espiritualidades.

Nesta coleção, a religiosidade foi muito mais além do que a Religião. Essa é, por muitas vezes, atrelada às instituições e ao que é próprio delas. A religiosidade - e porque não dizer a espiritualidade- é mais abrangente, ao mesmo tempo que é uma manifestação e uma vivência individual, mesmo que dentro de uma coletividade. Não está, necessariamente, ligada a uma instituição, mas sim a uma cultura, a uma forma de enxergar a vida, a natureza, o outro e a si mesmo. E é nessa perspectiva que se encontram os saberes e práticas indígenas, por exemplo, muito trabalhados na coleção do Multiversos.

4.1 O que não foi dito

Nesta seção, trouxemos uma análise sobre situações em que a relação entre Ciência e Religião tinha um campo propício para ser trabalhado, mas acabou sendo menosprezada. Na coleção da Moderna Plus, nos textos do capítulo 1 do Volume 1, *O conhecimento Científico e as Ciências da Natureza*, não há nenhum trecho indicativo de como os autores entendem a relação entre Ciência e Religião. No entanto, por se tratar de um capítulo voltado para

a importância do conhecimento científico, seria interessante que tivesse sido apresentada a discussão da relação da Ciência com outras formas de conhecimento e explicações da Natureza, mesmo destacando que o que seria tratado, ao longo do livro, dizia respeito aos conhecimentos considerados atualmente válidos pela comunidade científica.

O fato de não existir essa discussão pode indicar que os autores não consideraram qualquer outro conhecimento, que não o científico, como válido para ser trabalhado em um ambiente de sala de aula. Sabemos que isso não é verdade, uma vez que, ao longo de toda a coleção, outros conhecimentos, inclusive o religioso, são trazidos à tona. Ao iniciar a coleção, por exemplo, era um momento oportuno para esta discussão, o que acabou não ocorrendo.

Na coleção Multiversos, esta discussão sobre a Ciência ocorre na Unidade 1 do Volume 6. Embora alguns trechos tenham sido encontrados, foram categorizados como **Indeterminados**, pois não contemplaram totalmente a relação entre Ciência e Religião, tal qual observamos na coleção da Moderna Plus.

Outra situação presente na coleção da Moderna está presente no Capítulo 5 do Volume 1, *Níveis de Organização da Vida e Classificação Biológica*. Um primeiro aspecto é que o capítulo inicia fazendo uma breve discussão sobre o conceito de vida com base em algumas definições científicas. Por ser um assunto pertinente a ser tratado sob a ótica religiosa, os autores poderiam ter sugerido uma atividade, na qual os alunos pesquisassem ou fizessem entrevistas sobre as definições acerca do que seja a vida, incluindo definições de diversas religiões, e fizessem um contraponto sobre o conhecimento científico e o religioso. Todavia, não há nenhuma menção neste sentido, ficando simplesmente restrito ao que foi dito anteriormente.

No Manual do Professor, é orientado que a discussão sobre essa temática inicie com o professor perguntando aos alunos como eles definem o que seja vida e que depois deve ser feita uma

comparação com o texto. Nesta situação, podem surgir algumas definições que suscitem o aspecto religioso e caberá, então, ao professor buscar meios para trabalhar essas discussões em sala, sem ferir o respeito à diversidade de pensamentos e culturas. Dessa forma, seria realmente interessante que os autores do livro se antecipassem e trouxessem ferramentas para auxiliar os professores em situações como essas.

Por fim, quando as duas coleções tratam sobre as Origens, embora haja situações que tragam o debate sobre explicações religiosas, há um aspecto que gostaríamos de destacar. Sabe-se que, atualmente, há diversas vertentes de pesquisas que buscam uma visão mais de **Integração** em relação a este tema da origem do Universo, principalmente voltadas para o criacionismo bíblico, defendido como uma visão científica por seus adeptos. Em nenhum momento do capítulo, esta visão é apresentada.

É claro que o que foi apresentado é a teoria científica mais aceita atualmente. No entanto, a omissão dessa informação não deveria ter sido feita, uma vez que é bastante provável que alguns alunos tenham acesso a este tipo de explicação e que poderiam, ao menos, serem discutidas as formas de atuação dessas vertentes, mas sem excluir o que foi trabalhado no texto.

5 Considerações Finais

Algumas últimas considerações são importantes de serem destacadas aqui. Primeiramente, comparando com o trabalho de Miranda (2018), percebemos, nas coleções analisadas, um avanço na forma como a relação entre a Ciência e Religião foi tratada, no sentido de diminuir os discursos defensores de um conflito existente entre essas duas áreas. Todavia, não se pode negar que ainda se façam presentes e com o uso das mesmas estratégias que os livros analisados por ele faziam, como a utilização de erros históricos para defender o posicionamento conflituoso.

Esta forma mais cautelosa e respeitosa de tratar sobre esta temática, presente nestas coleções analisadas, provavelmente, é consequência dos aspectos defendidos na BNCC, que é bem clara e enfática quanto à necessidade de uma abordagem mais equilibrada e coerente dentro do tema desta pesquisa. Outro ponto é que, ao trabalharmos com o conceito de Ciência tal como o fizemos neste trabalho, estamos fazendo uso de uma perspectiva Ocidental da Ciência, que passou a ter maior notoriedade na Modernidade.

No entanto, quando passamos a olhar para as culturas Orientais, podemos perceber que a Ciência, muitas vezes, desenvolvida por estes povos está intimamente relacionada com suas espiritualidades, configurando uma realidade, geralmente, distante da que estamos habituados a vivenciar. Há um trecho encontrado na coleção Multiversos, em que buscamos discutir esta situação, ao analisá-lo e que se configura como uma possibilidade viável para outras pesquisas.

Além disso, outro destaque importante a ser feito é que, assim como o Estado, a escola pública brasileira também deve ser laica, ou seja, não deve professar uma religião oficial. Isso não significa que a espiritualidade não possa ser vivenciada no meio escolar. Muito pelo contrário. Todas as espiritualidades devem ser respeitadas e terem seu espaço no âmbito da escola, inclusive nos livros didáticos.

Assim, tratar sobre Ciência e Religião, ou Ciência e Espiritualidade deve ser algo recorrente e cada vez mais estimulado dentro das escolas, mas também e, principalmente, dentro da Academia, na produção de pesquisas sérias que busquem incentivar uma sociedade, em que se conheça suas múltiplas faces e que se respeite nas suas diversas manifestações, mesmo que o foco seja desenvolver a alfabetização, o letramento e o conhecimento científicos.

É importante, ainda, destacar que, de maneira geral, os materiais apresentam, no Manual do Professor, algumas orientações

de como os docentes devem organizar as discussões que envolvam a relação entre Ciência e Religião, mesmo que, em algumas situações, nada seja dito e as orientações acabam ficando um tanto vagas. Dentro deste aspecto, convém aqui incentivar que, na formação dos professores, quer inicial ou continuada, esta temática seja tratada com devida atenção e não apenas comentada ou, muitas vezes, relegada a conversas informais sobre situações da prática docente. Um debate bem orientado por um professor capacitado pode se configurar como um divisor de águas na vida de seus estudantes, quanto ao respeito e valorização de suas cosmovisões.

Sendo assim, entendendo que esta pesquisa não se encerra aqui, reforçamos a necessidade e importância de mais pesquisas que investiguem esta temática, quer em um número maior de materiais didáticos das Ciências da Natureza ou de outras áreas, ou que busque compreender como se dão estas relações no chão da escola, ou que se proponha a criar subsídios, a fim de que os professores e todos os agentes educacionais tenham condições de lidar adequadamente com esta temática na sala de aula ou fora das quatro paredes e, ainda, que leve esta discussão para o ambiente do Ensino Superior, enfim, que busquem disseminar uma cultura do respeito e da valorização do multiculturalismo.

Referências

AMORIM, M. C.; LEYSER, V. Ensino de evolução biológica: implicações éticas da abordagem de conflitos de natureza religiosa em sala de aula. **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, ENPEC, Florianópolis, 2009.

BARBOUR, I. **Quando a ciência encontra a religião**. São Paulo: Editora Cultrix, 2004.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1995.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação**. Brasília: MEC/ Secretaria de Educação Básica, 1996.

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

COUTINHO, F. A.; SILVA, F. A. R. Uma Guerra Desnecessária. **Ciência hoje**, Rio de Janeiro, 11 jun. 2013. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/uma-guerra-desnecessaria/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

EL-HANI, C. N.; BIZZO, N. M. V. Formas de construtivismo: mudança conceitual e construtivismo contextual. **Revista Ensaio**. Belo Horizonte, v.4, n.1, p.40-64, 2002.

KNELLER, G. F. O Cientista como pessoa. *In*: KNELLER, G. F. **A Ciência como atividade humana**. Rio de Janeiro: Zahar, 1980.

LEAL, K. P. **História da ciência, religião e interculturalidade no ensino de física. Por que não?** 2017. 131 p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências – Ênfase no Ensino de Física) – Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LEAL, K. P.; FORATO, T. C. M.; BARCELLOS, M. E. Ciência e Religião em conflito na sala de aula: episódios históricos como propostas para a formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p.235-251, jul./dez. 2016

MIRANDA, L. M. **A relação histórica entre ciência e religião:** uma análise do letramento científico promovido por livros didáticos

de ensino médio. 2018. 262 p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Divulgação Científica e Cultural, área de Divulgação Científica e Cultural) – Instituto de Estudos da Linguagem e Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo da Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

RAZERA, J. C. C. Evolucionismo versus criacionismo no ensino de ciências: para além das controvérsias entre ciência e religião. **Revista Ciência em Tela**, Rio de Janeiro: NUTES/UFRJ, v.2, n.1, 2009.

RODRIGUES, W. G.; MOTTA, R. S. S. Relações entre ciência e religião na perspectiva dos professores da Faculdade Adventista de Fisioterapia (FAFIS). **Práxis Teológica**, Cachoeira, v. 11, n. 1, p. 105-129, jan. 2011.

SANCHES, M. A.; DANILAS, S. Busca de harmonia entre religião e ciência no Brasil: reflexões a partir do ano de Darwin. **Teocomunicação**, Porto Alegre, v. 42, n. 1, p. 98-118, jan./jun. 2012.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C. N. Quando visões de mundo se encontram: Religião e Ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em Ciências Biológicas. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, ago. 2004, pp. 137- 175.

Parte II

**SOBRE FORMAÇÃO DE PROFESSORES EM ENSINO DE
CIÊNCIA**

7



REPRESENTAÇÕES DE PROFESSORES FORMADORES SOBRE OS IMPACTOS DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE QUÍMICA¹

Sara Costa Mendonça²
Ubiratan Leal de Oliveira

1 Introdução

A Química é uma ciência que estuda a matéria e suas transformações, bem como sua composição, estrutura, propriedades, as mudanças sofridas durante as reações químicas e a relação com a energia envolvida nessas transformações. Com isso, ela está imersa no nosso dia a dia, seja direta ou indiretamente, se fazendo presente nos alimentos, medicamentos,

1 Agradeço ao professor Dr. Marcos Antônio Barros Santos do Programa de Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática da UEPB, por suas significativas contribuições e orientações para execução desta pesquisa.

2 Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática - UEPB

construções, nas plantas, nos combustíveis e em diversas outras aplicações do nosso contexto.

Contudo, mesmo que os fenômenos químicos estejam fortemente presentes em nosso cotidiano, o ensino de Química apresenta-se, atualmente, como de difícil compreensão pelos alunos, o que tem gerado falta de motivação. Dessa forma, surgem diversos questionamentos quanto ao que deve ser feito para se alcançar um ensino mais acessível e contextualizado. Segundo Souza e Silva (2012), o ensino de Química, no Brasil, enfrenta a necessidade do desenvolvimento de novas práticas pedagógicas, no sentido de não apenas transmitir conhecimentos e sim criar possibilidades para sua produção e sua construção.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais, a aprendizagem de Química deve possibilitar aos alunos a compreensão dos diferentes processos químicos que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada, para que saibam julgar as informações que são apresentadas pela mídia de forma crítica, se posicionando diante das questões sociais, políticas, econômicas e ambientais (BRASIL, 2000).

Pensando nisso, uma alternativa que vem se destacando no meio acadêmico e que tem atingido proporções relevantes, nos últimos anos, é o uso da História da Filosofia e Ciência (HFC) em sala de aula. Acredita-se que a história da ciência pode motivar os alunos, tornando as aulas mais interessantes, humanizando a visão de ciência, mostrando-a como processo e não como um produto acabado e promovendo, dessa forma, uma melhor compreensão da construção do conhecimento científico, ao longo do tempo, e de sua dinamicidade.

No que se refere ao estudo de Química, pelo viés da HFC, destacamos que a correlação da evolução histórica com o estudo de determinados conceitos permite aos alunos um entendimento mais acentuado das suas relações e aplicações, ao tempo em que facilita compreender diversos problemas que necessitam de conhecimentos químicos (FOGAÇA, 2017).

Dessa maneira, utilizar o passado como uma ferramenta para a compreensão do presente pode ser uma alternativa pedagógica eficaz, no sentido de tornar as aulas de Química mais estimulantes e desafiadoras para os alunos, com o devido cuidado de não proliferar um anacronismo histórico. Nesse sentido, o estudo sobre HFC ganha espaço nessa área, podendo ser entendido como uma nova ferramenta de ensino, que possibilita mostrar aos alunos o passo a passo da evolução de conceitos e conteúdos e, conseqüentemente, um ganho conceitual, em uma perspectiva contextualizada, contribuindo, assim, para a melhoria do ensino.

A partir deste estudo e das pesquisas de Mathews (1995) e de Silva *et al* (2008), ressaltamos a importância de ensinar HFC, a fim de que, a partir de todo o contexto de sala de aula, como por exemplo, as atividades escolares desenvolvidas pelos professores, seus alunos possam estabelecer parâmetros da ciência em sua realidade, conhecendo e analisando o que foi produzido no passado e como acontece a produção do conhecimento. Torna-se relevante, ainda, que apreciem os contextos que contribuíram para o surgimento e desenvolvimento dos conteúdos transmitidos nos livros didáticos e ensinados na escola.

Para isso, é interessante conhecer como os professores formadores pensam a produção do conhecimento no ensino de Química e desenvolvem metodologias que contribuirão para a problematização dos conceitos pertinentes a essa disciplina, no contexto da vivência de seus alunos. Logo, o objetivo geral deste estudo é analisar a concepção de professores de curso superior sobre a abordagem e importância da História e Filosofia da Ciência na formação docente de Licenciatura em Química da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

Consideramos de grande relevância científica o estudo aprofundado sobre a importância da HFC, tendo em vista os resultados que podem ajudar a comunidade científica e os professores a construírem caminhos para a abordagem histórica, ou seja, no uso da História e Filosofia das Ciências em sala de aula.

Na primeira parte deste artigo, apresentamos os conceitos teóricos principais que embasam nossas reflexões. Posteriormente, apresentamos a metodologia utilizada e a definição do Estudo de Caso, seguida dos resultados e discussões e, por fim, tecemos breves considerações finais.

2 Sobre o uso da História e Filosofia no Ensino de Ciências

A importância da abordagem didática da História e Filosofia da Ciência é indiscutível. Adotando a clássica obra de Matthews (1995), percebemos que esse defende a fundamental relevância da HFC na humanização do conhecimento científico, além de estimular os alunos, positivamente, a contribuir para um melhor esclarecimento dos conceitos científicos aprendidos e para seu desenvolvimento, de modo a superar a lacuna deixada pela falta de significado no que é ensinado. É seguindo essa perspectiva epistemológica que o ganho significativo contribui para aperfeiçoar a formação dos professores, auxiliando-os a melhor compreender a estrutura da ciência que lecionam.

Essa mesma história da ciência é, antes de tudo, a história dos problemas encarados pela própria ciência, em seu momento de construção, e também das soluções buscadas, ao longo do tempo, e das que se constituíram em determinado momento da linha cronológica da história. Seguindo essa linha de raciocínio, a produção do conhecimento, enquanto atividade humana, está essencialmente ligada ao meio intelectual e a como a instituição (ciência) se organizava em cada ocasião.

No conjunto da HFC, vários autores validam a exploração em trabalhos que têm como objetivo problematizar e levantar questões da produção científica, a exemplo de Latour (2000), que aborda uma perspectiva mais internalista de análise da ciência, seguindo a produção com caráter mais interno dos laboratórios de pesquisa, e Canguilhem (2012), com uma análise que considera

mais o contexto social da construção dos conhecimentos da ciência por uma perspectiva mais histórica no Brasil.

Carvalho e Vannucchi (1996) mostram a importância de o professor conhecer a HFC, para, assim, poder compreender os seus alunos, pois, inúmeras vezes, o raciocínio encontrado em sala de aula é muito semelhante àquele que um dia a ciência já considerou como correto. Neste sentido, o professor, conhecendo as concepções antigas de um determinado conceito irá conseguir respeitar as suas concepções prévias e fazer uma transposição didática para o conhecimento atual.

Com isso, muitas pesquisas mostram que a abordagem histórica, no ensino, permite aos alunos adquirirem um conhecimento sobre a natureza da ciência, possibilitando, dessa forma, a formação de um cidadão crítico e apto, para tomar decisões tecno-científicas (ACEVEDO *et. al*, 2005; PRAIA; GILPEREZ; VILCHES, 2007).

No entanto, o que se percebe é que o ensino tem sido tratado de maneira tradicional, com uma abordagem baseada no modelo transmissão-recepção, gerando, nos alunos, um grande desinteresse pela matéria, mesmo essa estando presente no cotidiano das pessoas. As pesquisas têm revelado que os professores, na maioria das vezes, não oportunizam uma abordagem de ensino contextualizada e interdisciplinar, não preparando, portanto, o indivíduo para a formação consciente do exercício da cidadania.

Nesse sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) que embasam o ensino trazem a necessidade da contextualização afirmando que,

Espera-se que o ensino contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial

que o conhecimento científico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humana (BRASIL, parte III, 2000, p.24).

Então, conforme observado, a contextualização começou a ser pensada a partir da promulgação dos PCNs, buscando trazer o cotidiano para a sala de aula e, mutuamente, aproximar o dia a dia dos alunos do conhecimento científico. Assim, tais ações, são extremamente importantes.

Apesar disso, Pretto (1985) declara que:

A apresentação da ciência é absolutamente a-histórica. Sem referência a seu processo de criação e muito menos ao contexto em que foi criada. E, o que é pior, na tentativa de suprir esta lacuna passa uma visão da História da Ciência como se fosse, como já dizíamos um armazém, um depósito onde se guardam as vidas dos cientistas, seus feitos e suas obras (PRETTO, 1985; p. 77).

Dessa forma, a inclusão da HFC na formação inicial e continuada dos professores proporciona o desenvolvimento do pensamento crítico dos futuros professores bem como de seus alunos. Assim, para que a formação seja a mais completa possível, é necessário que a abordagem histórica leve em consideração os vários aspectos envolvidos no desenvolver da ciência, permitindo a aquisição de uma visão crítica bem como o aprofundamento do conteúdo.

3 Materiais e métodos

Este estudo se caracteriza, metodologicamente, como um estudo de caso, de caráter descritivo e exploratório. Visando

alcançar os objetivos propostos neste artigo, privilegiamos a abordagem qualitativa, a qual, segundo Richardson (2008, p. 80),

[...] facilita descrever a complexidade de problemas e hipóteses, bem como analisar a interação entre variáveis, compreender e classificar determinados processos sociais, oferecer contribuições no processo das mudanças, criação ou formação de opiniões de determinados grupos e interpretação das particularidades dos comportamentos ou atitudes dos indivíduos.

A pesquisa qualitativa se ocupa com um nível de realidade que não pode ou não deveria ser quantificado, ou seja, esse tipo de pesquisa, como ressalta Minayo (2008), trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores, das atitudes, enfim, com todos esses fenômenos humanos que fazem parte de um contexto social, de uma realidade vivida e partilhada com outros semelhantes. Assim, entendemos que esse nível de realidade não é mensurável, precisa ser descrito e analisado pelo pesquisador.

Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória e descritiva tem como objetivo primordial a investigação das características de uma determinada população, fenômenos ou estabelecimentos de relação entre variáveis. Desta forma, ela promove uma maior integração com o problema para torná-lo explícito, aprofundando o conhecimento da realidade, procurando a razão das coisas e o seu porquê (ANDRADE, 1998).

É possível caracterizar a presente pesquisa como um estudo de caso, já que se buscou analisar a importância da HFC em uma comunidade específica. Na visão de Oliveira (2011), o estudo de caso é definido como um método qualitativo que consiste, geralmente, em uma forma de aprofundar uma unidade individual. Ele serve para responder questionamentos sobre fenômenos que

o pesquisador não tem muito controle. Esse tipo de metodologia, usada em nossa pesquisa, utiliza diferentes técnicas de coleta de informação e/ou de dados, tais como: a observação, a entrevista, a análise documental e os questionários. No nosso caso, utilizamos o questionário (Apêndice 01), contendo perguntas abertas, dirigidas especificamente a um público alvo composto por 06 professores, pertencentes ao curso de Licenciatura em Química da Universidade Estadual da Paraíba, campus de Campina Grande, na Paraíba.

Segundo Gil (2008), o questionário, enquanto instrumento de coleta de dados, pode ser definido como uma técnica de investigação social composta por um conjunto de questões que são submetidas a um grupo de pessoas ou a público específico, com o propósito de obter informações sobre um determinado conhecimento ou assunto, possibilitando um melhor entendimento da população no olhar do pesquisador. Nesse sentido, ao concordar em participar da pesquisa, os professores aqui analisados (*professor P1, professor P2...*), tiveram um tempo hábil para responder os questionários, entregando-os uma semana depois, sem que houvesse, por parte do pesquisador, identificação de suas respostas, uma vez que o questionário não era nominal.

Posterior à coleta dos questionários, com o objetivo de analisar as respostas dadas às perguntas abertas, foi utilizada como base a teoria da análise de discurso de Bakhtin (2006). Alertamos, no entanto, para o termo “discurso” aqui descrito, destacando que não estamos adotando uma concepção particular de linguagem, mas consideramos que o discurso se refere a qualquer texto, escrito ou produzido oralmente, como respostas de professores ou alunos a questionários e entrevistas, documentos oficiais, livros didáticos etc.

Bakhtin (2006) apresenta críticas a duas linhas de pensamento linguístico: o “objetivismo abstrato”, que considera a fala como uma simples materialização do sistema abstrato da língua e

o “subjetivismo individualista”, que considera a linguagem como uma forma de expressão individual e completamente livre. Nesse sentido, Bakhtin (2006, p.129) propõe uma nova forma de desenvolver essas análises e propõe que ela deve ser feita em três etapas: 1) as formas e os tipos de interação verbal em ligação com as condições concretas em que se realiza; 2) as formas das distintas enunciações, dos atos de fala isolados, em ligação estreita com a interação de que constituem os elementos, isto é, as categorias de atos de fala na vida e na criação ideológica que se presta a uma determinação pela interação verbal e 3) exame das formas da língua na sua interpretação linguística habitual.

De acordo com Volóchinov e Bakhtin (1976, p. 6-9), por mais que se dê valor à parte verbal, com seus fatores fonéticos, morfológicos e semânticos da palavra ou enunciado, não será possível dar um único passo para o entendimento do colóquio, se não levarmos em consideração o contexto extra verbal. Normalmente, esse contexto compreende três fatores: 1) o horizonte comum dos interlocutores; 2) o conhecimento e a compreensão comum da situação por parte dos interlocutores e 3) sua avaliação comum da situação. Vale salientar que o termo “comum” não significa um consenso, mas expõe apenas o compartilhamento de situações entre os envolvidos.

4 Resultados e discussão

Serão analisadas, a seguir, as respostas obtidas através dos questionários aplicados aos professores de ensino superior no curso de Licenciatura em Química da Universidade Estadual da Paraíba. O questionário foi desenvolvido, de modo que pudessemos analisar a opinião dos professores sobre quatro aspectos específicos, apresentados em forma de questionamentos:

- 1. Aspectos metodológicos, procedimentais e didáticos.**

Nesse primeiro ponto, buscamos evidenciar de que forma

os professores articulam as problematizações, argumentos e materiais, de modo a promover a inserção de elementos da HFC em sala de aula.

2. **Hierarquização de conceitos** - buscamos entender, a partir da frase “Antes de se fazer ciência, deve-se fazer história da ciência” (ver Apêndice01), de que modo os professores compreendem a importância de um conteúdo específico, frente à importância do contexto histórico. Seria possível (ou necessário) estabelecer essa hierarquia ou entende-se que esses conhecimentos se entrecruzam na formação do conhecimento?
3. **História e Filosofia da Ciência como uma forma de “romper” com o senso comum.** Aqui, buscamos compreender como os professores entendem a possibilidade do uso de elementos de HFC no ensino, a fim de romper, mesmo que parcialmente, com algumas concepções de senso comum, de modo que consigam construir um conhecimento mais elaborado do ponto de vista didático.
4. **Como concretizar a História e Filosofia da Ciência em sala de aula.** Neste último ponto, buscamos entender como os professores utilizam os argumentos, estudos ou textos da História e Filosofia da Ciência no ensino de Química.

4.1 Aspectos metodológicos, procedimentais e didáticos

No que se refere ao primeiro tópico, buscamos investigar como os professores argumentam sobre as formas de utilizar a História e Filosofia da Ciência no ensino de Química. É válido ressaltar que os professores tiveram total liberdade para responder aos questionários, destacando os aspectos metodológicos e didáticos que estivessem mais presentes em seu cotidiano. Nesse sentido, em primeira instância, destacamos a fala de um professor

que evidencia os problemas para inserir elementos da HFC no ensino.

P4 No meu entender, não existe uma abordagem bem feita caso ela não leve em consideração os momentos históricos sobre os quais os conhecimentos foram estabelecidos e construídos e consensuais Para mim, um dos grandes problemas didáticos atuais dos professores é não conseguirem colocar no seu planejamento ou ementa, para abordagem dos conteúdos que almejam ensinar, as situações históricas pelas quais aquele conhecimento passou, e isso tem consequências no processo didático e no próprio processo de ensino³.

O professor, em análise, deixa claro seu posicionamento favorável à inserção da HFC, no entanto, reconhece que, muitas vezes, é um pouco travado pela burocracia, pois, ao tentar introduzir práticas de ensino, divergentes do modelo tradicional, como a atividade experimental, o uso de HFC ou discussões de Natureza da Ciência, por exemplo, o profissional encontra dificuldade para conseguir contemplar esses “novos” conhecimentos e cumprir a ementa.

Essa fala é bastante consonante com a literatura, que aponta uma série de dificuldades para utilização da HFC no ensino. De acordo com Forato, Pietrocola e Martins (2011), quando as atividades envolvendo HFC pretendem sair da teoria e partir para prática, o professor encontra uma série de dificuldades, que vão desde sua formação, passando pelo tempo restrito das aulas e a constante necessidade de sempre limitar a quantidade e o aprofundamento do material que será trabalhado, em

3 É importante salientar que foram realizadas correções linguísticas nas falas transcritas, a fim de eliminar redundâncias, erros de concordância ou truncamentos típicos do contexto de fala e, conseqüentemente, não dificultar a compreensão do leitor.

função do tempo disponível. A necessidade de se adequar ao tempo previsto e a dificuldade de montar um planejamento adequado, para cumprir a ementa, podem ser entendidas como fatores muito fortes para dificultar a realização prática dessas atividades.

Além disso, destacamos que a falta de material adequado é outra realidade que acaba impactando no desenvolvimento de atividades ligadas ao uso da HFC no ensino de ciências:

P5 Dificuldades de materiais didáticos. Os livros, por exemplo, não conseguem fazer uma abordagem dos conteúdos, explorando a história e construção do conhecimento de forma efetiva, objetiva (...) muitas vezes, se resumem à biografia de autores e outros aspectos, que podem até vir a atrapalhar, ao invés de ajudar.

O professor expressa a dificuldade de utilizar a HFC no ensino, pois ela se torna muito mais complexa, quando não se tem um livro ou texto confiável no qual se possa fundamentar. Comumente, é feita a compilação de textos e livros pontuais que oferecem uma boa apresentação do conteúdo, mas, por serem tão específicos para determinados conteúdos, acabam dificultando a extensão dessa prática para toda disciplina, o que justifica um uso pontual da HFC, que aparece para explicar conteúdos específicos.

Nesse sentido, uma possível proposta para o campo didático pode ser percebida no seguinte argumento:

P2 Vinculando a proposta didática a temáticas ligadas ao cotidiano dos alunos, isso possibilitará prender a atenção dos alunos nas discussões formais, em torno dos conceitos trabalhados, com enfoque na História e Filosofia das Ciências.

De modo geral, os professores parecem defender que o uso de elementos de HFC seja feito de forma mais efetiva. Com base nas respostas obtidas, é possível notar que as dificuldades ainda

estão presentes, uma vez que os aspectos metodológicos e procedimentais não são expressos com clareza, aparecendo, de maneira recorrente, os pontos, nos quais já foram encontradas algumas dificuldades. Mesmo assim, podemos ter uma ideia geral de que boa parte das dificuldades desses professores está associada à rigidez da ementa e à falta de material didático ou dificuldade de acessá-lo.

4.2 Hierarquização de conceitos

Neste segundo tópico, nos dedicamos a entender como os professores compreendem a importância da HFC no ensino de Química. Esse é um aspecto interessante que deveria ser levado em consideração e questionado por todos os professores que se dedicam a investigar esse tema. Seria mais importante conhecer, plenamente, todo desenvolvimento histórico de um conteúdo científico ou seria mais importante conhecê-lo de modo contemporâneo, conseguindo utilizá-lo, descrevê-lo e resolver questões que lhe dizem respeito? É preciso ter em vista que o professor de Física, Química ou Biologia não é um professor de História. Sua formação não lhe atribui esse título, portanto, dominar os aspectos históricos e filosóficos da ciência não é uma necessidade deste profissional. Por outro lado, se há o intuito de trabalhar essa perspectiva da HFC, é necessário que o professor tenha o mínimo de conhecimento sobre ela.

No presente estudo, não estamos tentando fornecer uma resposta única para esse questionamento, assim como não tentamos atribuir um *status* de certo ou errado para cada uma das afirmativas. Esses questionamentos iniciais podem ser entendidos apenas como pontos relevantes, os quais acreditamos que deveriam ser analisados melhor e refletidos, a fim de se ter uma formação pessoal e profissional mais abrangente, para que o próprio profissional enxergasse suas próprias colocações e pontos de vista sobre determinada questão.

Dentre as respostas fornecidas para esse questionamento, destacamos duas respostas que embora abordadas por pontos de vistas diferentes, convergem para um mesmo aspecto. No primeiro caso, um professor admite que não faz sentido definir que a História da Ciência precede o próprio conhecimento científico, demonstrando acreditar que há certo exagero nessas colocações, como pode ser percebido a seguir:

P4 Essa frase em si é bem vaga (...). Ciência é feita pelos cientistas de plantão, coisas registradas e publicadas, as quais conseqüentemente vão se tornar história aquelas que mais se destacarem no percurso da construção do conhecimento para a realidade da comunidade científica. Já para realidade dos professores, o papel do professor é fazer o resgate da história, da construção do conhecimento, claro que, pontuando momentos, porque não dá pra resgatar tudo, todos os erros e acertos que contribuíram para a evolução de um saber, então isso tem que ser considerado. A história nunca deixa de estar sendo feita.

Essa resposta tem um argumento interessante. Nela, o autor afirma que não poderia haver qualquer tipo de hierarquia entre a história e o conteúdo. Para ele, não parece haver sentido em atribuir maior importância aos conteúdos científicos abordados pelo viés histórico, uma vez que, em sala de aula, são feitos apenas alguns recortes, não podendo se priorizar esse conhecimento. A HFC, aqui, aparece como uma ferramenta que permite tornar conteúdos mais acessíveis para os alunos, não como parte principal do processo de ensino.

Sendo assim, alguns professores concordam com a ideia de que a História da Ciência precede o conhecimento conceitual. No entanto, as respostas parecem não demonstrar que haja uma hierarquização entre o conhecimento histórico e o contemporâneo. De acordo com as respostas obtidas, mesmo admitindo concordar com a colocação já citada, os professores que disseram concordar

com essa afirmação, parecem apenas propor uma associação entre esses conhecimentos, admitindo que possam ser usados de forma complementar:

P3 Sim. O conteúdo sobre um saber, uma lei, um postulado, pode ficar mais completo, quando conseguimos acompanhar seu processo de desenvolvimento e evolução até o que a ciência nos apresenta nos dias atuais.

De maneira geral, podemos admitir que as respostas divergem um pouco entre si, mas parecem apontar para um mesmo resultado: o de que não podemos adotar um nível hierárquico entre o conteúdo disciplinar e seu desenvolvimento histórico, denotando, assim, uma visível possibilidade de associação entre eles.

4.3 História e Filosofia da Ciência como uma forma de “romper” com o senso comum

No que se refere ao senso comum, interpretado, neste estudo, com base nas respostas obtidas, enquanto saberes cotidianos da natureza da ciência, todos os professores foram categóricos, ao afirmarem que o uso da HFC pode contribuir, para que haja uma redução na disseminação de concepções alternativas e inadequadas provenientes do senso comum. Dentre as respostas obtidas, um professor nos alerta sobre a questão do senso comum, que parece ser apresentado de forma oposta à realidade:

P5 Não sei se o senso comum é tão evoluído quanto está sendo pregado (...). Para mim, o senso comum tem a ciência como uma atividade superfantástica, produzida por deuses, seres superinteligentes, superiores as pessoas comuns.

Nesse sentido, a HFC poderia atuar como uma forma de evitar a propagação de tantos erros e inadequações como anacronismos,

presentes nas concepções de tantos alunos e, até mesmo, de alguns professores.

P5 A história da ciência mostra que os grandes gênios da atualidade, como Newton ou Einstein, eram muito ingênuos, à época, em conhecimentos que, atualmente, até crianças sabem, então, é necessário evitar anacronismos. A história da ciência é muito importante e é a sua falta que faz com que muitos alunos saiam tão malformados.

Além disso, há, ainda, outros argumentos favoráveis à inserção de elementos de HFC no ensino de ciências, como uma forma de evitar a propagação de ideias inadequadas e favorecer a discussão de questões relevantes que só aparecem em discussões dessa natureza.

P1 Compreende-se que a utilização da HFC contribui para melhorar a compreensão de como o conhecimento se originou, destacando as discontinuidades que ocorreram ao longo do processo, as rupturas e quebra de paradigmas. Além disso, colabora para desconstruir controvérsias científicas, como a história da Maçã de Newton, a Eureka de Arquimedes, entre outros, que acabam passando para os alunos uma “pseudo” história da ciência.

De modo geral, podemos admitir que todos os professores aceitam que, de fato, a utilização de elementos de HFC conseguem contribuir para o ensino de Química, evitando concepções inadequadas e místicas que envolvem a maior parte do conhecimento histórico proveniente dos saberes cotidianos da natureza da ciência, sendo, assim, uma forma eficiente de se ensinar ciência.

4.5 Como concretizar a História e Filosofia da Ciência em sala de aula

Neste último tópico, buscamos analisar como os professores enxergam uma possibilidade concreta de inserir elemento

de HFC no ensino. A ideia é entender os argumentos apontados como dificuldade ou pontos-chaves para entender melhor os conhecimentos envolvidos. Nesse sentido, destacamos a seguinte argumentação:

P1 Penso que é necessário e importante trabalhar com aspectos da história da ciência, buscando superar a ideia de uma ciência como “verdade absoluta”, construída por “grandes gênios”, de modo a apresentar seus avanços e sua colaboração para promover o bem-estar da sociedade. A utilização da HC humaniza o ensino, ao se trabalhar com elementos da Natureza da Ciência, oportunizando uma compreensão de que a construção do conhecimento se dá a partir de quebra de paradigmas, de descontinuidades que ocorrem ao longo do processo de construção dos conceitos. É importante enfatizar os seus avanços, erros e conflitos, analisando as diferentes interferências que ocorreram em uma determinada época, buscando superar controvérsias e erros que interferem na compreensão dos diferentes casos históricos.

Nota-se que o professor apresenta uma preocupação em conhecer os erros e inadequações, para que se possa evitar deslizes durante as aulas, o que pode levar à propagação de concepções equivocadas e incoerentes. Nesse sentido, outra colocação importante refere-se à forma como esse estudo e ensino deve ser realizado e, nesse enfoque dos materiais utilizados, podemos destacar o seguinte argumento:

P3 Sim. Torna-se de extrema importância analisar, criticamente, os diferentes episódios históricos, buscando através de fontes primárias, se apropriar e se aprofundar nos elementos que envolvem o estudo da natureza da ciência. A HC nos livros didáticos, por exemplo, apenas enfatiza nomes, datas de nascimento e morte, destacando apenas “a grande descoberta”, realizada por um

único cientista, o que não representa história da ciência, segundo diversas pesquisas sobre o tema.

Além do reconhecimento da importância da HFC no ensino, a fim de se evitar inadequações e concepções alternativas, a atenção aos materiais que podem ser utilizados marcam uma parte significativa das respostas e nos dá certa dimensão dos principais argumentos desses profissionais. Destacamos, ainda, a importância da formação do professor, que é vista como uma necessidade urgente.

P5 A incorporação da HC deve ser introduzida no processo de formação inicial de professores com uma necessidade urgente. Torna-se importante, por exemplo, nos cursos de Química, que a abordagem histórica seja enfatizada, buscando mostrar como os diversos conceitos foram sendo construídos na ciência, destacando seus avanços, erros e conflitos.

De modo geral, as respostas estão pautadas na tentativa de superar desafios e obstáculos didáticos, como uma forma de conseguir fornecer um ensino de Química de modo mais eficiente, promovendo, conseqüentemente, um ensino mais rico e contextualizado.

6 Conclusão

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, é possível concluir que o uso da HFC, no ensino de Química, tem sido apresentado, na literatura da área, como um importante recurso pedagógico para promover a educação científica. Com isso, tornam-se importantes as reflexões em torno da História e Filosofia da Ciência, que buscam favorecer a atuação docente, possibilitando, assim, ao professor, auxiliar o aluno na compreensão da real função da ciência na sociedade.

Entendemos que o arcabouço teórico criado por Bakhtin (2006) tem elementos interessantes, que dão suporte para nossas interpretações frente aos argumentos apresentados pelos professores. Não estamos tentando caracterizar argumentos dentro de determinadas categorias, mas esta é uma tentativa de estabelecer uma linha tênue que marca o horizonte comum dos interlocutores, no qual todos os profissionais desfrutam de uma mesma vivência, em termos acadêmicos, e expressam suas opiniões a partir de um mesmo lugar de fala. É interessante notar que, mesmo compartilhando um mesmo espaço, eles desfrutam, em alguns momentos, de concepções diferentes sobre temáticas semelhantes e divergem também entre as problemáticas e desafios que lhes são mais impactantes. Acreditamos que essas divergências levam ao conhecimento e à compreensão comum da situação vivida entre todos os interlocutores e apropriações que pretendam ir além do uso pontual de determinados conceitos e parecem comungar de uma mesma avaliação geral da situação.

Referências

ACEVEDO, J. A.; Vázquez, A.; Paixão, M. F.; Acevedo, P.; Oliva J. M.; Manassero, M. A. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005

ANDRADE, Maria Margarida. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. São Paulo; Editora Atlas, 1998

BAKHTIN, M. **Marxismo e filosofia da linguagem**. 12 ed., São Paulo: Hucitec, 2006.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2000.

CANGUILHEM, G. **Estudos de história e filosofia das ciências:** concernentes aos vivos e à vida. Rio de Janeiro: Forense universitária, 2012.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. O currículo de física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, p. 3-19, 1996.

FOGAÇA, J. R. V. **Estequiometria de reações.** Brasil Escola, 2017. Disponível em <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/estequiometria-reacoes.htm>. Acesso em 11 de março de 2021.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LATOUR, B. **Ciência em ação.** São Paulo: Ed UNESP, 2000.

MATTHEWS, M.R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, 12 (3), 164-214, 1995.

MINAYO, M. C. S. *et al.* **Teoria, método e criatividade.** 27. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. A história da ciência no ensino: diferentes enfoques e suas implicações na compreensão da ciência, *In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8, 2011, Campinas. Atas... Campinas: ABRAPEC, 2011.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRETTO, N. D. L. *A Ciência nos livros didáticos*. Campinas: Editora da Unicamp, 1985.

RICHARDSON, R. J. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SILVA, C. P.; FIGUEIROA, S.F.M.; NEWERLA, V.B.; MENDES, M.I.P. Subsídios para o uso da História das Ciências no ensino: exemplos extraídos das geociências. *Ciênc. educ.* (Bauru), vol.14, n.3. p. 497-517, 2008.

SOUZA, H. Y. S.; SILVA, C. K. O. Dados Orgânicos: Um Jogo Didático no Ensino de Química. *HOLOS*, v.3, p.107-121, 2012. Disponível em:

<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/737/559>. Acesso em fev. 2024.

VOLÓCHINOV, V. N.; BAKHTIN, M. *Discurso na vida e discurso na arte*. Trad. Cristóvão Tezza e Carlos A. Faraco. (Texto de circulação acadêmica), 1976.

APÊNDICE 01

QUESTIONÁRIO

1. A História da Ciência ajuda na contribuição direta para uma compreensão da abordagem dos conteúdos curriculares escolares. Para isso, se faz necessário superar a articulação problematizadora dos diversos saberes entre as disciplinas. De que maneira você educador (a) vê essa possibilidade?
2. Segundo Kuhn (1962) *apud* Oliveira e Silva (2011) "Antes de se fazer ciência, deve-se fazer história da ciência". Você concorda com essa frase? Acredita que dessa forma pode-se trazer contribuição na aprendizagem do discente?
3. Normalmente o senso comum acredita que a História e Filosofia da Ciência (HFC) está relacionado ao sentido de que a ciência percorre seu desenvolvimento de atividade humana, porém a HFC perpassa então a essa concepção de maneira mais explicativa, afim de fomentar esse estudo que se faz necessário relacionar diretamente a historiografia atual nesse processo construído da ciência. Partindo dessa concepção, qual a importância da HFC para a formação docente?
4. Como a abordagem histórica pode trazer subsídios para o entendimento de História e Filosofia das Ciências?

8



OS SABERES DOCENTES MOBILIZADOS POR PIBIDIANOS, A PARTIR DE UMA OFICINA DE CARATER INVESTIGATIVO

Alexandre Campos ¹
Gildevan Oliveira Silva ²

1 Introdução

Durante suas ações em sala de aula, o docente mobiliza diversos saberes docentes, desde aqueles relativos à sua formação experiencial até aqueles relativos à sua formação inicial. Dentre esses saberes, estão os que dizem respeito às metodologias de aula que vivenciou. Por vezes, essas aulas são tradicionais, centrando o conhecimento no professor e o apresentando como um produto acabado.

Em contraposição ao ensino tradicional, o ensino investigativo busca deslocar o aluno para uma posição de caráter epistêmica, privilegiando o processo pelo qual se dá a construção de aspectos

1 Professor na Unidade Acadêmica de Física da Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Ensino de Física.

2 Professor no Centro de Ciências Sociais e Aplicadas da Universidade Estadual da Paraíba. Mestrando em Ensino de Ciências.

da cultura científica (levantamento de hipóteses, testes, discussões etc), conferindo-lhes maior grau de autonomia intelectual. Essa configuração exige, por parte do aluno, uma participação mais ativa e, por parte do professor, uma abordagem diferente daquelas vivenciadas por ele em sua formação básica e, até mesmo, em sua formação inicial.

É na perspectiva de aproximar essas duas realidades que este capítulo se apresenta. Se, por um lado, tem-se uma formação docente que privilegia o conhecimento como produto e está centrado no professor; tem-se, por outro lado, uma proposta de ensino que, além de privilegiar o processo construtivo do conhecimento, centra as ações nos alunos. O presente artigo é um recorte de uma investigação que ocorreu no âmbito de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), baseada na seguinte inquietação: Qual (ou quais) saberes docentes seriam mobilizados por professores em formação inicial durante a execução de uma atividade de caráter investigativa?

A metodologia adotada incluiu a coleta de dados por meio de uma oficina de caráter investigativo, gravadas em vídeo e áudio, além de relatos escritos pelos professores, feitos ao final da oficina. Essa escolha permitiu identificar como os futuros professores refletiram sobre suas ações durante a realização das oficinas.

Já a análise dos dados foi realizada a partir da transcrição desses vídeos e de relatos feitos pelos próprios professores em formação inicial, os quais participavam do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e ministraram a oficina. Os resultados lançam luz sobre a interação entre teoria e prática na formação docente, evidenciando a relevância do ensino investigativo para o desenvolvimento profissional dos educadores.

2 A formação docente e seus saberes específicos

Ao realizar uma breve investigação sobre os primeiros anos da docência, enquanto atividade reconhecida e dedicada ao ensino,

percebe-se que é comum associá-la a uma espécie de *dom*. Tal associação remonta aos séculos XVI e XVII e estão vinculadas às instituições religiosas da época. Foi a partir da forte relação entre o padre e o professor que foi conferido a esse a ideia de que a ação de ensinar é, antes de mais nada, um *dom*.

Com o passar do tempo, as escolas foram se desenvolvendo e se desvinculando gradualmente das instituições religiosas. Segundo Nóvoa (1999), a estatização da educação apenas transferiu o vínculo dos professores para o estado. Embora se reconheça que a influência religiosa tenha dado mais liberdade aos professores, as motivações, as normas e os valores da profissão docente praticamente não sofreram mudanças significativas.

Foi em meados do século XVIII que se iniciaram os questionamentos sobre o perfil do professor ideal, o que motivou um processo de profissionalização docente. Segundo Sacristán (1999), essa profissionalização é:

a afirmação do que é específico na ação docente, isto é, o conjunto de comportamentos, conhecimentos, destrezas, atitudes e valores que constitui a especificidade de ser professor (Sacristán, 1999, p. 65).

Essa nova compreensão leva a observar-se o professor como um profissional da educação e, portanto, em sua formação. O interesse pelo processo de aprendizagem se inicia, aproximadamente, na década de 1920 e é na década de 1940 e de 1950 que a figura do aluno passa a aparecer nas discussões sobre a formação dos professores. Ao chegar aos anos de 1960 e de 1970, é que o ensino e a aprendizagem passam a ser considerados como um processo. Consoante a essa nova perspectiva, emerge uma nova necessidade de se repensar e discutir a formação docente.

Nas décadas de 1980 e de 1990, surgem as primeiras mobilizações com relação à profissionalização docente, abarcando um repertório de conhecimentos profissionais específicos do fazer

docente que o tornariam apto ao exercício. A visita de Tardif ao Brasil, na primeira década dos anos 2000, dá força às essas discussões. Para o educador,

Se chamamos de “saberes sociais” o conjunto de saberes que dispõe uma sociedade e de “educação” o conjunto de processos de formação e de aprendizagem elaborados socialmente e destinados a instruir os membros da sociedade com base nesses saberes, então é evidente que os grupos de educadores, os corpos docentes que realizam efetivamente esses processos educativos no âmbito do sistema de formação em vigor, são chamados, de uma maneira ou de outra, a definir sua prática em relação aos saberes que possuem e transmitem (Tardif, 2019, p.31).

Além disso, o saber dos professores não pode ser desassociado da sua *práxis*.

Devo dizer inicialmente que, para mim, a questão do saber dos professores não pode ser separada das outras dimensões do ensino, nem do estudo do trabalho realizado diariamente pelos professores de profissão, de maneira mais específica. Em todos esses anos, sempre situei essa questão do saber profissional no contexto mais amplo do estudo da profissão docente, de sua história recente e de sua situação dentro da escola e da sociedade (Tardif e Lassard *apud* Tardif, 2019, p.10).

Portanto, é possível perceber, pelas falas do autor, que há um saber específico dos professores e que este não pode ser dissociado das diversas dimensões da educação. Desta forma, é importante que possamos identificar quais são os saberes mobilizados por professores experientes, para que, a partir daí, seja possível considerá-los na formação inicial docente.

É importante observar que há saberes mais importantes do que outros, qualificados assim pelos próprios professores em função de sua utilidade. Nas palavras de Tardif (2019), “os professores que encontrei e observei não colocam todos os seus saberes em pé de igualdade, mas tendem a hierarquiza-los em função de sua utilidade no ensino” (p. 21). A tabela 1, abaixo, ilustra os saberes docentes de acordo com o autor

Tabela 1 – Saberes docentes

Saberes dos professores	Fontes sociais de aquisição	Modos de integração no trabalho docente
Saberes da formação profissional	O estabelecimento de formação de professores, os estágios, os cursos de reciclagem etc.	Pela formação e socialização de profissionais nas instituições de formação de professores.
Saberes curriculares	O uso de “ferramentas” dos professores, livros didáticos, cadernos de exercícios, fichas etc.	Pela utilização de “ferramentas” de trabalho, sua adaptação às tarefas.
Saberes experienciais	A prática do ofício na escola e na sala de aula, a experiência dos pares etc.	Pela prática do trabalho e pela socialização profissional.
Saberes pessoais	A família, o ambiente de vida, a educação no sentido lato etc.	Pela história de vida e pela socialização primária.
Saberes da formação anterior	A escola primária e secundária, os estudos pós-secundários não especializados etc.	Pela formação e pela socialização pré-profissionais.

Fonte: (Tardif, 2019 p. 63).

Ainda segundo Maurice Tardif (2019), é importante que entendamos que esses saberes não se reduzem apenas aos conteúdos programáticos que estão presentes no contexto escolar. Eles se referem a todo o conjunto de saberes desde a formação inicial e continuada, como também das/nas experiências em sala de aula.

3 O Ensino Investigativo

Ao realizarmos uma busca simples na internet sobre Ensino por Investigação, é possível perceber a existência de termos que se misturam e causam confusão, como é o caso do letramento científico, da alfabetização científica e da enculturação científica. Tais termos são, frequentemente, utilizados para designar um Ensino de Ciências que busca formar um cidadão crítico, a partir do ensino de elementos do fazer ciência.

De acordo com Paulo Freire (1980),

... a alfabetização é mais que o simples domínio psicológico e mecânico de técnicas de escrever e ler. É o domínio destas técnicas em termos conscientes. (...) Implica numa autoformação de que possa resultar uma postura interferente do homem sobre seu contexto (Freire, 1980, p. 111).

Dessa maneira, alfabetizar pode ser entendido como a ação de proporcionar ao aluno a experiência de vivenciar uma nova cultura, a científica, ao passo que se privilegia o desenvolvimento de competências próprias dessa cultura, o Letramento. Nesse sentido, pode-se assumir que a Alfabetização Científica contemple também o Letramento e a Enculturação Científica. Assim, utilizaremos a Alfabetização Científica, quando nos referirmos ao Ensino por Investigação.

Levar um aluno a dominar uma técnica para um momento específico de sua vida é algo relativamente fácil, porém alfabetizá-lo, no sentido de favorecer sua autonomia é uma missão mais complexa. Logo, podemos entender a Alfabetização Científica como um processo, dependendo das situações com as quais os indivíduos sejam confrontados (Sasseron, 2010).

Para Sasseron (2015),

Ensinar ciências, sob essa perspectiva, implica dar atenção a seus produtos e a seus processos. Implica oportunizar o contato com um corpo de conhecimentos que integra uma maneira de construir entendimentos sobre o mundo, os fenômenos naturais e os impactos desses em nossas vidas. Implica, portanto, não apenas reconhecer os termos e os conceitos canônicos das ciências de modo a poder aplicá-los em situações atuais, pois o componente da obsolescência integra a própria ciência e o modo como dela e de seus conhecimentos nos apropriamos (Sasseron, 2015, p. 52).

Sendo assim, é importante que, nesse processo de alfabetização, o docente leve ao aluno situações que envolvam os conteúdos e conhecimentos a serem aprendidos e, desta maneira, permita que ele experimente e dialogue, a fim de construir o conhecimento. Todavia, para Sasseron (2015), o Ensino por Investigação pode ser pensado como uma metodologia, pois podemos fazer inserções desse tipo nas mais diversas aulas e nos mais variados conteúdos.

Desta maneira, o Ensino por Investigação passa a ser entendido como uma abordagem metodológica, associada a qualquer recurso de ensino, desde que priorize o processo investigativo. Esse tipo de abordagem metodológica exige do professor um acompanhamento atento dos diferentes momentos da sala de aula. A importância do professor pode ser percebida no seguinte recorte,

O ensino por investigação configurase como uma abordagem didática, podendo, portanto, estar vinculada a qualquer recurso de ensino desde que o processo de investigação seja colocado em prática e realizado pelos alunos a partir e por meio das orientações do professor (Sasseron, 2015, p. 52).

Assim, os papéis e as relações entre o professor, o aluno e conhecimento precisam ser reorganizados. Cabe agora aos alunos atuarem, a fim de resolver determinado problema, valendo de elementos epistêmicos. Por outro lado, cabe ao professor observar, orientar, mediar e organizar as ações durante as atividades investigativas. Por outro lado, cabe

O aluno passa então a ter uma autonomia em suas ações proporcionada por uma mudança de postura didático-metodológica. Essa autonomia pode ser pensada de acordo com alguns graus de liberdade intelectual.

3.1 Graus de Liberdade Intelectual

A participação dos estudantes é reconhecida como fundamental para que o processo de ensino-aprendizagem seja eficaz. Segundo Carvalho (2018), compreender a liberdade intelectual dos alunos é crucial para a práxis docente. Caberia ao professor criar condições que possibilitem a interação dos alunos com o conteúdo e entre os próprios alunos, privilegiando a troca de saberes numa relação de simetria.

Por ser uma metodologia que considera as práticas epistêmicas, atribuiu-se graus de liberdade intelectual a partir de certas práticas epistêmicas. Pensando-se, inicialmente, nas atividades experimentais, as relações entre as práticas epistêmicas e os graus de liberdade intelectual podem ser observados na tabela 2.

A primeira coluna se refere aos aspectos epistêmicos da aula e as demais aos graus de liberdade atribuídos ao professor e aos alunos. No grau 1, temos como exemplo as aulas tradicionais de experimentos, nas quais o professor apresenta um problema, seja científico ou didático, e realiza o levantamento de hipóteses. Os alunos, seguindo roteiros fechados, reproduzem as etapas e coletam os dados esperados, que levam o professor a concluir a atividade. Em contraste, o grau 5 representa uma aula em que o

aluno traz um problema, geralmente relacionado a uma situação real, formula hipóteses e elabora uma estratégia para testá-las. Por fim, com o auxílio dos colegas e do professor, os alunos chegam a uma conclusão.

Tabela 2 Graus de liberdade para atividades experimentais

Momento	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Problema	P	P	P	P	A
Hipótese	P	P/A	P/A	A	A
Plano de Trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção dos dados	A	A	A	A	A
Conclusão	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2018, p.768

Quando falamos em uma alfabetização científica que gera emancipação ao aluno, é possível entender que ela precisa ser uma educação que permita um maior grau de liberdade ao aluno. De forma semelhante, sequências de ensino por investigação devem privilegiar uma maior participação dos alunos, ou seja, que eles possuam um grau de liberdade intelectual mais elevado.

Ainda que tenha sido pensada inicialmente para as atividades experimentais, os graus de liberdade também podem ser utilizados para aulas que envolvem a leitura de textos históricos, por exemplo. A tabela 3 relaciona os graus de liberdade dos alunos para a leitura de um texto.

De forma análoga à tabela 1, o grau 1 apresenta a menor liberdade dada ao aluno e a última coluna, o grau 5, maior grau. Em situações categorizadas como grau 1, fica a cargo do aluno apenas a leitura do texto. Contudo, já no grau 5, o próprio texto é trazido pelos alunos, que, além da leitura, conduzem as discussões e análises do texto, cabendo, assim, ao professor a função de mediador.

Tabela 3 - Graus de liberdade em situação de discussão de textos históricos

Momento	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Escolha do texto	P	P	P	P	A
Problematização	P	P/A	A/P	A	A
Leitura do texto	A	A	A	A	A
Análise do Texto	P	A	A	A	A
Conclusões	P	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2018, p.770.

Logo, a pergunta que se faz agora é: Como o Ensino por Investigação pode contribuir para a formação inicial docente e quais seriam os saberes docentes mobilizados por professores em formação inicial durante a executabilidade de uma atividade investigativa?

4 Aspectos metodológicos

O caminho metodológico de qualquer pesquisa é um fator crucial e requer muita cautela por parte do pesquisador, pois é através desse percurso que buscar-se-á a resposta para a pergunta-problema. “Podese definir método como caminho para se chegar a determinado fim. E método científico como o conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento” (Gil, 2008, p.8). Essa escolha, na área de Ensino de Ciências, é também preventiva, pois a busca pela veracidade dos fatos garante robustez e confiabilidade à pesquisa.

A investigação se deu numa oficina investigativa no âmbito do PIBID. Assim, a oficina foi ministrada por bolsistas desse programa. Na ocasião, os bolsistas cursavam disciplinas do segundo ao quarto período da graduação em Física numa Universidade pública do Estado da Paraíba.

A oficina foi realizada num sábado com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio no Departamento de Física da Universidade. A faixa etária dos estudantes flutuava entre os 16

e 19 anos. A oficina foi filmada e, ao final, os bolsistas redigiram um relato livre e espontâneo sobre a oficina. Tanto os estudantes quanto os bolsistas providenciaram um termo de consentimento livre e esclarecido, autorizando a filmagem e o uso dos registros para fins acadêmicos. Foi assegurado que as menções aos envolvidos se dariam com nomes fictícios. Foi a partir das gravações da oficina e dos relatos dos bolsistas, que analisamos os saberes docentes mobilizados pelos professores em formação inicial.

5 A oficina: a caixa preta e papel dos modelos nas ciências

A oficina em questão visava discutir a importância dos modelos científicos. Para isso, foi utilizada uma caixa preta (figura 1) com dois arames conectados internamente cujo mecanismo de funcionamento era inacessível aos estudantes. A questão de fundo consistia em criar uma explicação sobre o funcionamento desse mecanismo, sem abrir a caixa preta.

Figura 1 - Modelo da caixa preta



Fonte: Autoria própria.

Os estudantes foram organizados em grupos com quatro ou cinco componentes e teriam 20 minutos para observar e criar um modelo teórico para aquele mecanismo. A seguir, deveriam fixar na lousa seu modelo explicativo com os modelos dos outros

grupos. Ao final, todos os grupos explicariam seus modelos teóricos (no intervalo de 30 minutos).

Os bolsistas entregaram, então, a caixa preta aos grupos, explicando a dinâmica da atividade. De posse das caixas, os grupos puderam observar seu funcionamento e criar seus modelos explicativos. A partir do problema proposto, os grupos criaram suas hipóteses. Após a elaboração e apresentação das diferentes hipóteses, os grupos escolheram o modelo que melhor explicava o funcionamento da caixa.

A partir dessa discussão, os bolsistas discutiram um texto sobre a importância dos modelos na vida cotidiana e nas Ciências. Em nenhum momento, a caixa foi aberta, perpetuando, assim, a dúvida se o modelo apresentado era ou não válido, dando a entender que, como nas ciências, nem toda resposta vem de forma imediata.

5.1 A caixa preta como atividade investigativa e os graus de liberdade

Tomando a tabela 1 como referência, percebe-se uma aproximação entre a atividade da caixa preta com os graus de liberdade 3 e 4. Nesse caso, os bolsistas (professor em formação inicial) apresentam o problema, os estudantes elaboram as hipóteses (grupo), criam o plano de trabalho (grupo), obtêm os dados (grupo) e realizam suas conclusões (classe/professor). Ao final, os bolsistas sistematizam o conhecimento com a leitura e discussão do texto (40 minutos).

5.2 Critérios de Análises

Para analisar os saberes que são mobilizados pelos docentes na execução da oficina, utilizaremos os saberes trazidos por Tardif (tabela 1). Essa análise se dará a partir de um recorte da transcrição dos registros de áudio e vídeo, assim como com os relatos livres e espontâneos realizados pelos bolsistas ao final da oficina.

Preferimos apresentar, primeiramente, as transcrições, nas quais serão observadas as falas dos docentes e suas interações com os discentes. A análise se dá a partir da inferência desses registros sobre possíveis saberes mobilizados pelos docentes em formação inicial (bolsistas).

Após a análise realizada sobre as transcrições, serão analisados os relatos produzidos pelos próprios bolsistas. Denominaremos os bolsistas por professor 1 e professor 2. Vale destacar que a oficina foi ministrada por quatro bolsistas, contudo apenas dois deles tiveram participação nas ações, enquanto os outros dois os auxiliaram.

5.3 Discussões e resultados

Após obtenção dos dados e levantados os critérios para avaliarmos os dados, é preciso organizar, de forma coesa e conexa, toda a análise e, conseqüentemente, a interpretação da análise.

5.4 Análise dos vídeos

A tabela 4 apresenta um recorte das discussões realizadas entre os estudantes e os bolsistas. O saber mobilizado pelo bolsista está na última coluna.

Tabela 4 - Recorte das discussões na oficina

Sujeito	Trecho	Saber
Professor 2	Quero que vocês tentem explicar. Vocês não sabem o que tem aqui dentro, né? Mas vão tentar explicar.	Curricular
Estudante 1	<i>A gente não vai saber não? Se vocês não disserem eu não vou dormir.</i>	<i>Não se aplica (N/A)</i>
Professor 2	<i>Vocês querem saber?</i>	Curricular
Estudante 1	<i>Eu quero.</i>	(N/A)
Professor 2	<i>Olha aqui! (apontando para o modelo feito pelas alunas)</i>	Pessoal

Sujeito	Trecho	Saber
Estudante 2	<i>Eu volto para saber o que tem aqui dentro.</i>	<i>(N/A)</i>
Estudante 1	<i>A gente vai jogar isso no chão.</i>	<i>(N/A)</i>
Professor 2	<i>Não faz isso não, a gente ainda tem outra oficina.</i>	<i>Pessoal</i>
Professor 2	<i>Vocês querem saber? A gente vai conversar com vocês para ver se vocês chegaram no processo.</i>	<i>Curricular</i>
Professor 1	<i>Claro que eles vão saber olha aqui, como é o modelo.</i>	<i>Curricular</i>
Estudante 1	<i>Isso é como a gente pensa. A gente quer saber o que realmente tem.</i>	<i>(N/A)</i>
Professor 2	<i>Sua ideia não pode estar certa não?</i>	<i>Curricular</i>

Fonte: Elaboração Própria

Ao observarmos o trecho acima, é possível notar que foi gerada uma certa curiosidade nos alunos, contudo há, também, uma necessidade em saber uma resposta “correta”, que para o caso não existia. O fato de trabalhar com modelos já consumados na ciência pode ter incitado os discentes inferirem que há sempre uma verdade concreta, ainda que se leve tempo até construirmos modelos que se assemelhem à realidade propriamente dita.

O fato de o professor 2 utilizar uma fala com um saber pessoal nos aparenta uma tentativa de empatia com a discente, após afirmar que jogaria a caixa no chão. Isso é de muita relevância para entendermos a formação docente, pois é possível observar que a relação professoraluno não é apenas consolidada por meros conteúdos préestabelecido, mas por diversas situações e, como exposto por Tardif (2014), diversos saberes.

Outro ponto também a ser levantado é que o modelo da aula montada, seguindo o caminho metodológico do Ensino por Investigação e os graus de liberdade, trazidos por Ana Maria de Pessoa Carvalho, levam a uma interação mais proximal entre o docente e o discente. Com isso, é possível perceber, nesse e em outros trechos, a utilização de saberes pessoais dos professores. Outro bom exemplo pode ser visualizado no trecho a seguir (tabela 5):

Tabela 5 - Trecho de diálogo analisado (momento das discussões)

Sujeito	Trecho	Saber
Estudante 2:	Acho que foi Deus que quis assim então vai ficar assim.	(N/A)
Estudante 1:	Boa resposta.	(N/A)
Estudante 1:	Se Deus falou tá falado.	(N/A)
Professor 1:	ótimo. O que a gente observou é que quase todos os modelos se envolveram com mola.	Curricular e Pessoal
Professor 1:	está meio dessa pergunta sobre o conhecimento prévio é porque vocês conhecem uma mola vocês sabem o que é o amor você tem um conhecimento de como funciona uma mola. Quando você puxa você imagina uma mola é mais ou menos o funcionamento de uma mola comum	Curricular
Estudante 1:	Tem mola dentro não, né?	(N/A)
Professor 1:	Todos disseram que é uma mola, eu não sei	Curricular e Pessoal
Professor 1:	O meu é que foi Deus e pronto.	Pessoal
Professor 1:	A força divina da natureza.	Pessoal

Fonte: Elaboração Própria

Nesse trecho em específico, é possível observar que o professor 1 (bolsista 1) faz a utilização de um saber pessoal, que já havia sido levantado anteriormente por uma aluna, a fim de fazê-lo se questionar sobre a existência ou não de uma mola. Essa utilização permitiu ao professor retomar não apenas uma ideia de um aluno, mas um “modelo” enraizado em nossa sociedade pela religiosidade. O que reforça, mais uma vez, a aplicabilidade dos modelos nas mais diversas áreas da vida e, também, como os saberes pessoais dos professores também interagem com seu magistério.

É importante observar que o professor 1, dentro de sua fala, corrobora, mesmo que de forma não intencional, com o ponto de vista da aluna. Contudo, essa atitude da professora nos indica que houve uma falta de experiência de sala de aula, o que já era esperado, devido ao fato de ainda ser um graduando.

Outra observação interessante está na fala do professor 1, quando utiliza de um ponto comum diante da fala dos alunos - a utilização de molas em seus modelos -, e tenta explicar o porquê de escolherem a mola e se o seu conhecimento já os ajudou. Essa tentativa, ainda que sutil, de aproximar o aluno de seu cotidiano e mostrar que sua escolha foi influenciada por um conhecimento físico, mesmo que inconsciente, pode ter tornado o seu modelo ainda mais consistente.

5.5 Análise dos relatos

Além dos dados observados nas filmagens, a fim de compreender melhor as situações pela própria visão dos professores, foi pedida a feitura de um relato de experiência. Cada professor desenvolveu seu relato, porém será analisado apenas os dos professores 1 e 2 (tabela 6).

Tabela 6 - Trecho do Relato (Professor 1)

Trecho do Relato – Professor 1	Saber
“Hoje tive a oportunidade de ter o meu primeiro contato com uma turma de alunos do ensino médio o que me deixou ainda com mais vontade de exercer a profissão que escolhi”	Pessoal
“fiquei muito satisfeita com o trabalho que realizei juntamente com meus colegas de curso [...] foi realmente uma experiência incrível.”	Pessoal
“[...]a oficina ocorreu de forma bastante agradável e da maneira em que avíamos pensado, a boa distribuição do tempo e a interatividade das alunas tornaram a oficina muito proveitosa.”	Pessoal e Curricular
“O que me deixou mais feliz foi exatamente o interesse e a curiosidade demonstrada acerca do que há dentro da caixinha”	Pessoal

Fonte: Elaboração Própria

A primeira fala do professor 1 pode ser encarada como uma resposta às inferências feitas a partir do vídeo da oficina, momento

em que foi debatida a falta da experiência do professor referente ao exercício da docência. Logo, podemos observar o quão importante é o saber experiencial na profissão docente, visto que é um fator essencial intrínseco no decorrer do magistério.

Tabela 7 - Trecho do Relato (Professor 2)

Trecho do Relato – Professor 2	Saber
“No mesmo dia no grupo da nossa equipe, discutimos o nome e como seria realizado a atividade, ao longo dos dias fomos modificando a nossa proposta para o tempo que teríamos e o nosso público.”	Curricular
“O professor ‘Supervisor’, nos indicou a perguntar aos alunos qual conceito físico da física que eles teriam visto no decorrer do ano.”	Formação Profissional
“Inicialmente apresentamos a caixa e os deixamos a manusear.”	Curricular

Fonte: Elaboração Própria

Utilizando os dois trechos, é possível inferir que o professor 2 possui uma experiência de magistério superior ao do professor 1, apesar de ambos estarem no mesmo período. Isso se torna perceptível, pois aquele possui uma linguagem mais técnica e suas atitudes são mais bem elaboradas que esse.

Contudo, também podemos perceber que a atividade em questão foi uma possibilidade de construção de diversos saberes voltados ao magistério, como o saber curricular e o saber experiencial. Isso porque o saber curricular se encontra presente na preparação da oficina e na preocupação em manter o foco no conteúdo, sem fugas que prejudique o processo de ensinoaprendizagem.

Outro fator importante de ser observado é o fato de que a oficina pôde ser considerada exitosa, mesmo não trabalhando com um conteúdo programático de Física. Logo, é possível entender que, mesmo sem a utilização de uma linguagem matemática, é possível compreender com uma boa metodologia, conteúdos físicos de maior complexidade matemática.

6 Algumas considerações

O trabalho realizado buscou averiguar a mobilização de saberes por professores em formação, especificamente os que participavam do PIBID, ao executarem uma oficina de caráter investigativo. Para isso, iniciamos nossa discussão passando pela caracterização da *Alfabetização Científica* e do *Ensino por Investigação*. Tomamos como referencial os saberes docentes desenvolvidos por Maurice Tardif.

Após a compreensão dos conceitos supracitados, a análise dos dados, que foram levantados a partir do desenvolvimento da oficina estudada, foi realizada e, desta forma, pudemos inferir alguns saberes utilizados pelos professores durante a sua execução. Além disso, a diversidade de saberes apresentados nos deixa a impressão de que, quanto mais ampla for as possibilidades ofertadas aos alunos de graduação, melhor será a sua formação.

Espera-se que esse estudo contribua com as diversas discussões sobre a formação de professores, a inserção de inovações curriculares e metodológicas etc. Todavia, não se deve desconsiderar que foi realizada a análise da execução de uma única oficina, ou seja, para uma análise mais rica e um levantamento de possíveis saberes mais coerentes a esse contexto, seria de bom tom realizar mais de uma coleta de dados e com diversos professores, garantindo observar os principais saberes levantados em questão.

No entanto, é um objetivo futuro expandir esse estudo de forma significativa, podendo ele ser feito de três formas. A primeira seria um estudo meramente quantitativo, em que o material proposto seria entregue a uma quantidade significativa de professores, a fim de estudar os saberes mobilizados e, com os dados obtidos, objetivaria-se levantar os principais saberes mobilizados em uma SEI. A segunda possibilidade seria o desenvolvimento completo da SEI, permitindo assim não apenas a observação dos saberes mobilizados, mas também, observar como o professor

evolui no decorrer da execução. A terceira forma seria o melhoramento de uma SEI de autoria própria, com base em uma sequência desenvolvida em uma disciplina curricular e a sua consequente análise de maneira semelhante à segunda forma.

Logo, consideramos a pesquisa proposta neste trabalho como exitosa, mesmo mediante todas as adversidades encontradas e esperamos poder agregar a comunidade acadêmica junto à temática de formação de professores. Também podemos considerar produtiva a oficina desenvolvida, pois, além de ter sido um rico material para análise, poderá ser basilar para outros trabalhos que virão a ser realizados.

Referências:

ARAUJO, I. dos S. C., CHESINI, T. S., & ROCHA FILHO, J. B. (2014). Alfabetização Científica. **Contexto & Educação**, 29, 4–26. <https://doi.org/21791309>

BOZELLI, F. C., & Nardi, R. (2012). Saberes docentes mobilizados por futuros professores de Física em processos interativos discursivos. **Alexandria: Revista de Educação Em Ciência e Tecnologia**, 5(2), 125–150. <https://doi.org/10.5007/%x>

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 765794, 2018.

FREIRE, Paulo. **Educação como prática da liberdade**, São Paulo: Paz e Terra, 1980.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

NÓVOA, António. O passado e o presente dos professores. *In*: NÓVOA, António (Org.). **Profissão Professor**. Lisboa: Porto Editora, 1999, p. 13-34.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico²a Edição. Editora Feevale, 2013.

SACRISTÁN, Gimeno. Consciência e acção sobre a prática como libertação profissional dos professores. *In*: NÓVOA, António. (org.) **Profissão Professor**. Lisboa: Porto Editora, 1999, p. 61-92.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino da Física. CARVALHO, A.M.P *et al.* **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, p. 127, 2010.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização Científica, Ensino Por Investigação E Argumentação: Relações Entre Ciências Da Natureza E Escola. **Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências** (Belo Horizonte), 17(spe), 49-67. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epcc/a/K556Lc5V7Lnh8QcckBTTMcq/?format=pdf&lang=p>. Acesso em: 29 de outubro de 2024.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional**. Editora Vozes Limitada, Petrópolis RJ, 5^a reimpressão, 2019.

9



CONEXÃO ENTRE A APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS E SALA DE AULA INVERTIDA: POSSIBILIDADES E LIMITES

Ana Raquel Pereira de Ataíde ¹
Janaína Guedes da Silva ²

1 Introdução

Diante de uma demanda educativa que busca a formação humana integral e a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, os professores em sala de aula são os agentes que, efetivamente, sentem a tensão em fomentar práticas pedagógicas que potencializem um desenvolvimento para a cidadania. É nessa perspectiva que as Metodologias Ativas de ensino (MAs) estão cada vez mais em ascensão, ganhando destaque, não apenas por proporcionarem dinamismos nas salas de aula, mas engajamento dos estudantes, enquanto protagonistas e agentes coletivos da sua

1 Professora Dra. da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

2 Professora Ma. da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

própria aprendizagem (Araujo; Mazur, 2013; Bergmann; Sams, 2016; Müller *et al*, 2018; Berbel, 2019; Silva, 2021).

Compostos por uma grande diversidade de métodos, estratégias, modelos e abordagens de ensino, os vários tipos de MAs³ compartilham de alguns princípios que centralizam os estudantes no desenvolvimento das ações de ensino, colocando-os frente a problematizações da realidade e ao trabalho em equipe.

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), ou Problem-Based Learning (PBL), é um método ativo de ensino que utiliza um problema real, ou com características reais, como ponto de partida e foco para discussões e investigações em torno de determinados temas. Sua aplicação ocorre tanto em sala de aula quanto em atividades extraclasse, proporcionando aos estudantes a oportunidade de desenvolver habilidades e construir conhecimento, à medida que avançam na resolução do problema. O objetivo central, no entanto, não é necessariamente a solução do problema em si, mas o processo de investigação e aprendizado envolvido na sua busca.

Uma outra MA é a Sala de Aula Invertida (SAI). O modelo de ensino consiste em uma inversão da forma convencional de condução das atividades escolares, ou seja, na sua aplicabilidade, os estudantes realizam em ambientes extraclasse o que normalmente se faz no espaço físico da sala de aula – como terem contato com o tema de estudos –, e no espaço físico da sala de aula aquilo que geralmente se faz em ambientes extraclasse – como resolver listas de questões –, porém de uma maneira coletiva, situação que acaba promovendo a interação entre seus pares e com o/a professor(a), de modo a construir conjuntamente sua aprendizagem (Silva, 2021).

3 Aprendizagem Baseada em Projetos; Investigative Science Learning Environment (ISLE); Ler, Aprender, Questionar (LAQ); Instrução pelos Colegas (IpC); Aprendizagem Baseada em Equipe (ABE); Sala de Aula Invertida (SAI); Ensino sob Medida (EsM); Previsão-Observação-Explicação (POE) etc.

Tendo em vista a sintonia existente entre o método ABP e o modelo da SAI, buscamos investigar a adequação de um trabalho conjunto, por meio de uma proposta de ensino executada em uma turma da segunda série do Ensino Médio de uma escola pública do estado da Paraíba, elaborada segundo os pressupostos teóricos-metodológicos que aportam essas MAs.

Nesse sentido, o objetivo deste texto, recorte de uma pesquisa de Mestrado, é averiguar a adequação do método ABP para o modelo da SAI. Neste artigo, serão apresentados dados focados, tanto no processo de elaboração de uma proposta de ensino quanto no envolvimento dos estudantes nos momentos extra-classe e nas atividades presenciais, a fim de avaliar a eficácia da ABP como estratégia para a SAI.

Subdividimos a investigação em duas etapas. A primeira delas foi relativa ao processo de elaboração da proposta de ensino, em que observamos: i) a viabilidade da conexão entre as duas MA e ii) a própria praticidade de elaboração. A segunda etapa diz respeito ao processo de execução, no qual verificamos: i) se o método ABP funcionaria como uma boa estratégia para incentivar os estudos extraclasse da SAI e ii) se a proposta, em sua totalidade, contribuiria positivamente para o envolvimento ativo dos estudantes. A seguir, descrevemos, em maiores detalhes, a sequência dessas etapas de investigação.

2 Etapa 1: o processo de elaboração da proposta em ABP junto à SAI: mapeando o cenário e desenvolvendo os problemas

A elaboração de qualquer proposta de ensino exige adequação com a realidade da escola e do público alvo, ao qual ela se destina. Nesse sentido, a leitura da realidade local e a construção de problemas em ABP a serem aplicados no modelo da SAI foram os primeiros passos que orientaram o desenvolvimento de nossa proposta. As fases tomadas em sua construção e os pontos que

foram investigados sobre a viabilidade de integração entre a APB e SAI são exibidos no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1- Apresentação das fases na elaboração da proposta de ensino e pontos de investigação.

Fases/Preparação da sequência de ensino	Triagem da Escola	Seleção da Turma	Objetos do conhecimento/ assunto da Física	Elaboração dos Problemas em ABP	Estruturação da sequência de Intervenção
Pontos de Investigação	Praticidade de elaboração da proposta de ensino				
	Viabilidade de Integração entre ABP e SAI na proposta de ensino				

Fonte: Elaboração própria

Após acompanhamento da turma⁴ e uma leitura da realidade local, os objetos de conhecimento da Física escolhidos para serem estudados, por meio do desenvolvimento da proposta, foram: “tipos e conversão de energia: energia cinética, potencial gravitacional e mecânica”, além dos “conceitos iniciais de eletricidade: potência elétrica, tensão elétrica, corrente elétrica (contínua e alternada) e transformadores”. Esses objetos do conhecimento da Física emergiram do contexto vivenciado pelos estudantes, a saber: testes para implantação de torres eólicas nas dependências da cidade localizada no agreste Paraibano, que movimentavam a curiosidade da população local.

A partir disso, iniciamos a elaboração de dois problemas no formato da ABP, bem como a seleção e elaboração dos materiais de apoio necessários, que dariam suporte aos momentos de

4 Anteriormente à execução do método da ABP na perspectiva da SAI, a turma-alvo (2ª série do Ensino Médio de uma escola estadual – PB) foi acompanhada por um período aproximado de onze semanas. O objetivo foi observar o engajamento da turma antes e durante a intervenção, para investigação de outras questões de pesquisa.

estudos extraclasse da SAI. Como estratégia de aplicação ABP, optamos por aplicarmos a Rotina Organizacional dos sete passos. Esses sete passos são utilizados como procedimentos a serem cumpridos cujo objetivo é auxiliar os estudantes na resolução do problema (Borochovcicius; Tortella, 2014; Cavalcante, 2016). Os passos consistem em: 1) identificar o problema e delimitá-lo em forma de pergunta; 2) identificar pontos relevantes no problema; 3) realizar *brainstorming*/ “chuva de ideias” para buscar soluções para o problema; 4) detalhar explicações, selecionando as melhores ideias, observando o que precisa ser estudado; 5) propor temas de aprendizagem autodirigida; 6) buscar informações em estudos individuais e extra sala e 7) avaliar o processo de aquisição dos conhecimentos durante o processo.

Portanto, no decorrer da construção dos problemas, houve a necessidade de pensar e articular ideias e informações relevantes que servissem de acessos aos passos tomados pelos estudantes durante as atividades na perspectiva da Sala de Aula Invertida. Sobre a *praticidade na elaboração da sequência de atividades da proposta*, não foi algo descomplicado ou rápido de concluir-se. O trabalho com a ABP requer intensa conexão entre o contexto real e os objetivos de ensino e aprendizagem a serem alcançados. Além disso, sua integração ao modelo invertido deveria ratificar a motivação aos estudos extraclasse, buscando o envolvimento ativo dos estudantes nesses momentos.

Os materiais de apoio, por exemplo, precisaram ser estrategicamente pensados, adequando-se ao momento (antes e depois da apresentação do problema) e ao público-alvo. Ao término dos estudos, lançamos mão de vídeos em plataformas como *YouTube*, informações em *sites* e *blogs* de confiabilidade, noticiários, materiais didáticos etc. No Quadro 2, exibimos a sequência construída para a execução da proposta durante as duas partes da intervenção (aplicação do problema 1 e do problema 2, respectivamente), bem como os materiais de apoio aos estudos extraclasse.

Quadro 2 – Apresentação da sequência de aplicação da proposta de ensino.

		Parte 1	Parte 2
Preparação da Turma para aplicação da proposta	ABP + SAI: aplicação por meio do Problema 1	Objetos do Conhecimento: Energia (energia cinética, potencial, mecânica e conversão de energia).	Objetos do Conhecimento: Eletricidade (corrente elétrica contínua e alternada, tensão, potência e transformadores elétricos).
	<p>Pré-Encontro – Extraclasses: Base aos conhecimentos prévios para o trabalho com o 1º problema.</p> <p><i>Material de Apoio:</i> vídeo no You Tube Kika – De Onde Vem a Energia Elétrica? #Episódio 3.</p> <p><i>Atividade:</i> Questionário sobre assunto do vídeo.</p>	<p>Pré-Encontro – Extraclasses: Orientações aos conhecimentos prévios para o trabalho com o 2º problema.</p> <p><i>Materiais de Apoio:</i> a) vídeo no YouTube: “Energia Eólica”; b) matéria do site da empresa Echoenergia: Como é produzida e distribuída a energia eólica?; c) matéria publicada no programa Cidades e Soluções da Globo News, intitulada: “ENERGIA EÓLICA ... NO BRASIL NÃO FUNCIONA, VEJA PORQUÊ.”.</p> <p><i>Atividade:</i> Questionário sobre geração, transmissão e distribuição da energia elétrica.</p>	
Encontro – Em Classe: Apresentação de cenário problemático; Início da Rotina Organizacional (Passos 1 ao 5).		Encontro – Em Classe: Início da Rotina Organizacional (Passos 1 ao 5).	

Explicação sobre ABP e SAI;
Formação de equipes;
Atribuições de funções nas equipes: leitor(a), redator(a), verificador(a) e resumista.

Parte 1		Parte 2
Preparação da Turma para aplicação da proposta	<p>ABP + SAI: aplicação por meio do Problema 1</p> <p>Pós-Encontro – Extraclasse: Aplicação da Rotina organizacional (Passo 6). Materiais de Apoio: vídeos no <i>YouTube</i>: a) “Energia cinética e energia potencial – física para Enem”; b) “Energia mecânica e sistemas conservativos I – dinâmica aula 24 – prof. Marcelo Boaro”; c) “O que é de onde vem a Energia Elétrica -Explicação da energia como é feita e de onde ela vem”; d) “Energia Eólica”; e) “Energia eólica - Vantagens e Desvantagens”. Matéria no <i>blog</i> “Eletrocuriosidades”. Atividade: Questionário sobre os assuntos dos materiais de apoio.</p>	<p>ABP + SAI: aplicação por meio do Problema 2</p> <p>Pós-Encontro – Extraclasse: Aplicação da Rotina organizacional (Passo 6). Materiais de Apoio: vídeos no <i>YouTube</i>: a) denominado “ELETRICIDADE - 3 Entre o Mais e o Menos; b) AULA 4 DE ELETRICIDADE - Corrente Alternada”; c) “AULA 6 DE ELETRICIDADE - Volts para ir Mais Longe”; d) “Qual a diferença entre volt, watt e amperé? #ManualMaker Aula 2, Vídeo 1”; e) “A Paraíba deve ter até 2023 a instalação do maior complexo eólico do país 2”; f) Material de elaboração própria: Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica. Atividade: Questionário sobre: potência, tensão, correntes e transformadores elétricos.</p>
	<p>Encontro – Em Classe: Finalização da Rotina Organizacional (Passo 7); <i>Feedback</i> do processo.</p>	<p>Encontro – Em Classe: Finalização da Rotina Organizacional (Passo 7); <i>Feedback</i> do processo.</p>

Fonte: Elaboração própria.

Para a construção dos problemas em ABP, precisamos selecionar e ajustar objetivos de aprendizagem e objetos de conhecimento da Física, numa história fictícia em meio a uma situação cotidiana que emerge da realidade dos estudantes. A situação fictícia foi elaborada, de modo que todos os passos da rotina organizacional fossem alinhados, tanto com os momentos presenciais quanto com os momentos extraclasse. Ao final, dois problemas foram montados com base em informações coesas que se ajustaram aos assuntos da Física e à integração da SAI e ABP nos passos da rotina organizacional.

O primeiro problema foi intitulado *O Futuro do Nordeste*. Ele representou uma situação fictícia enredada numa conjuntura, na qual os estudantes se posicionariam como solucionadores. Observemos:

O Futuro do Nordeste

Jovens estudantes paraibanos, da cidade de Algodão de Jandaíra, foram selecionados para participarem do programa jovem aprendiz, onde trabalharão no setor de energias renováveis da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A primeira tarefa é analisar e propor uma solução para um problema que se anuncia: a fonte geradora de energia elétrica da região encontra-se com problemas. Segundo especialistas, além da dificuldade relacionada à necessidade de suprir a demanda crescente de consumo elétrico, existe também a gradual diminuição da vazão de rios do Nordeste (como a do São Francisco), que provoca uma perda de conversão da energia mecânica, proveniente da força das águas, em energia elétrica. Conscientes desses fatos e possuindo em mãos dados sobre os potenciais energéticos da Paraíba, os jovens estudantes percebem que a região apresenta excelentes condições geográficas em termos de relevo adequado (contando, portanto com uma boa energia potencial em determinados locais do estado) e favorável energia cinética contida nas massas de ar em movimento (o vento). Assim, com o objetivo de apontarem uma solução à empresa, os jovens estudantes reúnem-se em equipe para que, juntos, possam: delimitar com maior clareza o problema central da situação, buscar por meio de pesquisas uma solução consistente e apresentar de uma forma clara, por meio de exemplificações, a possível ação/ conclusão sobre a solução do problema que lhes fora apresentado.

O segundo problema, intitulado “*Cadê a Energia que sai daqui?*”, representou uma continuação em termos de narrativa, mas com outros objetos do conhecimento da Física.

Cadê a Energia que sai daqui?

Após a realização de sua primeira missão como jovens aprendizes na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a equipe de estudantes foi incumbida de uma nova tarefa. Diante da real possibilidade da complementação da matriz energética parai-bana, utilizando-se da energia eólica, algumas cidades do estado foram escolhidas para uma avaliação mais precisa a respeito do fluxo do vento local, dentre elas, Algodão de Jandaíra, município, no qual reside a equipe de aprendizes. Após passar pela fase de testes, a análise das condições logísticas para implementação de torres eólicas indicou regularidade dos ventos a 50 metros de altura, velocidade de 7 a 8 m/s, além de outras variáveis que indicaram requisitos favoráveis a essa energia e, portanto, torres eólicas foram instaladas. Contudo, apesar de a energia elétrica está sendo gerada e o contrato com a distribuidora está firmado, essa energia elétrica ainda não está chegando aos consumidores. Sabe-se que para tal, é necessário que a energia produzida no interior da nacele, passe, inicialmente por uma subestação elevadora, na qual transformadores de alta potência, do tipo step-up, devem elevar a tensão elétrica (a valores próximos a 345 kV ou 380kV) permitindo que a corrente elétrica alternada percorra grandes distâncias até encontrar a distribuidora de energia elétrica, que, por sua vez, utilizando transformadores step-down, controla o fluxo de corrente elétrica, diminuindo a tensão para níveis adequados a ser utilizados pelos consumidores, garantindo a proteção do sistema elétrico. Dos jovens estudantes, espera-se uma indicação de solução para esse problema, de modo que a potência elétrica produzida pelas torres eólicas possa ser aproveitada pela população. Portanto, como na tarefa anterior, os jovens estudantes devem reunir-se para, juntos, delimitar o problema, traçar metas de pesquisas e estudos e apresentar uma solução para o problema apresentado.

No processo de construção, foi preciso evitar, ao mesmo tempo, excesso de informações e/ou informações pouco relevantes, além da obviedade de solução. Esses fatos acabaram exigindo bastante estudos e tempo de dedicação. Questões como inexperiência na construção de problemas em ABP e falta de exemplos práticos, especialmente no ensino de Física, corroboraram com esses pontos.

A respeito da *viabilidade de integração entre o modelo da SAI e o método da ABP*, verificamos um alinhamento “quase” ideal. O “quase” deve-se ao fato de que, no método ABP, os estudantes apenas tomam contato com o assunto, por meio do problema que lhes é apresentado na sala de aula, ou seja, o problema sempre antecede a teoria. Já na SAI, o modelo pede que os estudantes realizem estudos anteriores ao momento presencial/síncrono, pois na sala de aula devem aprofundar o tema frente a situações mais complexas e desafiadoras, como na própria resolução de problemas pelo método ABP. Assim, ficamos diante de uma dicotomia: como é que os estudantes só terão contato com o assunto através dos problemas em ABP, se, de acordo com a SAI, esses assuntos devem ser estudados antecipadamente, antes de vir para a sala de aula?

Essas peculiaridades foram contornadas, ao optarmos por proporcionar, nos estudos extraclasse, anteriores ao primeiro momento presencial, um direcionamento para a temática⁵ geral, da qual emergiram os problemas. Afinal, para o acesso consciente e responsável do indivíduo a tarefas de resolução de problemas, é necessário que ele tenha como base o conhecimento específico na área de abrangência, organizado e disponível na sua estrutura cognitiva (Peduzzi, 1997). Assim, os estudos, no pré-encontro, característico do modelo invertido da SAI, foram organizados para servirem como suporte básico aos conhecimentos prévios dos estudantes, de modo que, no momento oportuno, pudessem compreender e delimitar, com maior precisão, os problemas sobre os quais iriam se debruçar.

Concluimos, portanto, que, da perspectiva de elaboração das sequências de atividades, o método da Aprendizagem Baseada em Problemas adequa-se, com algumas peculiaridades, ao modelo da Sala de Aula Invertida, porém a construção das sequências de atividades para implementação não é prática, demandando bastante

5 Processo básico na geração de eletricidade.

tempo a ser empregado, tanto na elaboração dos problemas - que devem ser autênticos, com sentido e não apresentem os objetos do conhecimento da Física como meros apêndices - quanto na seleção e construção dos materiais para estudos extraclasse. Tais resultados mostram que o processo de preparação para utilização dessas Metodologias Ativas, especialmente a ABP, já pode configurar-se como um primeiro empecilho à sua adoção.

Na segunda etapa da pesquisa, procuramos respostas no próprio processo de implementação da sequência de intervenção, buscando saber *se o método ABP funcionaria como uma boa estratégia para incentivar os estudos extraclasse da SAI* e também *se, em sua totalidade, a junção de ambas contribuiria positivamente para o envolvimento ativo dos estudantes*. A seguir, discutimos, primeiramente, sobre o envolvimento dos estudantes com as atividades que foram realizadas fora do ambiente presencial, depois, discutimos sobre a participação dos grupos em tais momentos.

3 Etapa 2: O processo de execução da proposta de ensino em ABP e a análise de suas possíveis contribuições para o engajamento dos estudantes na SAI

Na Sala de Aula Invertida, os alunos precisam realizar estudos sobre temas/assuntos antes de vir para a sala de aula, pois, na aula, irão envolver-se em atividades de aprofundamento no tema. A ausência do hábito de estudos, anterior ao momento presencial, pode, portanto, comprometer a implementação da SAI, já que estudar, antecipadamente às aulas, é fundamental para a boa implementação do modelo.

Todavia, um ponto emblemático diz respeito à cultura do estudo. Não é comum nem simples subverter um padrão que se apresenta desde os primeiros anos letivos, tanto aos estudantes quanto aos professores (Valente, 2014; Oliveira; Araujo; Veit, 2016; Milhorato, 2016; Silva, 2021). Nesse sentido, buscamos investigar, por meio da aplicação de uma proposta de ensino, se

a utilização da ABP ajudaria em uma implementação do modelo invertido com maior participação dos estudantes, sobretudo, nos estudos extraclasse, uma vez que, para solucionar os problemas, não basta apenas o momento de discussão em sala de aula, mas também pesquisas autônomas e/ou direcionadas que acontecem em momentos posteriores ao presencial.

As intervenções foram divididas em duas partes, a primeira relativa à aplicação do problema 1 e a segunda relativa à aplicação do problema 2. Na sequência, tocamos nos pontos mais importantes evidenciados na investigação.

3.1 Uma visão sobre o envolvimento extraclasse dos estudantes na aplicação do Problema 1

3.1.1 Pré-encontro presencial 1 – relativo à aplicação do Problema 1

Para podermos acompanharmos os estudos antes e depois da aula, de uma maneira mais controlada, usamos algumas tecnologias digitais de informação e comunicação, como o *WhatsApp* e o Socrative⁶. O *WhatsApp* foi empregado para manter contato direto com os alunos, fornecendo orientações, materiais de apoio para os estudos extraclasse e atividades. Já por meio do ambiente virtual de aprendizagem Socrative, os questionários respondidos serviram como principal indicador de que os alunos estavam efetivamente realizando os estudos fora do ambiente escolar.

Na implementação da proposta de ensino, a turma foi dividida em quatro grupos, chamados de tutoriais G1, G2, G3 e G4, e os estudantes (M – de membro) foram distribuídos da seguinte forma em cada grupo: G1: M1, M2, M3, M4; G2: M5, M6, M7, M8, M9; G3: M10, M11, M12, M13 e M14 e G4: M15, M16, M17 e M18.

6 www.socrative.com - O Socrative permite a criação de questionários e gera resultados analisáveis por questão e por aluno.

As interações das mensagens e os questionários respondidos, durante toda aplicação da proposta de ensino, evidenciaram o nível de engajamento dos estudantes nos momentos extraclasse.

No primeiro Pré-encontro⁷ (fora do ambiente de sala de aula), realizou-se uma atividade de descontração⁸ cujo objetivo foi deixar os estudantes mais à vontade, motivando seu envolvimento, porém, apenas oito (de dezoito) participaram. Também tiveram contato com o primeiro material de apoio (ver Quadro 2) e com o primeiro questionário,⁹ relativo ao conteúdo do vídeo (processo de geração e distribuição de energia elétrica), que ficou disponível por seis dias. A participação da turma na realização dessa atividade foi de apenas 56% (10 alunos) do total. Houve grupos cujo envolvimento foi baixo (G4 – 50% de participação) ou até mesmo que nem participaram (G2).

3.1.2 Pós-encontro presencial – relativo à aplicação do Problema 1

No primeiro pós-encontro (depois do momento presencial em que os estudantes tiveram o contato com o problema em ABP), houve a indicação de novos materiais de apoio, orientações e disponibilização do questionário 2 (conceitos de energia cinética, potencial, mecânica e conversão da energia). A interação

7 Os pré-encontros e os pós-encontros aconteciam de forma assíncrona, ou seja, as demandas eram enviadas aos estudantes sem a necessidade de uma reunião síncrona com a turma.

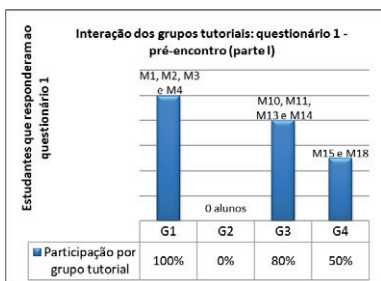
8 Criação de Avatares pessoais pelo aplicativo Bitmoji.

9 As perguntas de todos os questionários eram relacionadas aos conteúdos encontrados nos materiais de apoio. Por meio deles, tivemos uma estimativa do engajamento da turma nos estudos extraclasse. Na íntegra, esses questionários estão disponíveis no produto educacional da dissertação “Aprendizagem Baseada em Problemas na perspectiva da Sala de Aula Invertida: uma proposta no Ensino De Física”. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3852>. Acesso em 07 fev de 2023.

na plataforma *WhatsApp* foi muito reduzida e houve diminuição significativa na quantidade de estudantes que responderam ao segundo questionário. Apenas 33% (6 alunos) da turma.

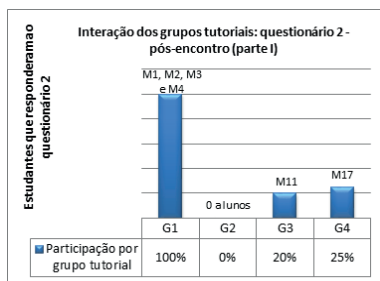
Nos gráficos 1 e 2, está a quantidade de estudantes por grupos tutoriais, que responderam aos questionários 1 e 2.

Gráfico 1: Interação dos estudantes por grupos tutoriais, relativa ao questionário 1- Problema 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 2: Interação dos estudantes por grupos tutoriais, relativa ao questionário 2- Problema 1



Fonte: Autoria Própria.

Mas, o que aconteceu para o engajamento dos estudantes ter sido reduzido? Houve algum detalhe nas entrelinhas que pode ter gerado o afastamento dos jovens quanto ao retorno da atividade extraclasse? Ou terá o problema em ABP desmotivado os estudos posteriores ao momento presencial? É difícil afirmar com certeza, mas alguns detalhes podem ser destacados.

Primeiramente, a proposta não foi aplicada pelo professor de Física titular da turma, nem em dias consecutivos das aulas na disciplina¹⁰: a intervenção acontecia apenas uma vez por semana em dois horários de aulas (45 minutos) não consecutivos (intercalados pelo intervalo). Além desses fatos, o segundo momento presencial só pode acontecer quinze dias após o primeiro e o

¹⁰ Comum acordo entre a pesquisadora (aplicadora da proposta) e o professor regente da turma.

material de apoio só foi disponibilizado uma semana antes do segundo encontro.

Certamente, a não obrigatoriedade de algum tipo de retorno sobre o material de apoio, associada ao alongamento do período de pós-encontro e a disponibilização de materiais próxima ao encontro presencial seguinte fizeram surgir uma inércia negativa no ritmo de envolvimento da turma. Contudo, uma outra questão também pode ter gerado esse cenário de pouco engajamento. O método ABP é uma maneira totalmente divergente do ensino convencional, pois exige muito empenho, requerendo afincamento ativo e colaborativo, não apenas nas aulas, mas também dedicação extraclasse. É certo que o modelo da SAI também exige dedicação extraclasse, mas para turmas não habituadas com a nova forma de condução do ensino, atividades menos complexas, desenvolvidas no momento presencial, podem ajudar mais a turma na fase inicial. A junção imediata do método ABP ao modelo da SAI provocou um impacto muito forte de adequação.

3.2 Uma visão sobre o envolvimento extraclasse dos estudantes na aplicação do Problema 2

3.2.1 Pré-encontro presencial 2 – relativo à aplicação do *Problema 2*

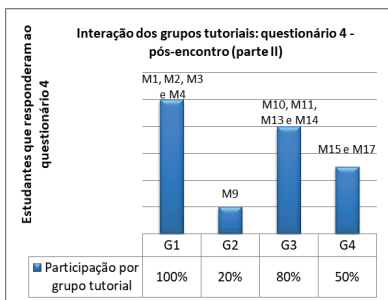
Na segunda parte da intervenção, no pré-encontro, foram indicados materiais de apoio que ajudariam os estudantes a adquirirem informações úteis à interpretação e solução do novo problema em ABP – o qual abordaria questões de transmissão de energia elétrica e os conceitos físicos de tensão, potência, corrente (contínua e alternada) e transformadores elétricos. O questionário 3, aplicado nesse momento, trazia perguntas relacionadas à geração, transmissão e distribuição da energia elétrica, quando produzida por energia eólica.

3.2.2 Pós-encontro presencial 2 – relativo à aplicação do *Problema 2*

No pós-encontro presencial, novos materiais de apoio e o questionário 4 (questões relativas aos assuntos potência, tensão, correntes e transformadores elétricos) foram disponibilizados.

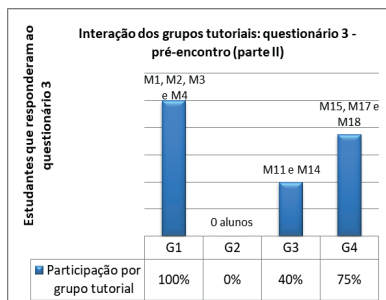
Percebemos, nessa segunda parte da intervenção, que a habituação à nova forma de condução do processo foi exibindo melhoria no engajamento da turma. Pelos gráficos 3 e 4 abaixo, é possível perceber o melhor envolvimento dos estudantes, sobretudo no último momento de estudos extraclasse (gráfico 4), em que 61% da turma (11 alunos) se envolveram na resolução da atividade.

Gráfico 3: Interação dos estudantes por grupos tutorias, relativa ao questionário 3 – Problema 2



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 4: Interação dos estudantes por grupos tutorias, relativa ao questionário 4 – Problema 2.



Fonte: Autoria Própria.

A experiência, na aplicação anterior, permitiu correções/melhorias de alguns pontos identificados como percalços ao bom desenvolvimento das Metodologias Ativas aplicadas. O primeiro deles refere-se à indicação dos materiais de apoio. Algumas das

observações feitas pelos estudantes¹¹ diziam respeito à falta de tempo para realizarem os estudos extraclasse. Além disso, usaram como argumentos que as mensagens indicativas dos materiais se misturavam entre as demais, dificultando a procura¹². Os materiais passaram, então, a ser disponibilizados sempre no mesmo período diário. Desse modo, além de facilitar a busca por esses materiais no grupo de WhatsApp, os estudantes poderiam criar sua rotina de estudos, assistindo aos vídeos quando pudessem ou achassem melhor. Outro ponto foi indicar o que os estudantes deveriam identificar ou prestar mais atenção nos vídeos, pois isso ajudaria a delimitar as questões mais relevantes para o avanço nas atividades.

Orientações mais específica alinhadas ao fato de que os estudantes estavam começando a habituar-se com o modelo invertido¹³ podem ser justificativas ao maior envolvimento dos estudantes nos estudos extraclases durante a segunda parte da intervenção.

3.3 Uma visão geral sobre o envolvimento dos estudantes em sala de aula na aplicação dos Problemas em ABP 1 e 2

Anteriormente à aplicação do método da ABP na perspectiva da SAI, a turma-alvo foi acompanhada por um período aproximado

11 No momento presencial, antes de dar sequência as atividades da intervenção, havia conversas informais com a turma, buscando sondar sobre a realização ou não dos estudos extraclasse e os motivos.

12 Na época, não havia o recurso de permissão de mensagem apenas pelos administradores de grupos no WhatsApp.

13 Principalmente após a experiência com o primeiro problema, em que, ao invés de avançarem em sua conclusão, a maioria dos grupos tutoriais teve que realizar os estudos na própria sala de aula.

de onze semanas. Durante o acompanhamento,¹⁴ as aulas seguiram uma dinâmica convencional, isto é, o professor regente explicava o conteúdo enquanto buscava a participação da turma nas discussões, após realizava aplicações do assunto em questões-exemplos. De modo geral, a turma era pouco participativa e os alunos mostravam-se dispersos durante as aulas, com poucas exceções.

Durante as intervenções, a demanda da participação dos estudantes mudou. A própria natureza do método ABP impõe a participação ativa dos alunos, principalmente em sala de aula. Como já explicado, os estudantes foram distribuídos em equipes chamadas de grupos tutoriais G1, G2, G3 e G4 e seguiram a sequência de passos da rotina organizacional, que lhes ajudou na busca por respostas aos problemas apresentados (um problema para cada parte de aplicação da proposta de ensino). Durante a primeira parte da intervenção, foram necessários quatro encontros presenciais de 90 minutos cada (um encontro a mais do que o planejado anteriormente, o motivo é explicado a seguir). Na segunda parte da intervenção, foram necessários apenas dois encontros presenciais, também de 90 minutos cada.

Antes de prosseguirmos, relembremos que a rotina organizacional da ABP é composta por sete passos, nos quais os alunos passam da identificação do problema até a avaliação do processo de aquisição de conhecimento, contudo é importante esclarecer que, embora os textos produzidos pelos estudantes ao longo dessas etapas possam indicar uma aproximação do conteúdo científico, nosso foco aqui não é explorar esse aspecto, mas sim analisar o envolvimento ativo dos estudantes ao longo do processo. Para uma análise mais detalhada sobre o conteúdo desenvolvido em cada etapa, recomenda-se a consulta ao nosso trabalho de dissertação¹⁵.

14 Utilizou-se diário de bordo e fichas de acompanhamento individual.

15 Aprendizagem baseada em problemas na perspectiva da sala de aula invertida: uma proposta no ensino de Física. Disponível em <https://tede.bc.uepb.edu.br/>

3.3.1 Encontros presenciais – relativos à aplicação do Problema em ABP 1

No Problema 1, intitulado “*O futuro do Nordeste*”, a questão central abordava a fonte de geração de energia elétrica, que, de acordo com os dados apresentados, não conseguia suprir a demanda da região. A partir disso, os estudantes precisavam identificar qual era essa fonte, compreender por que ela não estava operando corretamente e, nesse processo, estudar conceitos como energia cinética, potencial, mecânica e conversão de energia. Por fim, eles deveriam propor a solução mais adequada para o problema.

O primeiro encontro foi dedicado a uma conversa inicial com os estudantes, na qual explicamos como as Metodologias Ativas seriam aplicadas nas próximas aulas. Também realizamos a formação dos grupos tutoriais e, por meio de leituras e discussões com a turma, introduzimos o cenário problemático sobre “Matrizes Energéticas Nacionais e Fontes Geradoras de Eletricidade”.

No segundo encontro, após a organização dos grupos, os estudantes receberam o material de trabalho, ou seja, uma folha com o Problema 1 e uma tabela organizacional. A partir da leitura do problema, eles foram orientados a seguir os cinco primeiros passos da rotina organizacional (ver Quadro 3 seguinte), sendo que o passo 6 seria realizado fora do ambiente presencial e o passo 7 desenvolvido após os estudos extraclasse. Entretanto, os grupos não conseguiram completar todos os cinco passos no segundo encontro. O grupo G1, por exemplo, conseguiu finalizar o segundo passo, enquanto os grupos G2 e G3 concluíram apenas o primeiro. O grupo G4, no entanto, não conseguiu se formar devido à ausência de seus membros nesse momento.

No terceiro encontro, que não constava no planejamento inicial, os grupos G1, G2 e G4 conseguiram completar os cinco

passos, enquanto o grupo G3 avançou apenas até o terceiro passo. No quarto encontro, foi concluída a primeira parte das intervenções. Nesta fase, os grupos deveriam compartilhar suas conclusões por meio de um relatório simples, que foi elaborado e apresentado durante a aula, porém a maioria dos grupos (G2, G3 e G4) precisaram realizar em aula os estudos que não fizeram antecipadamente, fato esse o qual comprometeu o término exitoso do fechamento do problema.

É importante lembrar que, na rotina organizacional, o passo 1 orienta os estudantes a identificarem claramente o problema que precisa ser resolvido. A intenção nesse momento não é encontrar a solução, mas sim formular o problema como uma pergunta. No passo 2, os estudantes são guiados a identificar pontos relevantes no texto do problema, com o objetivo de garantir uma melhor compreensão e segurança para a proposta de solução. No passo 3, eles devem levantar hipóteses de soluções, formulando explicações e explorando respostas sem se preocuparem com a precisão das informações ou com possíveis preconceitos sobre as ideias sugeridas pelo grupo. No passo 4, as melhores hipóteses levantadas anteriormente são selecionadas para serem testadas mais adiante. O passo 5 envolve a definição dos temas de aprendizagem auto-dirigida, em que os estudantes decidem o que irão pesquisar e estudar posteriormente, fora do ambiente de aula. No passo 6, realizam as pesquisas e estudos planejados, buscando confirmar ou refutar suas hipóteses. Por fim, no passo 7, retornam aos grupos e realizam um fechamento ou progresso sobre a solução do problema, avaliando o processo.

No Quadro 3 a seguir, exibimos uma síntese dos trabalhos dos grupos na aplicação do problema 1.

Quadro 3 – Síntese da rotina organizacional relativa à aplicação do problema 1

Problema 1 - O Futuro do Nordeste	
<p>• Passo 1: Identificação clara da questão central em forma de pergunta</p>	
<p>O que esperávamos: <i>A fonte de geração de energia elétrica não está conseguindo suprir a demanda da região, como solucionar esse problema?</i></p>	
<p>O que os grupos apresentaram:</p> <p>G1: <i>Visando o problema da fonte geradora de energia da região, que está com dificuldade de suprir a demanda de energia por causa da pouca vazão dos rios, e também das boas condições de relevo da Paraíba, qual seria a solução mais viável para suprir a demanda de energia da região?</i></p> <p>G2: <i>A hidroelétrica local não está atendendo as necessidades da região. Que outra fonte de energia elétrica poderia substituí-la ou complementá-la?</i></p> <p>G3: <i>A fonte geradora de energia elétrica da região encontra-se com problemas. Qual seria a melhor solução para esse problema?</i></p> <p>G4: <i>Sabendo que a fonte geradora está com defeito, por causa da diminuição da vazão dos rios, como poderia ser resolvido o problema da geração de energia elétrica?</i></p>	
<p>Passo 2: Identificar pontos relevantes no texto do problema</p>	
Pontos claros	Pontos duvidosos/confusos
<p>O que esperávamos: <i>A fonte geradora de energia elétrica da região encontra-se com problema; existe a gradual diminuição da vazão de rios do Nordeste; A região apresenta excelentes condições geográficas em termos de relevo adequado.</i></p>	<p>O que esperávamos: <i>Conversão da energia mecânica; Energia potencial; Energia cinética.</i></p>
<p>O que os grupos apresentaram:</p> <p>G1: <i>a) A fonte geradora da região está com problemas; b) Dificuldade em suprir a demanda do consumo elétrico; c) Diminuição da vazão do rio.</i></p> <p>G2: <i>a) Diminuição da vazão de rios do Nordeste; b) Demanda crescente de consumo elétrico; c) Excelentes condições geográficas; d) Massa de ar em movimento.</i></p> <p>G3: <i>a) A fonte geradora encontra-se com problema; b) energia potencial; c) energia elétrica.</i></p>	<p>O que os grupos apresentaram:</p> <p>G1: <i>a) Energia potencial; b) Energia mecânica; c) Energia cinética.</i></p> <p>G2: <i>Energia mecânica; b) energia potencial; c) energia cinética; d) potencial energético.</i></p> <p>G3: <i>a) Perda de conversão da energia mecânica; b) Energia cinética; c) Potenciais energéticos.</i></p>

<p>G4: a) <i>A fonte geradora da região está com problema;</i> b) <i>Há perda de energia mecânica;</i> c) <i>Há diminuição da vazão dos rios;</i> d) <i>Excelentes condições geográficas em relevo.</i></p>	<p>G4: a) <i>Conversão da energia mecânica;</i> b) <i>Energia cinética;</i> c) <i>Condições geográficas;</i> d) <i>Energia potencial.</i></p>
<p>Passo 3: realizar uma tentativa de solução usando seus conhecimentos prévios (Chuva de Ideias)</p>	
<p>G1: a) <i>A solução mais viável seria colocar uma fonte de energia limpa;</i> b) <i>A solução mais viável é a energia eólica;</i> c) <i>A solução mais viável seria a energia solar.</i></p> <p>G2: <i>A melhor maneira para a solução desse problema seria: o aumento do uso de energia eólica e solar.</i></p> <p>G3: a) <i>Substituir pela energia solar;</i> b) <i>trocar pela energia potencial;</i> c) <i>trocar a fonte do gerador;</i> d) <i>substituir a fonte de energia elétrica hídrica pela eólica;</i> e) <i>seria possível substituir pela energia térmica.</i></p> <p>G4: a) <i>Complementar com energia eólica;</i> b) <i>Trocar a fonte geradora de energia elétrica.</i></p>	
<p>Passo 4: selecionar hipóteses mais relevantes para solução do problema (Detalhar explicações)</p>	
<p>G1: <i>A solução mais viável para o problema seria a produção de energia eólica, pois o problema diz que há condições geográficas em termos de relevo adequado e favorável energia cinética contida nas massas de ar em movimento.</i></p> <p>G2: <i>Com a diminuição da vazão dos grandes rios do Nordeste, ocorre a diminuição da produção de energia das hidroelétricas e há grande demanda crescente do consumo elétrico.</i></p> <p>G3: NÃO APRESENTADAS.</p> <p>G4: <i>A solução será a complementação com energia eólica.</i></p>	
<p>Passo 5: propor temas para a aprendizagem autodirigida</p>	
<p>O que esperávamos: a) Energia potencial; b) Energia mecânica; c) Energia Cinética; d) Conversão de energia</p>	
<p>O que os grupos apresentaram:</p> <p>G1: a) Energia potencial; b) Energia mecânica; c) Energia Cinética; d) conversão da energia mecânica.</p> <p>G2: a) Energia mecânica; b) Energia potencial; c) Energia cinética; d) Potencial energético.</p> <p>G3: NÃO APRESENTADO</p> <p>G4: a) Energia cinética; b) Energia potencial; c) Conversão de energia mecânica.</p>	
<p>Passo 6: Extraclasse - buscar informações em estudos individuais e extra sala</p>	

Passo 7: Solução para o problema e avaliação do processo	
<p>O que esperávamos: A solução seria a implementação de uma matriz energética de natureza eólica, para ser usada de forma complementar a energia das hidrelétricas.</p>	<p>Relatório apresentado pelos grupos</p>
<p>O que os grupos apresentaram:</p> <p>G1: <i>Concluímos que a solução mais viável para o problema seria a produção de energia eólica. Essa seria a solução mais viável por causa do relevo adequado e as boas massas de vento.</i></p> <p>G2: <i>Para chegarmos a solução teria que fazer o uso de energia eólica e solar que são energias renováveis e que não causa tantos danos à natureza.</i></p> <p>G3: <i>Baseados em que a fonte geradora de energia não era adequada para suprir a demanda de consumo elétrico.</i></p> <p>G4: NÃO APRESENTADO.</p>	<p>G1: <i>Através dos temas de aprendizagem, quando nós estudamos em casa, isso ajudou a entender mais o conteúdo e o contexto, entendendo mais sobre a energia eólica e como ela funciona. A solução para o problema foi essa da implementação da energia eólica. Essa seria a solução mais viável por causa das condições de relevo adequado e boas massas de ar na região Nordeste. A nossa equipe estava bem organizada, porém faltou mais engajamento de cada um da equipe, porque uma hora um queria fazer...o outro não queria fazer...todos fizeram isso. A solução seria isso, da implementação de energia eólica, por causa do relevo, vento...porém, isso não seria rápido, pois teria que, além de ver um local bem adequado, estudar local durante um ano mais ou menos...ver a questão da fauna local... outro problema era a questão do alto custo.”</i></p> <p>G2: <i>Nós chegamos ao consenso que as melhores fontes de energia para suprir essa necessidade seria fazer o uso das fontes renováveis e que não causam grandes impactos ambientais. Chegamos a essa conclusão através de pesquisas feitas pela internet.</i></p> <p>G3: NÃO APRESENTADO</p> <p>G4: NÃO APRESENTADO</p>

Fonte: Elaboração própria.

Durante os encontros dessa primeira parte das intervenções, os grupos demonstraram diferentes níveis de envolvimento. O grupo G1 demonstrou um ótimo nível de participação, com engajamento constante, tanto nas atividades presenciais quanto nos estudos extraclasse. Esse envolvimento reforçou o sucesso da ABP como uma estratégia eficaz para promover o aprendizado ativo e a implementação da SAI. O G1 seguiu as etapas do método com empenho, destacando-se pela execução eficiente das atividades propostas.

Em contrapartida, o grupo G2 teve uma participação mais limitada, especialmente nos momentos de estudo fora da sala de aula. Embora os estudantes não tenham se envolvido nos estudos extraclasse, o método ABP conseguiu promover uma maior participação em comparação às aulas convencionais. No entanto, esse envolvimento foi apenas moderado durante os encontros presenciais e a falta de dedicação extraclasse comprometeu o desenvolvimento mais efetivo das soluções propostas.

O grupo G3, por sua vez, foi o mais desafiador, apresentando baixa motivação e pouca interação entre os membros. Os estudantes pareciam desinteressados nas atividades e, em alguns momentos, questionaram a eficácia do método, expressando preferência por um retorno ao formato convencional de aula. Esse comportamento está alinhado com as observações de Gomes (2011), as quais indicam que muitos alunos, acostumados com métodos passivos de aprendizagem, resistem à mudança para abordagens ativas como a ABP. A participação extraclasse foi limitada e o engajamento em sala foi insuficiente, resultando em uma fraca evolução no desenvolvimento do problema.

O grupo G4 demonstrou certo progresso no envolvimento nas atividades presenciais, embora as dificuldades surgissem principalmente devido à falta de afinidade e coesão entre os membros. Apesar desses obstáculos, os estudantes tentaram participar ativamente durante os encontros presenciais. No entanto, a falta de comunicação eficaz entre os integrantes impediu um avanço mais robusto nas discussões. Nos estudos extraclasse, a participação foi

mínima, o que indica que, para esse grupo, a ABP não foi eficaz em incentivar o aprendizado fora da sala de aula durante essa primeira fase da intervenção.

Os dados apresentados, até aqui, mostram que o envolvimento ativo dos estudantes nos momentos presenciais, eram variados. Três grupos (G1, G2 e G4) estavam relativamente empenhados com as atividades e um grupo (G3) apresentava-se apático à aplicação do método. Dentre os três grupos mais empenhados, o G1 demonstrou um ótimo envolvimento ativo e desempenho na realização das atividades. O grupo G4 apresentou bom envolvimento e desempenho mediano, apesar das dificuldades. O grupo G2, por sua vez, apresentou desempenho mediano e razoável envolvimento nas atividades. Já o grupo G3 apresentou pouquíssimo envolvimento ativo, bem como baixo desempenho na busca pela solução do problema.

3.3.2 Encontros presenciais – relativos à aplicação do Problema em ABP 2

O problema 2, denominado: “*Cadê a energia que sai daqui?*”, teve como foco a transmissão elétrica, isto é, o caminho percorrido pela eletricidade entre a geradora e a distribuidora de energia. Nele, os estudantes deveriam identificar - e posteriormente propor uma solução - qual o motivo de a energia elétrica não estar chegando aos consumidores finais, apesar de estar sendo gerada e existir um contrato com a distribuidora elétrica local. A ideia foi trabalhar, a partir desse problema, conceitos iniciais de eletricidade, especificamente: tensão, potência, corrente e transformadores elétricos.

Na execução deste problema, observamos uma evolução significativa em todos os grupos tutoriais, especialmente no que diz respeito à participação dos membros, que demonstraram maior empenho e foco no desenvolvimento do problema. Esse progresso foi claramente evidenciado, pelo fato de que todos os grupos conseguiram concluir os cinco primeiros passos da rotina organizacional já no primeiro encontro, conforme previsto.

No segundo encontro, os estudantes foram orientados a comparar entre si o que haviam pesquisado sobre os temas de aprendizagem, elaborando, em seguida, uma síntese conjunta para preencher a tabela organizacional (passo 7) e compartilhar suas conclusões por meio de um relatório. Nesse momento, as intervenções foram concluídas.

No Quadro 4 a seguir, exibimos uma síntese dos trabalhos dos grupos na aplicação do problema 2.

Quadro 4 – Síntese da rotina organizacional relativa à aplicação do problema 2

Problema 2 - Cadê a Energia que sai daqui?	
Passo 1: Identificação clara da questão central em forma de pergunta	
O que esperávamos: <i>Por qual motivo, apesar de a energia está sendo gerada e existir um contrato com a distribuidora elétrica local, essa energia não estava chegando ao consumidor?</i>	
O que os grupos redigiram:	
G1: <i>Porque a energia ainda não está chegando aos consumidores?</i>	
G2: <i>O que poderíamos fazer para diminuir a distância que a energia tem de percorrer, desde a fonte de energia eólica até a casa dos seus consumidores?</i>	
G3: <i>O que está acontecendo com a energia elétrica gerada, que não está chegando aos consumidores? Qual seria a solução para esse problema?</i>	
G4: <i>Se as torres estão instaladas gerando energia e o contrato com a distribuidora está firmado, por que a energia não está chegando aos consumidores?</i>	
Passo 2: identificar pontos relevantes no texto do problema	
Pontos claros	Pontos duvidosos/confusos
O que esperávamos: <i>A cidade passou pela fase de testes e torres eólicas foram instaladas; A energia elétrica está sendo gerada e o contrato com a distribuidora está firmado; A energia elétrica não está chegando aos consumidores.</i>	O que esperávamos: <i>Transformadores de alta potência, do tipo step-up; Tensão elétrica; A corrente elétrica alternada; transformadores step-down; fluxo de corrente elétrica.</i>
G1: <i>a) A energia elétrica não está chegando aos consumidores; b) É necessário que a energia produzida na nacele passe por uma subestação elevadora.</i>	G1: <i>a) Nacele; b) Step-Up; c) Step-down.</i>

<p>G2: a) A energia elétrica está sendo gerada; b) a energia elétrica não está chegando até os consumidores.</p> <p>G3: a) Torres eólicas; b) Energia eólica; c) Energia elétrica; d) Sistema elétrico.</p> <p>G4: a) Torres eólicas foram instaladas; b) A energia eólica está sendo gerada; c) O contrato com a distribuidora está firmado.</p>	<p>G2: a) tensão elétrica; b) corrente elétrica alternada; c) potência elétrica; d) step-up e step-down.</p> <p>G3: a) Tensão elétrica; b) Transformadores set-down; c) nascele; d) transformadores step-up; e) condições logísticas; f) corrente elétrica; g) Potência elétrica.</p> <p>G4: a) Tensão elétrica; b) Transformadores set-down; c) nascele; d) transformadores step-up; e) condições logísticas; f) corrente elétrica; g) Potência elétrica.</p>
<p>Passo 3: realizar uma tentativa de solução, usando seus conhecimentos prévios (Chuva de Ideias)</p>	
<p>G1: a) É necessário que a energia produzida nas torres eólicas, passe por uma subestação elevadora; b) é necessário que utilizando transformadores step-down, controle o fluxo de corrente elétrica.</p> <p>G2: a) Criar um centro de distribuição da energia na cidade; b) colocar o centro de distribuição mais próximo das cidades que usassem energia eólica; c) usar dois tipos de transformadores para elevar a tensão até a distribuidora.</p> <p>G3: a) Uma possível causa pode ser que a subestação elevadora, esteja com problemas nos transformadores de alta potência; b) Potência elétrica produzida pelas torres eólicas não é suficiente para que possa ser aproveitada pela população.</p> <p>G4: a) Os transformadores step-up e step-down estão com defeitos; b) ainda não se tem esses transformadores; c) não existem as redes que levem a energia até a distribuidora.</p>	
<p>Passo 4: selecionar hipóteses mais relevantes para solução do problema (Detalhar explicações)</p>	
<p>G1: Para que a energia chegue aos consumidores, é necessário que a energia produzida na nascele, passe inicialmente por uma subestação elevadora, onde passará por transformadores para elevar a tensão para que percorra grandes distâncias até encontrar a distribuidora, que, por sua vez, passe a energia por transformadores que irão controlar o fluxo, diminuindo a tensão para níveis adequados para os consumidores.</p> <p>G2: Como a energia ainda não está chegando aos consumidores, deve-se criar uma subestação próximo das torres eólicas, encurtando a distância percorrida pela energia.</p> <p>G3: É necessário que a energia produzida no interior da nascele, passe, inicialmente por uma subestação elevadora, assim é preciso que exista essa subestação.</p> <p>G4: Se as torres eólicas estão instaladas e gerando a energia que chaga na subestação onde estão os transformadores step-up que elevam a tensão para percorrer grandes distância, e o contrato com a distribuidora esta firmado, a solução é a contratação de redes que levem a energia até a distribuidora.</p>	

Passo 5: propor temas para a aprendizagem autodirigida	
O que esperávamos: transformadores elétricos do tipo <i>step-up</i> e <i>step-down</i> , tensão, fluxo de corrente elétrica, potência elétrica.	
G1: a) <i>Nacele</i> ; b) <i>Step-up</i> ; c) <i>Step-down</i> ; d) <i>Subestação elevadora</i> ; e) <i>Transformador</i> ; f) <i>Potência elétrica</i> ; g) <i>Corrente</i> .	
G2: a) <i>tensão elétrica</i> ; b) <i>corrente elétrica alternada</i> ; c) <i>potência elétrica</i> ; d) <i>step-up e step-down</i> .	
G3: a) <i>Tensão elétrica</i> ; b) <i>Transformadores set-down</i> ; c) <i>Nacele</i> ; d) <i>Transformadores step-up</i> ; e) <i>Condições logísticas</i> ; f) <i>Corrente elétrica</i> ; g) <i>Potência elétrica</i> .	
G4: a) <i>Transformadores do tipo step-up e step-down</i> ; b) <i>corrente elétrica alternada</i> ; c) <i>tensão elétrica</i> ; d) <i>Potencia elétrica</i> .	
Passo 6: Extraclasse - buscar informações em estudos individuais e extraclasse	
Passo 7: Detalhar explicações	
O que esperávamos: A solução é contratar uma transmissora de eletricidade que fará o processo de ligação entre a empresa geradora e a empresa responsável pela distribuição aos consumidores.	Relatório apresentado pelos grupos
G1: <i>A solução seria firmar contrato com uma transmissora.</i>	G1: <i>Concluímos que uma possível solução para o problema seria firmar com uma transmissora, pois a energia produzida da nacele tem que passar inicialmente por uma subestação elevadora, a qual é responsável as transmissoras.</i>
G2: <i>Chegamos a solução desse problema através de pesquisas e debates em equipe.</i>	G2: <i>A solução para esse problema foi criar uma subestação mais perto das fontes eólicas diminuindo a distância e que fosse limitada a distância de percorrer essa energia.</i>
G3: <i>Vimos que o problema não estava na potência produzida pelas torres, nem na subestação elevadora nem nos transformadores. A solução é contratar uma transmissora, que com suas linhas de transmissão e torres, recebe a energia de uma subestação elevadora e leva por grandes distâncias até uma subestação abaixadora, da distribuidora.</i>	G3: <i>Vimos que a solução para o problema era contratar uma distribuidora, pois a potência elétrica produzida pelas torres eólicas era suficiente e também a empresa que distribui estava ok, então faltava o meio do caminho. Chegamos a essa solução estudando em casa, pelo material dado pela professora e conversando entre nós mesmos.</i>
G4: <i>A solução para o problema é a construção de redes que leva a energia à distribuidora. Chegamos a essa solução baseados em alguns vídeos colocados no grupo "sala de aula invertida".</i>	

	<p><i>G4: Conseguimos chegar a uma conclusão desse problema, por análise de alguns vídeos colocados no grupo e outras pesquisas feitas em alguns sites. A solução para o problema seria a construção de redes que levassem a energia produzida pelas torres eólicas até a distribuidora de energia elétrica.</i></p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Elaboração própria.

No grupo G1, observou-se que, ao longo das aulas, os estudantes foram assumindo um papel de protagonistas, demonstrando mais segurança e independência na busca pela solução do segundo problema. Inicialmente, o maior desafio foi a adaptação ao novo estilo dos problemas e à rotina organizacional, dificuldade comum a todos os grupos. No entanto, na segunda parte da intervenção, os alunos estavam mais familiarizados e enfrentaram poucos obstáculos. A ABP mostrou-se uma estratégia eficaz para implementar a SAI, estimulando estudos extraclasse e melhorando o engajamento dos membros nas atividades em sala, para este grupo.

No grupo G2, a participação nos estudos extraclasse foi mínima, tornando o estímulo oferecido pela ABP insuficiente nesse aspecto. Em sala de aula, embora o método, por sua natureza, tenha incentivado a participação, o envolvimento dos membros não foi ativo nem progressivo, com oscilações no engajamento ao longo das atividades. Assim, a ABP não se mostrou uma estratégia eficaz para promover a SAI nesta equipe.

No grupo G3, houve uma mudança significativa de atitude na segunda parte das intervenções, pois os estudantes mostram maior engajamento nas atividades e aumentaram a participação nos estudos extraclasse. Acreditamos que, ao longo da aplicação, os alunos desenvolveram melhores habilidades de trabalho em grupo. Além disso, a experiência negativa da primeira fase, aliada à percepção de que os estudos extraclasse e o trabalho colaborativo

traziam vantagens para o andamento das atividades, motivou a equipe a valorizar mais tais estudos. Em síntese, inicialmente, o método ABP não se mostrou eficaz para a implementação da SAI, já que os alunos desse grupo enfrentaram dificuldades para avançar em sala de aula e buscar estudos posteriores. No entanto, à medida que foram se familiarizando com o método, ele se tornou um incentivo importante para os estudos extraclasse. Em sala de aula, o engajamento também aumentou ao longo da aplicação, com melhorias nas habilidades de comunicação oral e escrita, além de um progresso nas habilidades sociais, especialmente no relacionamento entre os colegas.

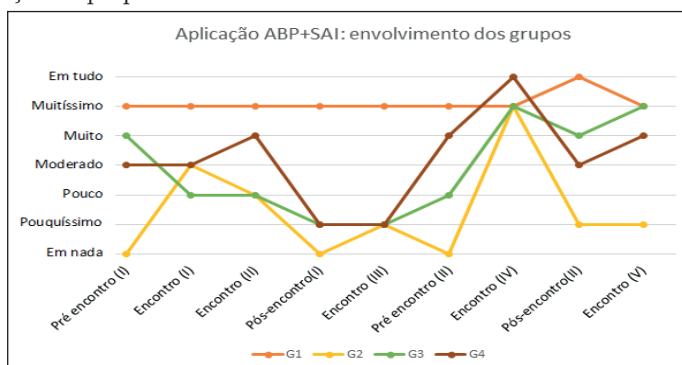
No grupo G4, a ABP foi uma estratégia de incentivo moderada aos estudos extraclasse, com os estudantes participando de forma oscilante. Em sala de aula, a natureza colaborativa do método foi um desafio, já que os membros, apesar de se esforçarem para cumprir as tarefas, não tinham afinidade. No entanto, ao longo dos encontros, a comunicação melhorou e o engajamento se tornou mais ativo.

4 Em síntese de conclusão: a implementação de uma sequência de ensino em ABP é viável para ser empregada na SAI?

Em resumo, os dados analisados mostraram que os grupos tutoriais apresentaram diferentes níveis de envolvimento, tanto nos momentos extraclasse quanto nos presenciais ao longo da aplicação da proposta.

No Gráfico 1 abaixo, é possível visualizar o envolvimento dos estudantes, classificados de acordo com a seguinte escala para os estudos extraclasse: a) 0% = Em nada; b) 20% a 25% = Pouquíssimo; c) 40% = Pouco; d) 50% = Moderado; e) 75% a 80% = MUITÍSSIMO e f) 100%= Em tudo. Para o envolvimento nos momentos presenciais, foi avaliada a dinâmica e o progresso de cada grupo de forma individual, conforme expresso na seção anterior.

Gráfico 1 - Mapeamento do envolvimento dos grupos tutoriais durante aplicação da proposta de ensino



Fonte: Silva (2021).

Observemos que o grupo tutorial G1 foi uma exceção entre os demais. Manteve-se muitíssimo bem durante todos os momentos de aplicação da proposta, tanto envolvendo-se nas atividades extraclasses (pré e pós-encontros), quanto nos momentos presenciais, não apresentando maiores dificuldades na compreensão do problema, em sua delimitação e nem na seleção de fatos esclarecidos e a esclarecer. Aspectos positivos a esse favor foram o envolvimento de todos os estudantes do grupo nos estudos anteriores e posteriores à aula e a boa relação colaborativa desenvolvida entre seus membros.

O grupo tutorial G2 apresentou dificuldades em seguir a rotina organizacional. Nos estudos extraclasses, praticamente não realizaram as atividades propostas. Nos momentos presenciais, apesar da boa relação de amizade entre seus membros, o envolvimento ativo nas atividades oscilou bastante, passando, na primeira parte da intervenção, do “em nada” para o “moderado”, depois do “pouco” para o “pouquíssimo”. Já na segunda parte da intervenção, elevou seu envolvimento ao “muitíssimo”, mas decaiu novamente, mantendo-se no “pouquíssimo”.

O grupo G3, durante o início de execução das metodologias, mostrou-se inicialmente apático, aparentand, houve decaimento da linha durante todo ciclo de efetivação da ABP, relativo ao primeiro problema. Contudo, na segunda parte da intervenção, apresentou envolvimento ativo de forma progressiva e satisfatória.

O grupo G4 apresentou inicialmente pouca comunicação entre si, o que dificultou o progresso na rotina organizacional, entretanto percebíamos o interesse em participar das atividades, além disso o diálogo e a confiabilidade entre seus membros foram se desenvolvendo conforme o avançar das aulas. Nos estudos extraclasse, a equipe manteve uma média de moderada participação. Na última parte da intervenção, atingiu os pontos mais elevados da escala.

5 Conclusão

Realizamos uma investigação, buscando verificar a possível adequação do do método da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) na Sala de Aula Invertida (SAI), explorando tanto o processo de elaboração de uma proposta de ensino quanto o envolvimento ativo dos estudantes nos momentos extraclasse e nas atividades presenciais durante a aplicação desta proposta.

Em termos de viabilidade da integração, verificamos que a aplicabilidade do método ABP harmonizasse “quase” completamente com a funcionalidade do modelo da SAI. O ponto é que, no modelo invertido, os conceitos e ideias devem ser estudados antes das aulas presenciais, já, no método ABP, os problemas devem ser apresentados aos estudantes, antes de terem conhecimentos específicos para resolvê-lo. Contornando, vimos que é possível adequar essas especificidades do seguinte modo: ao passo que se proporciona um suporte básico aos conhecimentos prévios, garantindo os estudos anteriores ao momento presencial, dar-se um auxílio para o entendimento da questão central dos problemas, sem que haja apresentação dos conteúdos específicos da disciplina.

Em termos do processo de elaboração da proposta, destacamos a questão da exigência e empenho sobremaneira especial, tanto pela necessidade da conexão entre os problemas elaborados com o contexto real e com os objetivos de ensino e aprendizagem quanto pelo cuidado do entrelace significativo do método ABP ao modelo da SAI. Dessa forma, constatamos que o próprio processo de elaboração já pode configurar-se como o primeiro percalço para implementação da ABP, sobretudo pela necessidade de dedicação, falta de exemplos práticos e inexperiência do(a) professor (a)/elaborador(a), somados ainda à extensão do trabalho docente.

Quanto à executabilidade, verificamos que a ABP é relativamente adequada para ser desenvolvida na perspectiva da SAI. Isso porque o método exige muito empenho e é uma maneira totalmente divergente do ensino convencional. A sua natureza requer dos estudantes afincamento ativo e colaborativo nas aulas, além disso exige dedicação também extraclasse, pois alcança o ambiente presencial.

Observamos que as participações nos estudos extraclasse não foram tão significativas, principalmente durante a primeira parte intervenção. A isso, associamos o fato de, culturalmente falando, não haver (ou haver muito pouco) o costume de estudar com mais afincamento, anteriormente às aulas, salvo as exceções, podendo ser mais efetivo à adaptação realizar atividades menos intensas que a ABP, que não exijam tanto nos estudos extraclasse, uma vez que a carga de estudos no ambiente fora de sala de aula é elevada.

O modelo da SAI, por sua vez, também exige dedicação extraclasse, porém, durante os momentos presenciais e no período de adaptação, o professor pode realizar atividades menos complexas, como por exemplo, direcionar a aula com perguntas, discussões, compartilhamento e esclarecimento de dúvidas (Bergmann; Sams, 2016).

O que estamos dizendo é que a junção imediata do método ABP ao modelo da SAI provoca um impacto muito forte de

adequação nos estudantes. Vimos que, durante a primeira parte da intervenção, por exemplo, o envolvimento da turma de modo geral (com algumas exceções) foi baixo, pois a turma sentiu muita dificuldade de familiarização. Já na segunda parte da intervenção, o envolvimento foi superior e crescente, indicando que os estudantes estavam se habituando mais à nova forma de estudos.

Portanto, concluímos que o método ABP é muito complexo para ser trabalhado em turmas que não estão habituadas ao modelo invertido e, apesar de ter conseguido o envolvimento da maioria dos estudantes - tanto nos estudos extraclasse como em ambiente presencial -, acreditamos que o método seria trabalhado de uma maneira mais viável e eficiente em turmas adaptadas ao modelo da SAI.

Por fim, destacamos que as conclusões apresentadas acerca da aplicação da Aprendizagem Baseada em Problemas em conjunto com a Sala de Aula Invertida no ensino de Física estão longe de se esgotar. Pelo contrário, a implementação dessas metodologias abre um vasto leque de possibilidades para a ampliação e aprofundamento das pesquisas nesse campo.

Referências

ARAÚJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob Medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V. 30, n. 2: p. 362-384, ago. 2013.

BERBEL, N. A. N. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos? **Interface**, Botucatu. 1998, vol. 2, n. 2, pp. 139- 154. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-32831998000100008>. Acesso em: 09 mar. 2019.

BERGMANN, J.; SAMS, A. **Sala de Aula Invertida Uma Metodologia Ativa de Aprendizagem**. Tradução de Afonso Celso da Cunha Serra. 1º. ed. [Reimpr.]: Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BOROCHOVICIUS, E.; TORTELLA, J. C. B. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. **Ensaio**. v.22, n.83, p. 263- 294, jun. 2014.

CAVALCANTE, A. N. **Análise da produção bibliográfica sobre Problem-Based Learning (PBL) em quatro periódicos selecionados**. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado em Saúde da Família) – Universidade Federal do Ceará – UFC: Sobral-CE, 2016.

GOMES, S. G. S. **Aplicação Princípios de Aprendizagem Baseada em Problemas em Mestrado Profissional em Ciências e Tecnologia de Alimentos na Modalidade a Distância**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2011.

MILHORATO, P. R. **Desafios e possibilidades da implantação da metodologia sala de aula invertida**: Estudo de caso em uma IES privada. 2016. Dissertação (Mestrado em Administração) – Fundação Pedro Leopoldo: Pedro Leopoldo, 2016

MÜLLER, M. G.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Inovação na prática docente: um estudo de caso sobre a adoção de métodos ativos no ensino de Física universitária. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. V. 17, n 1, p. 44-67, 2018.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre A Resolução de Problemas do Ensino da Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 229 – 253, dez. 1997.

PECHI, D. **Quem é Salman Khan**. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/2068/quem-e-salman-khan>. Acesso em: 27 de fev. 2017.

OLIVEIRA, T. E. de; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V. 33, n. 3, p.962-986, dez, 2016.

SILVA, J. G. **Aprendizagem Baseada em Problemas na Perspectiva a Sala de Aula Invertida: uma proposta no Ensino de Física**. 2021.238 p. Dissertação (Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB): Campina Grande, 2021.

VALENTE, J. A. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. **Educar em Revista**. Curitiba, Brasil, Edição Especial n. 4/2014, p. 79-97.

10



CONSTRUINDO CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA: O RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO COM OBJETOS DE APRENDIZAGEM

Ana Raquel Pereira de Ataíde¹
Marcelo Gomes dos Santos²

1 Introdução

Ainda é comum encontrarmos professores que conduzem sua prática docente pautada em um ensino meramente focado em uma concepção tradicional de ensino, aportada na transmissão de conteúdo, na qual o estudante recebe informações sem questionar e refletir sobre o processo. Sob essa perspectiva, a qualidade do ensino vem sendo criticada e sendo foco de debates. O ensino tradicional de Ciências, seja dos anos iniciais do ensino fundamental ao ensino médio, tem se mostrado pouco eficiente, seja na perspectiva dos estudantes e/ou

1 Profa. Dra. da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

2 Prof. Me. da Secretaria de Estado da Educação da Paraíba – SEE-PB.

professores, quanto às expectativas de uma sociedade moderna (Borges, 2002).

Pozo e Gómez Crespo (2009) alertam que estudantes aparentam aprender cada vez menos e demonstram um crescente desinteresse pelos temas abordados em sala de aula. O reflexo disso é que eles até conseguem realizar as atividades propostas pelo professor, no entanto tais atividades são realizadas mecanicamente, sem compreensão do processo.

É cada vez mais difícil para o docente, seja este do ensino fundamental ou médio, despertar o interesse e a atenção dos estudantes utilizando apenas a transmissão de conteúdo, especialmente por esses constituírem uma geração conectada às tecnologias digitais. Desse modo, vários estudos apontam que, para amenizar essa falta de compreensão e interesse por parte dos estudantes, uma das alternativas é a inserção de tecnologias no ensino e que tal aporte pode contribuir significativamente para a compreensão dos conteúdos (Santaella, 2004; Suzuki e Rampazzo, 2009; Braga, 2015; Vickery, 2016; Carvalho 2018). De acordo com Miquelin (2009), o papel de meios tecnológicos na escola, como a internet e o computador, pode auxiliar na transformação da prática escolar, desde que proporcione ao estudante refletir e indagar sobre o tema estudado.

Autores como Vickery (2016) e Costa (2007) compreendem que os recursos tecnológicos sejam utilizados nas escolas de forma atraente, prestigiando a curiosidade e reflexão do estudante e não apenas para reproduzir o que foi exposto nas aulas, sem um mínimo de reflexão. Para que estes objetivos sejam alcançados, é necessário que o currículo seja flexível, com temas que contemplem diversas características, explorando da melhor forma possível o potencial pedagógico das tecnologias.

No que se refere à inserção das tecnologias em sala de aula, o professor pode utilizar-se de diversas estratégias, sejam GIFS (imagens em movimento), imagens ou vídeos do You Tube. Isso

porque, ao se falar em ensino de Ciências, mais especificamente o ensino de Física, os professores utilizam-se bastante das simulações computacionais, em que os experimentos são realizados de forma virtual, sem que o estudante tenha um contato direto com o experimento.

Diante desse contexto, surge-nos o seguinte questionamento: Em espaços escolares dotados de tecnologias e que buscam despertar, nos estudantes, habilidades de engajamento e reflexão quanto aos fatos da sociedade, será que a inserção de objetos de aprendizagem pode auxiliar no processo de ensino e aprendizagem da Física no Ensino Médio?

Ao tratar de assuntos da área da Física, o professor, muitas vezes, utiliza uma abordagem, caracterizando apenas a operacionalização de equações, de modo que os estudantes manipulam números e variáveis para obter um resultado numérico, privando-os, assim, de enxergarem significado no que está sendo realizado. Portanto, ao sugerirmos a utilização dos objetos de aprendizagem, objetivamos que os estudantes possam ser instigados a participarem do processo de investigação referente a tópicos de Física Moderna.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar a execução de uma proposta de ensino embasada em objetos de aprendizagem, a fim de compreender como os recursos tecnológicos podem contribuir para o entendimento de conceitos físicos, especificamente os relacionados à Física Moderna.

2 Metodologia

O tema proposto neste artigo foi pensado, levando-se em consideração um caminho metodológico a ser seguido, em que a preocupação maior não era o resultado e sim o processo. Diante do uso de recursos tecnológicos, o caminho tomado prezou pelo questionamento e reflexão sobre o tema proposto. Neste percurso, foram utilizados vídeos, imagens e GIFS.

Toda estrutura da proposta se deu em formato de sequência de ensino, de maneira que cada etapa era composta por um tema central e uma situação-problema.

2.1 Apresentação da sequência de ensino

O estudo aqui apresentado foi desenvolvido numa turma do 2º ano do ensino médio, tendo como tema “Tópicos de Relatividade Restrita”. O tema proposto foi escolhido por ser um assunto que, na maioria das vezes, o professor não consegue abordar durante o ano, tendo em vista o cronograma curricular escolar anual a ser seguido. A partir da presente proposta, buscamos investigar se a utilização de objetos de aprendizagem pode contribuir para maior participação dos estudantes em sala de aula e para o processo de ensino aprendizagem.

Os problemas utilizados na sequência de ensino foram pensados de forma que proporcionassem o uso dos recursos tecnológicos na sala de aula. Os recursos utilizados pautam-se na utilização de vídeos, imagens e GIFS (imagens em movimento). Os problemas elaborados foram pautados numa perspectiva de reflexão pelo estudante. As questões foram elaboradas pelo autor, no entanto poderiam ser adaptadas do livro didático.

Esta sequência de ensino foi desenvolvida em duas partes, de modo que a primeira parte foi dividida em dois momentos e a segunda parte consta de apenas um momento. O somatório das aulas resultou em um total de dez aulas. O objetivo da sequência foi abordar aspectos conceituais da Relatividade Restrita com estudantes do ensino médio.

Os problemas abordados foram expostos em formato de indagações, buscando sempre a reflexão dos estudantes.

Os dados referentes à sequência de ensino estão elencados na Tabela 01.

Tabela 1 – Síntese da estruturação da proposta de intervenção.

Partes	Temática discutida	Nº Aulas
<p>Parte 1</p> <p>1º momento: Preparação da turma para implementação da proposta, através de explanação inicial sobre início da Física Moderna e Relatividade Restrita.</p>	<p>Aplicação de questionário: aplicação de um questionário prévio, com intuito de conhecer melhor a turma onde foi aplicada a sequência.</p> <p>Introdução ao assunto: neste momento foi explanado aos educandos superficialmente sobre o que seria Relatividade Galileana.</p> <p>Explanação inicial: explanação inicial utilizando figuras e desenhos, com a finalidade de tratar sobre o início da Física Moderna. Neste momento, ao passo que algumas imagens eram expostas, algumas indagações eram elencadas, com a finalidade de contrapor a relatividade Galileana a Relatividade Restrita.</p>	<p>2 aulas</p>
<p>2º momento: Início da proposta, através das questões problemas referentes à Relatividade Restrita (dilatação do tempo)</p>	<p>Exibição de vídeo e tratamento de equações: para este momento um vídeo foi exibido e ao longo de sua exposição alguns questionamentos foram realizados, com a finalidade de construir um entendimento conceitual sobre dilatação temporal. O vídeo exposto foi um recorte da série: the Flash (primeiro episódio). Seguindo, foram apresentadas aos estudantes as equações relacionadas à dilatação do tempo, exemplificando sua utilização e sua aplicação.</p> <p>Tratando o conceito: para este momento, alguns questionamentos foram expostos aos estudantes, com a finalidade de que pudessem contrapor a Relatividade Galileana e a Relatividade Restrita, bem como compreendê-las inicialmente e em que condições ocorre a dilatação temporal</p>	<p>4 aulas</p>

Partes		Temática discutida	Nº Aulas
Parte 2	1º momento: Continuidade da Proposta referente a Tópicos de Relatividade Restrita (contração dos comprimentos)	Exibição de imagens: para este momento, foram expostas algumas imagens e, ao passo que as imagens eram expostas, algumas investigações através de questões-problemas iam sendo realizadas, com o intuito de construir conceitos referentes à contração dos espaços. Ainda utilizando imagens, foram expostas as equações referentes à contração dos espaços, buscando um entendimento sobre o significado de cada variável ali descrita	4 aulas
		Compreendendo o conceito: para este momento, algumas questões foram levantadas em sala, com a finalidade de que o estudante possa compreender em que condições ocorre a contração dos comprimentos. O intuito para este momento, é construir um conhecimento a respeito do tema abordado.	

Fonte: Autoria Própria

Todo o processo desenvolvido na sequência de ensino aconteceu através da utilização de imagens e vídeos em sala de aula, seguidos de questionamentos, com a finalidade de fazer com que os estudantes refletissem e colocassem em xeque seus conhecimentos cotidianos com os fenômenos que ocorrem na Relatividade Restrita.

3 Resultados e discussão

Muitas vezes, o professor apenas ao inserir recursos digitais em sala de aula, fica com a sensação de que a utilização pela utilização resolve o problema da falta de interesse, aulas mais atraentes, melhora o ensino aprendizagem, no entanto, Valente

(2015) lembra que, para que os meios tecnológicos sejam empregados de modo efetivo no ensino, é necessário que sua condução proporcione ao educando a reflexão do processo e que esta prática venha imbuída de intencionalidade pedagógica.

Ainda nesta linha, é necessário que o professor coloque frente ao estudante, problemas em que o discente possa desenvolver um caminho para responder à pergunta em questão e que o professor não venha de encontro com as respostas prontas, mas sim que o conhecimento seja construído através da interação e da reflexão.

Com o objetivo de desenvolver e aplicar uma sequência de ensino utilizando os objetos de aprendizagem, em específico com o tema de Relatividade Restrita, a sequência por nós proposta foi dividida em duas partes (ver tabela 01), sendo a primeira parte dividida em dois momentos.

A análise ocorreu com a finalidade de investigar se recursos tecnológicos podem contribuir para o processo de ensino aprendizagem dos estudantes do ensino médio e se a utilização destas ferramentas pode proporcionar maior envolvimento do estudante em sala de aula. Os dados incluíram respostas a um questionário, ao final de aplicação da sequência, bem como seu envolvimento e assiduidade nas aulas.

3.1 1ª Parte: 1º Momento- Aplicação de questionário

No primeiro momento, os estudantes receberam um questionário, cujo intuito foi familiarizar-se com a turma e compreender as dificuldades dos estudantes, até aquele momento, relacionadas à disciplina de Física. Após aplicação dos questionários, uma das maiores dificuldades que os estudantes relataram na compreensão da Física foi a dificuldade em lidar com a interpretação matemática, bem como em efetuar as operações.

1ª Parte: 1º Momento- Introdução ao assunto

Após este momento inicial, o professor iniciou a explanação sobre a Relatividade Galileiana e, nesta primeira explanação, algumas questões que conduziram todo processo começaram a ser lançadas:

- Se dois carros A e B se cruzam em uma rodovia com velocidades de 40km/h, como faremos para indicar a velocidade de aproximação dos carros?
- Se o mesmo método (Relatividade de Galileu) for aplicado a automóveis com velocidades próximas as da luz, a interpretação é a mesma?

A partir deste questionamento, o intuito foi fazer com que os estudantes comesçassem a refletir sobre o tema visto e comesçassem a expressar suas opiniões.

3.3 1ª Parte: 1º Momento- Explanação inicial

Para este momento, ocorreu uma explanação inicial, utilizando figuras e desenhos, com a finalidade de tratar sobre o início da Física Moderna. Para este momento, ao passo que eram expostas algumas figuras, algumas indagações estavam atreladas, com o intuito de fazer com que o estudante refletisse sobre o tema visto. Ainda neste cenário, alguns problemas foram expostos, com a finalidade de fazer uma contraposição entre a Relatividade Galileiana e a Relatividade Restrita.

3.4 1ª Parte: 2º Momento – Exibição de vídeo e tratamento de equações

Para este momento, um vídeo foi exibido e alguns questionamentos eram realizados ao longo de sua exposição, com a

finalidade de construir um entendimento conceitual sobre dilatação temporal. O vídeo exposto foi um recorte do seriado *The Flash*³. Seguindo, foram apresentadas aos estudantes as equações relacionadas à dilatação do tempo, exemplificando sua utilização e sua aplicação.

Vale salientar que o intuito, na aplicação, não era realizar um tratamento da matemática por trás do conceito e sim construir um conhecimento a respeito do conceito abordado. Dando prosseguimento à aplicação da proposta, para este momento, foi reservada a exibição de um vídeo do seriado *Flash* e, após sua exibição, um questionamento viria a ser realizado, transcrito a seguir:

Marcelo, em seu dia de folga, resolve assistir a uma série, cuja escolha foi “*O Flash*”. Ao assistir a série, ele viu uma cena em que o Flash, ao experimentar uma velocidade muito alta, estranhamente o tempo ao seu entorno passou mais devagar. Marcelo ao ver esta cena ficou intrigado e uma dúvida lhe surgiu: será que se conseguíssemos andar na velocidade da luz, veríamos o tempo passar mais lentamente?

Figura 01: Ilustração do vídeo utilizado.



Fonte: www.geekblast.com.br

3 [PILOT (Temporada 1, ep.1). **THE FLASH** (Seriado). Direção: David Nutter. Produção: Berlanti Productions, Warner Bros. Television e DC Entertainment. Estados Unidos. 2014. (48 min), son., color.]

A parte selecionada do vídeo elenca um momento em que o personagem pretendia realizar uma confissão sobre sua verdadeira identidade (flash), porém, não pôde contar, pois precisava proteger todos ao seu entorno. Neste momento, enquanto conversa com uma amiga, ele se locomove a uma velocidade extremamente alta e ao passo que se movimenta, seu entorno muda as configurações e o tempo para ele tende a transcorrer mais devagar do que o tempo experimentado pela amiga que está conversando. Neste momento, ele se locomove contando seu segredo, porém sabe que, ao passo que sua velocidade é aumentada, sua amiga não pode ouvir, pois o tempo para ela passa mais rápido do que para ele. Sendo assim, este é um primeiro momento propício à abordagem do tema da Relatividade Restrita.

Com este questionamento pretendia-se que os estudantes refletissem sobre o que acontece com o tempo quando um objeto experimenta uma velocidade muito alta e se isso violaria alguma lei Física. Percebeu-se que, de início, os estudantes compreendem que o tempo passa mais devagar para uma velocidade extremamente alta, próxima a da luz. Talvez, tal percepção tenha ocorrido, devido ao fato de alguns já terem visto o seriado do Flash.

Em seguida, lançamos alguns questionamentos, com a finalidade de que os estudantes fizessem a relação de velocidades extremamente altas (como a da luz) com velocidades baixas:

- Por que, quando estamos em um carro a 250 km por hora, não percebemos o tempo passar mais lentamente?

Com este questionamento, nosso intuito foi fazer com que o estudante percebesse que este fenômeno só é perceptível a altas velocidades, próximas à velocidade da luz e não a nossas velocidades convencionais.

- Diante do vídeo, se conseguíssemos andar na velocidade da luz, o tempo mudaria? Em que?

- A velocidade da luz muda seu valor, se mudar a direção?
- Se eu tivesse um irmão gêmeo e meu irmão fosse fazer uma viagem fora da terra e esta viagem, à velocidade que ele experimenta, fosse extremamente alta, próxima à da luz, quem envelheceria mais rápido?

Com este questionamento, pretendíamos fazer com que os estudantes compreendessem que o tempo passa mais devagar para quem está experimentando altas velocidades e este questionamento foi a porta de entrada para poder realizar uma discussão sobre o paradoxo dos gêmeos.

Com estes questionamentos, os estudantes perceberam que o tempo não passa lentamente, porque a velocidade é muito baixa, comparadas à velocidade da luz. Em seguida, os questionamentos foram sendo expostos e os discentes participando com mais assiduidade, atendendo, assim, a um dos objetivos de nossa proposta.

Neste primeiro momento de aplicação da proposta, os estudantes, aos poucos, começaram a se envolver e a responder aos questionamentos realizados e, a partir das perguntas, as aulas foram sendo conduzidas. Em alguns momentos, as indagações realizadas pelos alunos conduziam para outro caminho, fora do planejado na proposta, porém, ao passo que este tipo de pergunta era realizado, o questionamento era respondido e a condução era direcionada para a proposta. Levando este fato em consideração, é importante que ao utilizar um recurso diferente do habitual, o professor esteja preparado para responder perguntas que saiam do caminho trilhado por ele, mas que, ao passo que a resposta seja dada, o discente volte ao caminho de condução da aula.

3.5 2ªParte: 1º Momento - Exibição de imagens

Neste momento, foram expostas algumas imagens e ao passo que as imagens eram expostas, algumas investigações através de questões-problemas foram sendo realizadas, com o intuito de

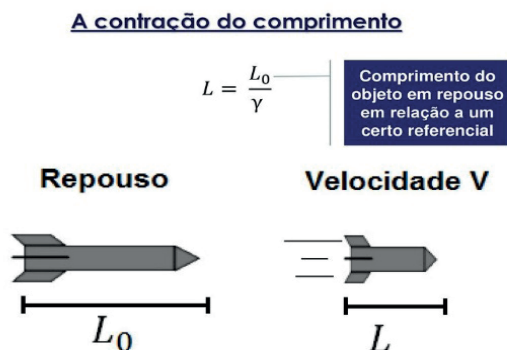
construir conceitos referentes à contração dos espaços. Ainda utilizando imagens, foram expostas as equações referentes à contração dos espaços, buscando um entendimento sobre o significado de cada variável ali descrita.

3.6 2ª Parte: 1º Momento - Compreendendo o conceito

Para este momento, foi abordado o fenômeno da contração dos espaços. Todo trajeto é direcionado por questões que visem à construção do conceito de contração dos comprimentos. Para este momento, o questionamento que guiou a condução da proposta foi:

- **É possível medir um objeto com a mesma régua e obter valores diferentes?**

Figura 02: Ilustração de dois foguetes.



Fonte: slideplayer.com.br.

Com este questionamento, o intuito foi fazer o estudante refletir e perceber que não é só o tempo que muda quando submetido a altas velocidades e que o espaço também muda quando submetido a velocidades comparadas com a da luz. Neste momento, a participação dos estudantes já estava sendo, em sua maioria, dos que estavam em sala.

Prosseguindo com a proposta, alguns problemas foram expostos, com a finalidade de explorar o fenômeno da contração dos espaços:

- **É possível medir um objeto com a mesma régua e obter valores muito diferentes?**

Com esta indagação, pretendíamos que os estudantes pudessem refletir sobre o comprimento de objetos a altas velocidades, próximas a da luz.

- Caso eu tenha dois foguetes, e um deles seja colocado em movimento, é possível medi-los e obter valores diferentes?

Por meio desta pergunta, objetivamos que os estudantes pudessem perceber que a medida realizada para um objeto, a altas velocidades, será menor que a medida inicial.

- Se um objeto estiver em repouso e quisermos medi-lo, como fazemos?
- E se o objeto está em movimento, como fazemos para medir?

Ainda conduzindo a discussão, o intuito é fazer com que os discentes reflitam sobre como medir um objeto quando tal está em movimento.

- A grandeza “comprimento” ela muda seu valor ou ela é absoluta, nunca muda, dependendo do referencial?
- Como vimos, a uma velocidade muito alta, o tempo se “dilata” e o comprimento a uma velocidade muito alta, será que continua o mesmo ou modifica algo?

Neste momento, pretendíamos que os alunos realizassem uma comparação entre o processo de dilatação do tempo e a contração dos espaços.

- Caso eu tenha dois foguetes, e um deles seja colocado em movimento, o que está em movimento, ao ser medida, terá o mesmo valor do que está em repouso?

Modificando o questionamento do início da intervenção, pretendíamos solidificar e identificar se o conceito ficou claro aos estudantes e se a medida realizada para um objeto a altas velocidades será menor do que a medida inicial.

- Na verdade, é o comprimento que diminui ou a medição que é afetada pelo movimento?

Finalizando a intervenção, após realizada a indagação acima, pretendíamos que os estudantes pudessem diferenciar a grandeza “comprimento” do que seria medição e percebessem que a medição de objetos, a grandes velocidades, é diferente da inicial.

Após realizados os questionamentos, o objetivo era fazer com que o estudante compreendesse que quando um objeto está sujeito a se locomover a velocidades, como a da luz, o seu entorno é modificado, seja com relação ao espaço ou ao tempo transcorrido.

Prosseguindo, com a condução da proposta foi perceptível o envolvimento dos estudantes em sala, no entanto, este processo ocorreu de maneira gradativa. Talvez, isso tenha ocorrido devido ao fato dos discentes terem compreendido a essência da abordagem, em que a participação era primordial para o prosseguimento da proposta.

Diante da proposta aplicada, entendemos que ainda falta muito a ser feito com relação ao ensino, principalmente, no que se refere a instigar a participação e prender a atenção dos estudantes nas aulas. Talvez a utilização de recursos tecnológicos possa

ser uma saída para melhorar este processo, no entanto, a inserção destes meios não resolvera todo o problema da sala de aula, tendo em vista que o espaço de sala de aula é um lugar plural, com diferentes povos e cada ser tem uma heterogeneidade maneira de pensar e aprender.

4 Considerações finais

O ensino de Física, na maioria das vezes, é tratado de maneira descontextualizada e o professor realiza uma abordagem em que preza pela operacionalização matemática para obter um resultado numérico. Sendo assim, neste processo, o mais importante é o resultado. Em oposição a este caminho, este trabalho tem como objetivo aplicar e analisar uma proposta de ensino utilizando recursos tecnológicos, buscando compreender como os objetos de aprendizagem podem contribuir para o entendimento de conceitos físicos, em especial a Física Moderna.

Neste sentido, elaboramos e aplicamos uma proposta de ensino. Em termos de viabilidade da integração de recursos tecnológicos à proposta, verificamos que tal inserção auxilia no processo de ensino em sala de aula. Pela aplicação da proposta, constatamos que a utilização dos recursos tecnológicos cativa a participação dos estudantes, principalmente no momento da aula, apesar de que, no início, os estudantes apresentaram alguma resistência e até mesmo apatia à nova maneira de conduzir as aulas. Houve, em comparação com as aulas convencionais, maior envolvimento por parte de todos na interação em sala de aula, uns mais ativamente outros menos, mas a maior parte participando. É importante frisar que o envolvimento dos estudantes foi ocorrendo de maneira gradativa.

A respeito da possível contribuição da proposta de ensino para a compreensão de conceitos de Física, pudemos apenas especular que houve aspectos positivos associados à abordagem empregada. O que podemos declarar, com alguma cautela, é que

a implementação dos recursos tecnológicos proporcionou maior envolvimento dos estudantes nas aulas, caracterizando com uma mudança de atitude perante os recursos utilizados.

Portanto, como resposta à questão de pesquisa – se a inserção de recursos tecnológicos pode auxiliar no processo de ensino e aprendizagem da Física no Ensino Médio? –, afirmamos que: relativamente, depende das condições que é dada tanto ao discente quanto ao docente, principalmente, no que se refere aos meios técnicos. Se os meios favorecerem o processo, a utilização de tais meios pode render frutos importantes e contribuir para o processo de ensino aprendizagem.

Outro aspecto a ser destacado é que o professor, ao utilizar recursos tecnológicos, necessita planejar com bastante cuidado os caminhos que irá percorrer durante as aulas, pois, ao passo que a aula se desenvolve e os questionamentos são propostos, podem surgir questões por parte dos estudantes que saiam do foco da aula programada e o professor, como mediador do processo, necessita ter astúcia e ser perspicaz para sanar o questionamento do estudante e voltar ao caminho que estava para seguir. Sendo assim, é necessário que o professor não se prepare para dar aula e, sim, se prepare para a aula. Além deste fato, é de extrema importância que o docente possa levar em consideração que os meios tecnológicos podem dar problemas e é necessário que o professor esteja preparado para conduzir a aula de modo diferente do planejado.

Talvez umas das funções mais difíceis, dentro do ambiente educacional, seja, ensinar temas de Ciências/Física, de forma que consiga abarcar toda a sala de aula. O ambiente educacional é cercado de múltiplos olhares e maneiras diferentes de compreender o mundo que o cerca. Antes, o professor ia ao quadro para lecionar, no entanto, com o avanço educacional, o professor passa a direcionar seu estudante e negociar caminhos com este estudante. Partindo destes pressupostos, fez-se necessário mais pesquisas voltadas ao ambiente de sala de aula, pois uma única metodologia

ou abordagem não dá conta de abarcar todo o alunado de uma sala de aula. Ainda dentro deste cenário, cabe ao professor buscar subsídios para implementá-la em sala de aula, com a finalidade de atingir o maior número de estudantes possíveis, seja, utilizando recursos tecnológicos, experimentos ou simuladores.

Partindo dos pontos abordados acima, é de suma importância que o professor, ao utilizar uma abordagem ou metodologia, deixe claro os objetivos que deseja com a inserção de tal aporte. Outro ponto que merece destaque é o fato de que o estudante, além de aprender conteúdos disciplinarizados, necessita entender e compreender fatores voltados à tomada de consciência para aspectos da sociedade.

Referências

BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar. *In: Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 291-313. 2002.

BRAGA, Juliana (Org.). **Objetos de Aprendizagem Volume 1:** introdução e fundamentos. Santo André: UFABC, 2015. 157 p.

CARVALHO, A. M. P. de. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. 765–794. Dezembro, 2018.

COSTA, F. A. O Currículo e o Digital. Onde está o elo mais fraco? [Edição em CD-ROM]. Actas da V Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação, Challenges 2007. Braga: Centro de Competência da Universidade do Minho. 274-284. (2007)

LÜDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MIQUELIN, A. F. **Contribuições dos meios tecnológicos para o Ensino de Física na Escola Básica**. 2009. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, RS.2009.

POZO, J. I., GÓMEZ CRESPO, M. A. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RESENDE, R. As novas tecnologias na prática pedagógica sob perspectiva construtivista. **ENSAIO - Pesquisa em Educação em Ciências**, v.2 n.1, março 2012.

SANTAELLA, L. **Navegar no ciberespaço: o perfil cognitivo do leitor imersivo**. São

Paulo: Editora Paulus, 2004.

SANTOS, E. de F. G.; CRUZ, D. M. e PAZZETTO, V. T. **Ambiente Educacional Rico em Tecnologia: a Busca do Sentido**. Associação Brasileira de Educação a Distância. 2005.

SASSERON, L.H; BRICCIA, V; CARVALHO, A.M. P. O uso de textos históricos visando a alfabetização científica. *In*: Maria Helena Rocho Beltran; Fumizako Saito; Rosana Nunes Santos; Wagner Wu. (Org.). **História da ciência e ensino: propostas, tendências e construção de interfaces**. São Paulo: Livraria da Física, p. 97-106, 2009.

SASSERON, LÚCIA HELENA; DUSCHL, RICHARD A. Ensino de ciências e as práticas epistêmicas: o papel do professor

e o engajamento dos estudantes. **Investigações em Ensino de Ciências** – v 21(2), pp. 52-67, 2016.

SASSERON, L. H; CARVALHO, A. M. P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Tolmin. **Ciência e Educação** (UNESP. Impresso), v.17, p. 97-114, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.16, n.1, p.59-77, 2011.

SCARPA, D. L.; SASSERON, L. H.; SILVA, M. B. O Ensino por Investigação e a Argumentação em Aulas de Ciências Naturais. **Tópicos Educacionais**, Recife, v. 23, n.1, p.7-27, jan/jun. 2017

SEDANO, L.; CARVALHO, A. M. P. Ensino de ciências por investigação: oportunidades de interação social e sua importância para a construção da autonomia moral. **ALEXANDRIA** Revista de educação e Tecnologia. Florianópolis, v.10, n.1. p.199-220, maio de 2017.

SELEME, Roberto Bohlen; MUNHOZ, Antônio Siemsen. A funcionalidade e flexibilidade dos objetos de aprendizagem. *In*: SELEME, Roberto Bohlen; MUNHOZ, Antonio Siemsen. **Criando universidades corporativas no ambiente virtual**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SOLINO, A. P.; SASSERON, L. H. Investigando a significação de problemas em sequências de ensino investigativa. **Investigações em Ensino de Ciências** – v23 (2), pp. 104-129, 2018.

SANTAELLA, L. **Navegar no ciberespaço: o perfil cognitivo do leitor imersivo**. São Paulo: Editora Paulus, 2004.

SUZUKI, J. T. F.; RAMPAZZO, S. R. R. **Tecnologias em Educação**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

THIOLENT, Michel. **Metodologia da Pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez. 1986.

TRIVIÑOS, A. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais**. 1th ed. São Paulo: editora Atlas.S.A, 1987.

VALENTE, J. A. Prefácio. *In*: BACICH, L.; NETO, A. T.; TREVISANI, F. M. (Orgs.) **Ensino Híbrido**: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015. p. 13-20.

VICKERY, A. Criando uma cultura da indagação. *In*: VICKERY, A. *et al.* **Aprendizagem ativa nos anos iniciais do ensino fundamental**. Porto Alegre: Penso, 2016. p. 43-66.

11



O ENSINO DA CINEMÁTICA BASEADO NO ENFOQUE CTS: O OLHAR DE PROFESSORES DA EJA

Alessandro Frederico da Silveira¹
Eliane Pereira Alves²

1 Introdução

No Ensino de Ciências/Física, a cinemática é um dos primeiros conteúdos ministrados tanto no último ano do Ensino Fundamental, quanto no primeiro ano do Ensino Médio. Esta temática apresenta as características dos movimentos, sem considerar suas causas e faz parte do estudo da Mecânica.

Por se tratar de caracterizar os movimentos presentes em nosso dia a dia, torna-se acessível a contextualização da cinemática em sala de aula. No entanto, a apresentação dos conceitos

1 Professor Doutor em Ensino, Filosofia e História da Ciência e integrante do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da UEPB.

2 Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba.

envolvidos nesta temática, muitas vezes, é direcionada ao formalismo matemático. De acordo com Lariucci e Napolitano (2007), uma das características prejudiciais ao estudo da cinemática no Ensino Médio está relacionada à incapacidade de visualização dos movimentos no cotidiano por parte dos estudantes, os quais são reduzidos, às vezes, a um estudo abstrato, direcionado à memorização de várias equações e terminologias.

A característica apontada pelos autores anteriormente, referente ao ensino de Cinemática, impacta ainda mais na modalidade da Educação de Jovens e Adultos (EJA), em relação à continuidade de estudos interrompidos, readaptação ao âmbito escolar e dificuldades de conciliar os estudos e o trabalho. Isso porque a EJA é direcionada para os estudantes que não tiveram acesso e/ou continuidade aos estudos correspondentes à Educação Básica na idade apropriada, sendo, portanto, o sistema de ensino responsável por lhes assegurar oportunidades educacionais adequadas, considerando suas condições de vida e de trabalho (Brasil, 2005).

Para Vilanova e Martins (2008, p. 377), a EJA “[...] compreende os mais diversos processos de formação, [podendo ser] continuada e permanente, formais e informais, perpassando quase todos os espaços de convívio social”. Por isso, as finalidades da EJA vão além dos processos iniciais de alfabetização, buscando formar indivíduos capazes de se apropriar das múltiplas linguagens presentes na sociedade, podendo mudar suas condições socioeconômicas por meio do ensino. Diante disso, a prática pedagógica na EJA deve ser diferenciada, por meio da elaboração de práticas com um caráter dinâmico e contextualizado, relacionando temas de interesse dos estudantes ao conhecimento científico.

Dentre as diversas possibilidades de ensinar Ciências/Física na EJA, a Proposta Curricular para a Educação de Jovens e Adultos (PCEJA) direciona o ensino de Ciências/Física para as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), pois relacionam os temas sociais aos das ciências e tecnologia. De acordo com Auler e Bazzo (2001), o termo CTS pode ser compreendido como uma

área de estudo que se preocupa em tratar a ciência e a tecnologia, tendo em vista suas relações, consequências e respostas socioambientais. O processo metodológico para implantação do enfoque CTS em sala de aula, de acordo com Santos (1992), parte de temas sociais, são relacionados aos conhecimentos científicos e retornam aos temas iniciais. Dessa forma, os temas sociais não são apenas meras aplicações envoltas aos conhecimentos científicos, mas ponto central de discussão e estudo, sendo assim, o ponto de partida para o ensino pautado no enfoque CTS (Auler, 2007).

Atrelada à possibilidade dissertada anteriormente, podemos destacar o diálogo como uma alternativa para o estudo de conceitos interligados às relações CTS. Freire (2011) destaca que o diálogo faz parte da interação humana e, quando é utilizado por meio da ação e reflexão, torna-se essencial para uma educação libertadora. Para Lambach (2013), através do diálogo, é possível estabelecer uma relação de igualdade entre professor e estudantes, de modo que ambos façam parte do processo de ensino-aprendizagem de forma ativa, tornando esta relação coletiva e horizontal, respeitando os saberes diversos de ambas as partes.

A relação entre o enfoque CTS e Paulo Freire vai além da proposta de uma pedagogia pautada no diálogo. Essa dá-se através de uma educação política e não bancária, ancorando-se nos seguintes pressupostos: “a busca de currículos temáticos, a interdisciplinaridade e a construção de uma cultura de participação em processos decisórios (Auler, 2018, p. 131)”.

Embora a PCEJA direcione o ensino de Ciências/Física para o enfoque CTS, de acordo com as pesquisas realizadas para construção do referencial teórico, os professores acabam ministrando os conteúdos na EJA, de modo reduzido ao trabalhado no ensino regular. Por isso, partimos do pressuposto de que os professores de Ciências/Física da EJA não direcionam os conceitos de cinemática à abordagem temática relacionada às interações entre CTS.

Diante desse contexto, nos propomos a responder o seguinte questionamento: “De que maneira os professores de Ciências/Física da EJA têm relacionado ou não os conceitos da cinemática ao enfoque CTS?”.

Desse modo, organizamos nossa pesquisa em tópicos/capítulos, são eles: introdução; referencial teórico (Desafios e possibilidade para ensinar ciências/física na EJA; A formação do professor em EJA; O enfoque CTS no campo da educação; O enfoque CTS e a pedagogia freiriana); descrição metodológica; resultados e discussões e considerações.

No referencial teórico, contextualizamos nossa pesquisa por meio da discussão sobre os desafios enfrentados pelos professores de Ciências/Física, em relação ao trabalho realizado na EJA e sua formação inicial específica para a modalidade de ensino em pauta. Além disso, apresentamos como possibilidade a atuação na EJA por meio do trabalho temático voltado para às relações entre CTS e sua relação com a pedagogia freireana.

Na descrição metodológica, descrevemos os caminhos para realização da nossa pesquisa, apresentando as características metodológicas, etapas que constituíram a pesquisa, os instrumentos de coleta de dados e a técnica utilizada para análise de dados. Por fim, nos resultados e discussões, apresentamos a análise dos dados obtidos nas entrevistas realizadas com os professores da EJA.

2 Desafios e possibilidade para ensinar Ciências/Física na EJA

O Ensino de Ciências é introduzido de forma obrigatória na Educação Básica em todas as modalidades de ensino, do nível Fundamental ao Médio. De acordo com a Academia Brasileira de Ciências (2007), o Ensino de Ciências estimula, nos estudantes, o raciocínio lógico e a curiosidade, tornando-os cidadãos preparados para enfrentar os desafios da sociedade contemporânea, imersa na ciência e tecnologia.

Tratando-se da Educação de Jovens e Adultos, o Ensino de Ciências “deve se dar juntamente com a promoção da racionalidade, a confirmação de competências adquiridas na vida extraescolar e o banimento do medo e dos preconceitos” (Brasil, 2002, p. 72). A promoção dessa racionalidade, no sentido da promoção de uma aprendizagem crítica e reflexiva, contrária às memorizações sem significados, tendo como ponto de partida as experiências vivenciadas pelos jovens e adultos, sejam estas religiosas, culturais, através de meios de comunicação (jornais e internet), do trabalho, do meio familiar, entre outros. No entanto, devido ao baixo nível de escolaridade, estes conhecimentos geram medo e preconceitos por parte dos jovens e adultos, por não se tratar de conhecimentos cientificamente aceitos, gerando um bloqueio na aprendizagem. Dessa forma, o professor não deve “impor a explicação científica como a correta, [...] [pois] pode gerar indisposição ao conhecimento científico” (Brasil, 2002, p. 73), caracterizando um conhecimento científico abstrato, acabado, imutável e sem significados.

De acordo com a PCEJA, o Ensino de Ciências não pode ser considerado como um conjunto de definições, nomes específicos e equações que se aprendem apenas na escola (Brasil, 2002), mas uma construção humana e colaborativa, suscetíveis a falhas e modificações. Além disso, o conhecimento científico não está preso num laboratório, onde “cientistas” manipulam dados e chegam a uma extraordinária descoberta. O conhecimento científico está presente nos afazeres domésticos, nas atividades rurais, nos parques de diversões, nas fábricas de calçados, nas estações do ano etc. Portanto, percebe-se que tal conhecimento está presente no nosso dia a dia.

Embora os objetivos a serem desenvolvidos pelos jovens e adultos, por meio do componente curricular Ciências, sejam direcionados para uma educação contextualizada, há décadas, a abstração do conhecimento científico vem sendo priorizada, por meio da descrição dos fenômenos, nomenclaturas e equações, de

maneira que não se estabelece relação entre os conceitos estudados em sala de aula e realidade dos estudantes, dificultando, assim, o processo de ensino-aprendizagem (Pires; Condeixa; Nóbrega; Mello, 2002).

Devido à abstração no processo do Ensino de Ciências, resultante num distanciamento entre conhecimento científico e conhecimentos experienciais dos jovens e adultos, o componente curricular tornou-se desinteressante ao longo dos anos, não só na EJA, mas em todas as modalidades de ensino, tornando-se o mais “temido” pelos estudantes. Este fato é evidenciado pelos autores Figuerêdo, Silva Júnior, Sales e Souza (2017), ao afirmarem que as Ciências Exatas se tornaram a mais abominável por grande parte dos estudantes em relação a outras áreas de conhecimento.

De acordo com Merazzi (2008), o Ensino de Ciências apresentado à Educação Básica não passa de um reducionismo desta área do conhecimento, e consequentemente, não auxilia na formação crítica e autônoma dos estudantes. O reducionismo do Ensino de Ciências, em parte, está relacionado à preocupação do professor em cumprir todos os conteúdos programáticos, sendo inversamente proporcional à carga horária proposta para o componente curricular. Outro fator determinante para o reducionismo desta área do conhecimento relaciona-se com a carga-horária de trabalho semanal, a que o professor se submete aliada à sua falta de formação, impossibilitando um planejamento adequado para o trabalho a ser realizado em sala de aula. Isso ocorre devido à desvalorização social, política e econômica referente ao magistério (Merazzi, 2008).

O contexto apresentado anteriormente, sobre as dificuldades enfrentadas para se ensinar Ciências na EJA, assemelha-se ao Ensino de Física, tanto na visão dos estudantes, quanto no trabalho realizado pelo professor em sala de aula. De acordo com Silva e Silveira (2015), muitos professores, com o passar do tempo, devido à falta de formação e uma política de valorização, acomodam-se numa prática expositiva e tradicional, sem a utilização de recursos e metodologias diferenciadas. Além disso,

encontram-se desmotivados para refletir sobre seu fazer pedagógico. Referindo-se aos estudantes, esses visualizam os conceitos Físicos distante de sua realidade, causando dificuldade de compreensão, desinteresse e aversão por este componente curricular (Menezes; Vicente; Willian, 2005; Silva; Silveira, 2015).

Outra dificuldade enfrentada pelo professor de Ciências/Física da EJA está na fragilidade da formação inicial específica para o trabalho com essa modalidade de ensino, podendo ser contornada por meio da formação continuada. Para Lopes e Sousa (2005), o professor da EJA precisa de uma formação própria que seja capaz de lhe conferir a possibilidade de compreensão dos anseios e necessidades desse público, podendo, assim, lidar com os sentimentos desses estudantes.

3 A formação do professor em EJA

Há décadas, pesquisadores da área da educação e ensino direcionam seus estudos à formação de professores da EJA, os quais têm sido silenciados nas instituições de ensino, principalmente durante o processo de formação inicial. De acordo com Soares (2007), o ano de 1990 é marcado pela formação de grupos de estudos, direcionados à formação de professores da EJA, nos interiores das universidades. No entanto, a partir de 2000, é discutida de forma mais sistemática a formação de professores da EJA, abrangendo a formação inicial, continuada e a formação que ocorre fora dos espaços acadêmicos.

O silenciamento das instituições de ensino não se refere apenas aos cursos de licenciatura, mas também aos cursos de Pedagogia. Sendo assim, pedagogos e professores das diversas áreas do conhecimento não têm base metodológica para atuar na EJA, pois não tiveram uma formação inicial adequada (Arroyo, 2006; Paiva, 2012). Desse modo, a EJA torna-se uma modalidade de ensino prejudicada e improvisada, não só no processo de alfabetização, mas na continuidade dos estudos.

A improvisação na EJA acontece devido ao imaginário social que concorda com a possibilidade de que “qualquer um” possa ensinar a ler e escrever ou a fazer qualquer outra coisa, desde que saiba fazê-lo (Paiva, 2012). Devido à má formação inicial, os professores e as professoras da EJA acabam, em sua prática pedagógica, desconsiderando as especificidades, peculiaridades, o contexto e a historicidade dos estudantes/trabalhadores envolvidos no processo de ensino dessa modalidade e adaptam as metodologias utilizadas para crianças e adolescentes no ensino regular para a EJA, no qual encontram-se jovens, adultos e idosos.

Desse modo, as práticas pedagógicas são transformadas em atividades “pobres” em todos os aspectos, causando prejuízos para aqueles que procuram ou voltam a procurar conhecimentos nos espaços formais de ensino (Moura, 2009). Logo, é indispensável que, para o desenvolvimento das práticas pedagógicas na EJA, os professores e as professoras considerem os jovens e adultos como seres pensantes, que têm voz e questionamentos, que são formados e deformados nas precariedades de vivência e sobrevivência e, além disso, são trabalhadores populares em processo múltiplos de formação (Arroyo, 2006).

O processo de escolarização refere-se a um ato de conhecimento, por isto, não é uma tarefa fácil, em suma, é considerado um processo complexo e demorado, o qual exige competências, habilidades e compromisso de profissionais preparados para o exercício do magistério na EJA (Moura, 2009).

Enfim, afirmamos e reafirmamos que não é qualquer um que pode exercer o magistério em nosso país, nem tão pouco na EJA. É necessário investir na formação inicial e continuada, para que tenhamos professores e professoras qualificados e preparados para tal. Não podemos, não mais, continuar considerando a EJA como “lote vago”, “terra sem dono”, um espaço onde tudo se pode e qualquer põe a mão (Arroyo, 2004 *apud* Soares, 2007).

4 O enfoque CTS no campo da educação

O enfoque CTS no campo da educação abrange diversas categorias. Pode ser utilizado apenas como motivação no ensino de ciências até o aprofundamento entre as relações que a sigla designa (Auler, 2002). Aikenhead (1994 *apud* Mortimer e Santos, 2002) apresentam algumas categorias do Ensino de Ciências baseado no enfoque CTS, e, respectivamente, suas características, conforme, podemos observar no Quadro 1.

Quadro 1: Categorias de ensino de CTS.

Categorias	Descrição
1. Conteúdo de CTS como elemento de motivação.	1. Ensino tradicional de ciências acrescido da menção ao conteúdo de CTS com a função de tornar as aulas mais interessantes.
2. Incorporação eventual do conteúdo CTS ao conteúdo programático.	2. Ensino tradicional de ciências de pequenos estudos de conteúdo de CTS incorporados como apêndices aos tópicos de ciências. O conteúdo de CTS não é resultado do uso de temas unificadores.
3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	3. Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrados aos tópicos de ciência, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS, esse conteúdo forma temas unificadores.
4. Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo CTS.	4. Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e a sua sequência, mas a seleção do conteúdo científico ainda é feita a partir de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros e muito semelhante àquele da categoria 3, embora a sequência possa ser bem diferente.

Categorias	Descrição
5. Ciências por meio de conteúdo de CTS.	5. CTS organiza o conteúdo e sua sequência, o conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo de CTS, a lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes, a partir de uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.
6. Ciências com conteúdo de CTS.	6. O conteúdo de CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem.
7. Incorporação das ciências ao conteúdo de CTS.	7. O conteúdo de CTS é o foco do currículo. O conteúdo relevante de ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais das Ciências.
8. Conteúdo de CTS.	8. Estudo de uma questão tecnológica ou social importante. O conteúdo de ciências é mencionado somente para indicar uma vinculação com as ciências.

Fonte: Aikenhead, 1994, p. 55-56 *apud* Mortimer; Santos, 2002, p. 125.

Para abarcar as diversas categorias do enfoque CTS, os objetivos para o ensino de ciências são: promover o interesse dos estudantes em relacionar a ciência com os aspectos tecnológicos e sociais, discutir as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da CT; adquirir uma compreensão da natureza da ciência e do trabalho científico; formar cidadãos científico e tecnologicamente alfabetizados, capazes de tomar decisões concretas e bem fundamentadas e desenvolver o pensamento crítico e a independência intelectual (Auler, 2002; 2007).

Além disso, Aikenhead e Riquarts (1988 *apud* Mortimer; Santos, 2002) destacam a autoestima, a comunicação escrita e oral, a responsabilidade social e o exercício da cidadania como objetivos a serem desenvolvidos nos estudantes, conforme essa metodologia de ensino. Ao desenvolver a responsabilidade social

nos estudantes, desenvolvem-se também os valores sociais, vinculados ao interesse coletivo, como, por exemplo, a solidariedade, a fraternidade, a generosidade, o respeito ao próximo, a reciprocidade e o compromisso com o bem-estar social.

No intuito de delimitar e potencializar o enfoque CTS no contexto brasileiro, Auler (2007) apresenta e analisa, em um trabalho bibliográfico, três dimensões interdependentes do enfoque CTS, a abordagem de temas sociais, a interdisciplinaridade, e a tomada de decisões relacionadas aos temas entre CT.

A utilização de temas sociais, de acordo com Auler (2007), motivam e dinamizam os currículos escolares, muitas vezes, marcados pelo ensino tradicional, linear e descontextualizado. Para Santos (1992), os temas sociais são o ponto de partida e chegada para o desenvolvimento de uma intervenção pedagógica baseada no enfoque CTS, em que, primeiramente, é introduzido um problema social, em seguida, relaciona-se essa temática a uma tecnologia. Posteriormente, define-se um conteúdo científico, discute-se a tecnologia apresentada em função dos conteúdos e, por fim, retoma o problema social apresentado inicialmente.

Os temas e os conteúdos científicos podem ser relacionados de duas maneiras, o tema em função do conteúdo – apresentado dentro dos procedimentos metodológicos de Santos (1992) – e o conteúdo em função do tema. No primeiro caso, o tema em função do conteúdo, os conteúdos estão estabelecidos e a partir deles define-se um tema. Já no segundo caso, não se tem os conteúdos definidos, os quais poderão ser desenvolvidos a partir do tema estabelecido. Além disso, os temas³ podem ser abrangentes, contemplando contextos diversos e específicos, relacionados a problemas sociais em torno da escola (Auler, 2007).

Nessa perspectiva, o ensino pautado na abordagem temática propicia o desenvolvimento, por parte dos envolvidos no processo

3 A utilização de temas abrangentes não impossibilita o professor de trabalhar questões específicas em torno da comunidade escolar.

de ensino-aprendizagem, e a tomada de decisões de forma crítica e democrática nas diversas situações do cotidiano, outra dimensão do enfoque CTS, de acordo com Auler (2007). Para Santos (1992), a tomada de decisão está relacionada ao posicionamento do indivíduo frente a um problema real, envolvendo aspectos sociais, tecnológicos, econômicos e políticos. Dessa forma, o ensino direcionado a desenvolver a tomada de decisão promove a compreensão da natureza da ciência e do seu papel na sociedade, tornando-se importante, pois facilita as decisões sensíveis e razoáveis em um mundo conturbado e auxilia as pessoas a entenderem da melhor forma as decisões de outras, fazendo com que o bem-estar social se prolongue (Zoller, 1982, p. 12 *apud* Santos, 1992, p. 133).

5 O enfoque CTS e a pedagogia freiriana

A aproximação entre o enfoque CTS e Freire⁴ não é uma discussão atual, alguns autores, inspirados na pedagogia freiriana, debatem sobre essa relação (Auler, 2007; Auler; Delizoicov, 2006a). No entanto, nesse subtópico, dissertaremos, principalmente, à luz do educador brasileiro Décio Auler⁵ que iniciou essa reflexão teórica em 2002 com sua tese de doutorado e, desde então, discute essa temática.

Dentre as diversas obras escritas por Freire, Auler (2002; 2007; 2018) faz menção à Pedagogia do Oprimido, em grande parte de suas discussões, ao relacionar Freire ao enfoque CTS. A obra Pedagogia do Oprimido foi escrita por Paulo Freire em

4 Paulo Freire, educador brasileiro, ficou conhecido mundialmente devido a sua proposta de ensino para alfabetização das classes populares e trabalhadoras do nosso país, a qual utilizava como ponto de partida palavras que faziam parte do vocabulário dos educandos.

5 Iremos utilizar também trabalhos desenvolvidos por Auler em conjunto com outros pesquisadores da área.

1968 no Chile, durante seu exílio. Esse ensaio é resultado de observações educacionais do autor durante cinco anos no Chile e ancorado nas experiências vivenciadas no Brasil, retratando as relações entre educador e educando, nomenclatura usada pelo autor, ao refletir sobre a concepção bancária e problematizadora da educação (Freire, 2011).

Na concepção da educação bancária⁶, Freire (2011) descreve o processo de ensino como estático, compartimentado e conteudista, em que o professor é denominado como o narrador de conteúdos desconectados da realidade e os estudantes são os ouvintes, os sujeitos pacientes, que apenas absorvem os conteúdos narrados. Já na concepção da educação problematizadora, o autor descreve o processo de ensino como algo dinâmico, em que os estudantes deixam de ser os ouvintes, tornando-se sujeitos ativos no processo de ensino, sendo esse ensino crítico, consciente e politizado.

Descrevendo o processo de alfabetização de adultos, em uma perspectiva problematizadora, libertadora, Freire (2011) afirma que alfabetizar não é apenas repetir palavras descontextualizadas, desconectadas do cotidiano dos estudantes, mas a compreensão das palavras que descrevem o entorno dos alfabetizandos. Nesse sentido, conceitua-se o termo palavra geradora, geradora de cultura, de consciência, a qual é apresentada por completo e, posteriormente, analisam-se seus elementos silábicos. Desse modo, os alfabetizandos são instigados não apenas à compreensão da palavra estudada e de novas palavras, mas a escrever suas perspectivas de mundo, de forma crítica.

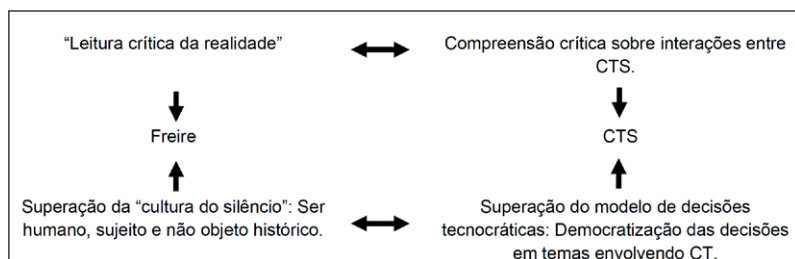
Considerando que a sociedade, em que estamos inseridos, está fortemente marcada pela CT, segundo Auler (2007), para que haja uma interpretação crítica da sociedade, é necessário, cada vez mais, uma interpretação crítica com relação às interações entre

6 Bancária, no sentido literal do termo, remetendo a depósito bancário, nesse caso, o educador deposita os conhecimentos nos educandos e esses apenas absorvem.

CTS. Nesse contexto, destacamos a existência de uma aproximação entre o processo de ensino apresentado em Freire (2011) e os pressupostos ligados ao enfoque CTS, no que se refere à abordagem temática, à interdisciplinaridade e à tomada de decisão (Auler, 2002, 2007, 2018; Auler; Delizoicov, 2006a, 2006b; Auler *et al*, 2009). Esses pressupostos foram apresentados no subtópico anterior e representam o alicerce para o processo de ensino baseado nas interações entre CTS.

Com relação ao contexto social, o enfoque CTS é repercutido sistematicamente em regiões, onde as pessoas estão razoavelmente satisfeitas, no que se refere a condições materiais, como por exemplo, nos Estados Unidos e na Europa. Já a proposta Freiriana é enraizada em países da América Latina e do continente Africano, marcados pela colonização em que se manifesta a cultura do silêncio, descrita por Freire (2011), ao se referir à educação bancária e opressora. A cultura do silêncio, denominada por Freire (2011), é caracterizada pela ausência da participação da sociedade em processos decisórios, fortemente marcada pela tecnocracia (Auler, 2007). Em síntese, podemos finalizar essa aproximação entre a Pedagogia Freiriana e os pressupostos do enfoque CTS com o quadro a seguir, extraído de Auler e Delizoicov (2006a, p. 7).

Quadro 2: Aproximação entre Freire e CTS.



Fonte: Adaptado de Auler e Delizoicov (2006a, p. 7).

6 Metodologia

A referente pesquisa trata-se de um estudo de campo, no qual coletamos os dados através de entrevistas semiestruturadas e aplicação de questionários. Trabalhamos em uma perspectiva descritiva, analisando nosso objeto de estudo, no intuito de aprofundarmos os conhecimentos sobre a temática. Para isto, estudamos as características de um grupo, especificamente, de professores da EJA, utilizando técnicas padronizadas de coletas de dados, como, por exemplo, entrevistas e questionários (Gil, 2002).

Em seguida, interpretamos os dados obtidos de forma qualitativa, pois direcionamos nossas discussões aos detalhes observados no desenvolvimento da pesquisa por meio de uma análise categórica. Partimos do pressuposto de que os professores de Ciências/Física da EJA não direcionam seus trabalhos pedagógicos às interações entre CTS por meio de temas, pois, mesmo que a PCEJA direcione o ensino de Ciências/Física para o enfoque CTS, de acordo com as pesquisas realizadas para construção do referencial teórico, os professores acabam ministrando os conteúdos na EJA de modo reduzido ao mesmo trabalhado no ensino regular.

A fim de investigar o contexto da temática presente em nossa hipótese, elaboramos o seguinte questionamento: De que maneira os professores de Ciências/Física da EJA têm relacionado ou não os conceitos da cinemática ao enfoque CTS? Para responder esse questionamento, delineamos dois objetivos: investigar a utilização do enfoque CTS pelos professores de Ciências/Física da EJA e analisar a maneira como os professores de Ciências/Física da EJA têm relacionado o enfoque CTS ao ensino de Cinemática.

Para chegarmos aos nossos objetivos, elaboramos um roteiro de entrevista, no intuito de coletar dados relacionados à prática do professor da EJA em diferentes contextos. Quanto as entrevistas realizadas, contamos com a participação de 15 professores da rede pública, estadual e municipal, de algumas cidades do estado da

Paraíba, foram estas: Campina Grande, Pilões, Massaranduba, Remígio, Algodão de Jandaíra, Lagoa Seca, Queimadas, Areal e Soledade. Dentre os 15 professores entrevistados, 11 são professores de Física, da rede estadual de ensino, e 4 professores de Ciências, da rede municipal de ensino.

Todas as entrevistas foram autorizadas a serem gravadas pelos participantes da pesquisa. Para manter o sigilo da identidade dos professores, utilizamos nomes fictícios, escolhidos por eles no momento inicial das entrevistas, as quais foram norteadas por um roteiro e duraram, em média, 22 minutos, sendo a mais longa de 34 minutos e 22 segundos e a mais curta de 10 minutos e 53 segundos.

Analisamos nossos dados por meio de categorias, que foram elaboradas de acordo com a frequência das ideias expostas nas entrevistas. De acordo com Cuba e Lincoln (1981 *apud* André, 1983), para elaborar as categorias, é necessário analisar os dados coletados no intuito de identificar aspectos regulares e recorrentes. Dessa forma, o pesquisador deve observar as ideias que ocorrem e recorrem em diferentes momentos e situações, providas de diferentes indivíduos. Em síntese, discutimos, em nossa análise de dados, as ideias ocorridas com frequência relacionadas ao nosso objeto de estudo.

7 Resultados e discussões

Partimos do pressuposto de que os professores de Ciências/Física não utilizavam como aporte metodológico as relações entre CTS através da abordagem temática. Dessa forma, buscamos investigar se os professores utilizavam ou não o enfoque CTS na EJA. Aqueles que afirmaram utilizar, analisamos a maneira como eles relacionavam o enfoque CTS ao Ensino de Cinemática. Para efetivar nossa análise, entrevistamos 15 professores de Ciências/Física atuantes na EJA de Campina Grande e cidades circunvizinhas.

Iniciamos nossa investigação, conhecendo a formação acadêmica dos entrevistados. Para isso, fizemos o seguinte questionamento: “Qual a sua formação acadêmica?”. A maior parte dos professores são formados na área em que atuam, dentre os 15 participantes da pesquisa, apenas 2 professores não possuem graduação em sua área de atuação e 1 professor encontra-se no término da graduação. Além disso, dentre os 15 participantes da pesquisa, 6 professores possuem somente a graduação, enquanto 4 professores são mestres e 5 são mestrandos.

Dentre os entrevistados, apenas 2 professores que atuam na disciplina de Física da EJA não possuem formação específica, correspondente a 18,2% dos entrevistados: o professor é formado em Matemática, enquanto a professora é formada em Química. Segundo Faleiro e Pimenta (2018), a formação específica do professor em sua área de atuação é importante, no sentido de proporcionar maior autonomia referente aos procedimentos pedagógicos. No entanto, a falta de formação específica não desqualifica o professor que sofre dessa distorção entre área de formação e atuação, porém, no que se refere à autonomia do profissional, na maioria dos casos, não é possível oferecer oportunidades de interação total com sua área de atuação, refletindo em sua prática de ensino.

Os professores incluídos nesse processo de distorção entre a área de atuação e formação, de acordo com Faleiro e Pimenta (2018), são denominados professores leigos e geralmente atuam em cidades do interior, como observado com os sujeitos de nossa pesquisa. Ainda, referente à formação dos professores entrevistados, os questionamos acerca da formação específica direcionada à atuação na EJA. A esse respeito, fizemos o seguinte questionamento: “Você cursou alguma disciplina na universidade específica para EJA?”. Dos 15 professores entrevistados, apenas 1 cursou uma disciplina específica para a EJA, referente a 6,7% dos participantes da pesquisa, enquanto 14 professores não tiveram essa formação, correspondente a 93,3% dos entrevistados.

Esse aspecto que está relacionado à fragilidade na formação inicial reflete em uma das dificuldades enfrentadas pelo professor de Ciências/Física da EJA, no entanto, essa fragilidade pode ser contornada por meio da formação continuada. Para Lopes e Sousa (2005), o professor da EJA precisa de uma formação própria, que seja capaz de lhe conferir a possibilidade de compreensão dos anseios e necessidades desse público, para lidar com os sentimentos desses estudantes.

Em seguida, indagamos-lhes: “Com base em sua experiência, essa lacuna na formação do professor dificulta em sua prática docente? Quais seriam essas dificuldades e como superá-las?”. Dessa forma, todos os professores relataram que a lacuna em sua formação acadêmica, no que se refere à formação específica para a EJA, resulta em diversas dificuldades relacionadas ao seu trabalho pedagógico. Dentre essas, são destacadas: seleção de conteúdos, utilização da matemática, interpretação de textos, estudantes que ficaram afastados há um tempo da escola, tempo reduzido de aula, falta livro didático específico para a EJA e diferenças entre as faixas etárias dos estudantes.

Dentre as categorias elaboradas, diante dos discursos dos professores entrevistados, a utilização da matemática se apresenta como a principal dificuldade relacionada ao ensino de Física na EJA, já que 6 professores sinalizaram esta categoria. Segundo Pietrocola (2002), é comum os professores de Física atribuírem o fracasso dessa área do conhecimento à falta de aptidão apresentada pelos estudantes, no que se refere à compreensão matemática. Ou seja, para que os estudantes tenham sucesso, ao estudarem a disciplina de Física, é necessária uma boa base matemática nos anos que a antecedem.

No que diz respeito aos recursos didáticos utilizados pelos professores entrevistados, fizemos o seguinte questionamento: “Quais os recursos didáticos que você utiliza em sua prática docente?”. Diante desse questionamento, os professores sinalizaram a utilização dos seguintes recursos didáticos: quadro, pincel

e apagador, computador, televisão, Datashow, livro didático da EJA, livro didático do Ensino Regular, material impresso e material para experimento.

Em seguida, direcionamos nossa entrevista para as subáreas da Física que os professores sentem maior dificuldade para ministrá-las na EJA. Em sua maioria, citaram o ensino da Cinemática e que acabam ministrando suas aulas, com foco na exposição de conceitos e resolução de exercícios, característicos dessa subárea, marcada pelo formalismo matemático e descontextualização, sem interação com os estudantes. Segundo Lariucci e Napolitano (2001), uma das características prejudiciais ao estudo da cinemática no Ensino Médio está relacionada à incapacidade de visualização dos movimentos no cotidiano por parte dos estudantes, o qual é reduzido, às vezes, a um estudo abstrato, direcionado à memorização de várias equações e terminologias.

Com relação à abordagem metodológica direcionada as interações CTS, fizemos o seguinte questionamento “Você conhece a abordagem metodológica direcionada às interações entre ciência, tecnologia e sociedades (CTS)?”. Para os professores que conheciam o termo, concluímos a entrevista por meio de pergunta posterior “O que você poderia me dizer sobre essa abordagem metodológica?”. Alguns professores relataram que nunca ouviram falar do termo CTS, outros que conhecem, mas não apresentaram segurança para falar sobre, enquanto os que se arriscaram a descrever esta abordagem metodológica não dissertaram argumentos de forma estruturada.

Dos 15 professores entrevistados, apenas 3 falaram sobre a relação CTS e, com isso, os questionamos da seguinte forma: “Você já utilizou algum tema enfatizando as interações CTS?”. Prontamente, afirmaram que já utilizaram a abordagem temática relacionada a CTS, mas não fizeram menção à subárea da Física que estamos investigando, a Cinemática.

8 Algumas considerações

Para realização desta pesquisa, partimos do pressuposto de que os professores de Ciências/Física da EJA não direcionam os conceitos de Cinemática à abordagem temática relacionada às interações CTS. Embora a PCEJA direcione o ensino de Ciências/Física para o enfoque CTS, sustentamos nossa hipótese por meio de pesquisas realizadas para a construção do nosso aporte teórico, as quais norteiam a ideia de que os professores acabam ministrando os conteúdos na EJA do mesmo modo que o trabalhado no ensino regular, porém de forma reduzida.

Primeiramente, investigamos a utilização do enfoque CTS pelos professores de Ciências/Física da EJA. Dos 15 professores entrevistados, 7 nunca ouviram falar sobre a abordagem e apenas 3 afirmam que já utilizaram o enfoque CTS. No que se refere aos professores que já utilizaram a metodologia na EJA, nenhum deles direcionaram as relações CTS ao ensino de Cinemática, pois consideram a temática difícil de ser trabalhada, devido ao formalismo matemático, característico do tema apresentado.

O formalismo matemático é considerado, por maior parte dos professores entrevistados, como a “pedra no sapato” do ensino de Ciências/Física, de modo a não o utilizarem nas aulas de Ciências/Física, devido à dificuldade apresentada pelos estudantes. Dessa forma, atuam mais no campo conceitual da fenomenologia do ensino de Ciências/Física, apresentando de forma reduzida ou simplificada o que é trabalhado no ensino regular.

A redução do ensino de Ciências/Física é justificada pelos professores, devido à falta de formação específica durante a graduação e por não terem material específico para nortear o trabalho pedagógico em suas aulas. Desse modo, os professores acabam utilizando o mesmo material do ensino regular na EJA de forma simplificada. No entanto, essas dificuldades podem ser contornadas por meio da formação continuada, a depender da disponibilidade e interesse do professor.

Vale ressaltar que a simplificação ou redução dos conteúdos de Ciências/Física na EJA é resultado também de uma visão preconceituosa e distorcida do público-alvo por parte de alguns professores. Tais profissionais acreditam que os estudantes/trabalhadores da EJA são “inferiores”, intelectualmente aos estudantes que frequentam o ensino regular, devido a não estarem na idade adequada ou pela disponibilidade de tempo, que, em muitos casos, são diferenciados por conta do trabalho ou de alguma atividade exercida.

A redução ou simplificação do ensino de Ciências/Física não é a solução para as dificuldades enfrentadas pelos professores da EJA, pelo contrário, em vez disso, “Por que não um olhar mais ampliado e diferenciado para esses estudantes/trabalhadores/populares?”.

Deve-se, então, buscar métodos e estratégias que envolvam os mais amplos espaços de formação desse público alvo tão diversificado que compõe a EJA, relacionando o ensino de Ciências/Física à indústria, à mecânica, aos afazeres domésticos, às finanças, ao empreendedorismo, entre outros.

Em seguida, buscamos analisar a forma com que esses professores utilizaram o enfoque CTS em suas aulas. Eles responderam que apresentaram por meio das seguintes temáticas: a utilização de medicamentos genéricos e similares, o consumo de energia elétrica e a evolução das máquinas térmicas. Para o desenvolvimento das temáticas em sala de aula, os docentes utilizam vídeos, livro didático e demonstrativos contidos na conta de energia elétrica. No entanto, não utilizam de uma sistematização metodológica, como, por exemplo, a apresentada por Santos (1992), partindo de um tema social, desenvolvendo os conteúdos relacionados à temática apresentada e, por fim, retomando o tema apresentado inicialmente.

Desse modo, avaliamos que os professores realizaram apenas uma contextualização para introdução de conteúdo de Ciências/Física. Esse fato confirma nossa hipótese ao afirmar inicialmente

- por meio de pesquisas realizadas - que os professores não utilizam as relações entre CTS e o ensino de Ciências/Física, especificamente o ensino de Cinemática.

Por fim, seguimos esperançosos, acreditando que a educação é o passaporte para o futuro e que nunca é tarde para (re)começar. Nossos jovens, adultos e idosos podem bem mais do que imaginam, basta apenas acreditar. Para isso, são necessárias políticas educacionais de valorização dos professores e melhoria do ensino, para que os estudantes tenham acesso a uma educação que realmente dê conta das suas potencialidades.

Que possamos - como professores e professoras desse Brasil de tantas lutas e resistências - ser combustíveis impulsionadores para o progresso desses trabalhadores oriundos das classes populares.

9 Referências

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **O Ensino de ciências e a educação básica**: propostas para superar a crise. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2007.

ANDRÉ, M. E. D. A. de. Texto, contexto e significados: algumas questões na análise de dados qualitativos. **Caderno Pesquisa**, São Paulo, p. 66-71, maio 1983.

ARROYO, M.. Formar educadoras e educadores de jovens e adultos. *In*: ARROYO, M. **Formação de educadores de jovens e adultos**. Belo Horizonte: Autêntica, p. 17-32, 2006.

AULER, D. **Cuidado! Um cavalo viciado tende a voltar para o mesmo lugar**. Curitiba: Appris, 2018.

AULER, D. Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: Pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência e Ensino**, São Paulo, vol. 1, nov. 2007.

AULER, D. **Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no contexto da formação de professores de ciências.** 2002.

Tese (Doutorado em Educação), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS-A no contexto educacional brasileiro. **Ciência e Educação**, Baruaru, vol. 7, n. 1, p. 1-13, 2001.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Educação CTS: Articulação entre pressupostos do educador Paulo Freire e referenciais ligados ao movimento CTS. **Eureka**, Cádiz, p. 1-7, 2006a.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Ciência-Tecnologia-Sociedade: Relações estabelecidas por professores de ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, vol. 5, n. 2, p. 337-355, 2006b.

AULER, D. et al. Abordagem Temática: natureza dos temas em Freire e no enfoque CTS. **Alexandria**, Florianópolis, vol.2, n. 1, p. 67-84, mar. 2009.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.** Brasília: MEC, 2005.

BRASIL. Ministério da Educação. **Proposta Curricular para a Educação de Jovens e Adultos: Ciências Naturais.** Brasília: ME, 2002.

PIRES, C. M. C.; CONDEIXA, M. C.; NÓBREGA, M. J. M.; MELLO, P. E. D. Por uma proposta Curricular para o 2º Segmento da EJA. *In*: MARFAN, M. A. (org). **Congresso Brasileiro de Qualidade na educação: Formação de professores.** Brasília: MEC, SEF, 2002, p. 299-306.

FALEIRO, W.; PIMENTA, M. R. Pontos e contra pontos na atuação de professores leigos em Ciências da Natureza em Urutai-GO. **Revista Eletrônica de Ciências da Educação**, Campo Largo, vol. 17, n. 1, nov. 2018.

FIGUEIRÊDO, A. M. T. A.; SILVA JÚNIOR, C. A.; SALES, F. R. P.; SOUZA, N. S. Os desafios no ensino de ciências nas turmas de jovens e adultos na área de química. **Inter-ação**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 214-232, jan/abr 2017.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 50. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LAMBACH, M. **Formação permanente de professores de química da EJA na perspectiva dialógico-problematizadora Freireana**. 2013. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnologia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

LARIUCCI, C.; NAPOLITANO, H. B. Alternativa para o ensino da cinemática. **Inter-ação**, Goiânia, v. 26, n. 2, p. 119-129, 31 ago. 2007.

LOPES, S. P.; SOUSA, L. S. EJA: uma educação possível ou mera utopia?, **Alfabetização Solidária**, São Paulo, 2005.

MENEZES, P.; VICENTE, C.; WILLIAN, J. A física no parque de diversão. *In*: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. **Anais**, Rio de Janeiro, 2005.

MERAZZI, D. W. **A contribuição das atividades práticas em Ciências na Educação de Jovens e Adultos no ensino fundamental**: a percepção de educandos e licenciandos dos cursos de Ciências. 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2008.

MOURA, T. M. de M. Formação de educadores de jovens e adultos: realidade, desafios e perspectivas atuais. **Práxis Educacional**, Vitória da Conquista, v. 5, n. 7, p. 45-72, jul./dez. 2009.

MORTIMER, E. F.; SANTOS, W. L. P. dos. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio**, Belo Horizonte, vol. 2, n. 2, p. 110-132, dez. 2002.

PAIVA, J. Formação docente para a educação de jovens e adultos: o papel das redes no aprendizado ao longo da vida. **Revista da FAEBA - Educação e Contemporaneidade**, Salvador, v. 21, n. 37, p. 83-96, 2012.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, vol. 19, n. 1, p. 89-109, ago. 2002.

SILVA, R. G. da; SILVEIRA, A. F. da. Utilizando abordagens diferenciadas para o ensino de física: o relato de uma proposta sobre astronomia. *In*: V Encontro de Iniciação à Docência. **Anais**, Campina Grande, 2015.

SANTOS, W. L. P. dos. **O ensino de química para formar o cidadão**: principais características na escola secundária brasileira. 1992. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

SOARES, L. Do direito à educação à formação do educador de jovens e adultos. *In*: GIOVANETTI, Maria Amélia Gomes de Castro; GOMES, Nilma Lino; SOARES, L. **Dialógos na educação de jovens e adultos**. 2. ed. Belo Horizonte: Autêntica, p. 273-287, 2007.

VILANOVA, R.; MARTINS, I. Educação em ciências e educação de jovens e adultos: pela necessidade do diálogo entre campos e práticas. **Ciência e Educação**, Baruaru. V 14, n 2, p. 331-346, 2008.



SOBRE OS AUTORES

ALESSANDRO FREDERICO DA SILVEIRA

Possui graduação em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (1997), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2001) e é Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências, pelo Programa DINTER (UFBA-UEFS-UEPB). Atualmente é Professor Doutor da Universidade Estadual da Paraíba, coordena o Subprojeto de Física do PIBID da UEPB e é docente do PPGECM-UEPB. Tem experiência na área de Física, atuando principalmente nos seguintes temas: Ensino de Física e Divulgação da Ciência.

ALEXANDRE CAMPOS

Possui experiência na formação de professores de física. Foi professor de física por quase 20 anos na rede pública do Estado de São Paulo, foi bolsista Fapesp no Lapef/USP na elaboração e implementação de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea em contexto real de sala de aula. Atuou como formador de professores em cursos sobre inovação curricular. Foi

monitor de Estágios na FEUSP, atuando, principalmente, na Escola de Aplicação (USP). Atualmente é professor de Ensino de Física na Unidade Acadêmica de Física da Universidade Federal de Campina Grande, onde também atua como coordenador do PIBID e orientador de Estágios. Além disso, tem se dedicado a investigar aspectos da Didática das Ciências Francesas, em especial, a Teoria da Transposição Didática, a Teoria Antropológica do Didático e a Teoria dos Campos Conceituais. É credenciado no Programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física na Universidade Estadual da Paraíba.

ALEXSANDRO DE ALMEIDA BARROS

Tem experiência na área de Física, com ênfase em Ensino de Física, Ciências e matemática; Pós graduado em ensino de ciências e educação matemática PPGECM (UEPB-2019); Ministrou aulas particulares de Física em Campina Grande e na rede estadual de ensino desde 2018; Graduado em Licenciatura Plena em Física (UEPB-2016); Aluno-pesquisador do Programa de Iniciação Científica CNPQ (Mecânica Newtoniana Modificada), 2014/2015; Bolsista de Projeto de Extensão em ensino (PROAFE-CG) da UEPB, 2015/2016; Bolsista do Programa monitoria UEPB (Laboratório de Física Geral II), 2014/2015; Aluno - pesquisador do Programa de Iniciação Científica CAPES/UEPB (Ensino de física), 2012/2013; Bolsista do Programa de Monitoria em Física - UEPB (Física Geral I), 2011/2012.

ANA RAQUEL PEREIRA DE ATAÍDE

Possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (1994), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2002) e Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências pelas Universidades Federal da Bahia e Estadual de Feira de Santana (2012). Atualmente é professora Doutora Associada B da Universidade

Estadual da Paraíba; coordena o subprojeto de Física da Residência Pedagógica Capes / UEPB - Campus I. Tem experiência nas áreas de Ensino e Pesquisa em Física, atuando atualmente nos seguintes temas: Cognição e Ensino de Física, Resolução de Problemas no Ensino de Física, Formação de professores e Metodologias para o Ensino de Ciências. É líder do Grupo de Estudos e Pesquisa em Ensino de Física (GEPEF), da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

ANNA JULYA SANTOS DE OLIVEIRA

Graduada no curso de Licenciatura em Física pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Foi bolsista (CAPES) vinculado ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência - PIBID, atuando na Educação de Jovens e Adultos - EJA e nas turmas regulares (2018 - 2019). Também foi bolsista de Iniciação Científica - PIBIC (2019, 2020, 2021, 2022) trabalhando em pesquisas que investigam a natureza dos conceitos científicos, em particular o conceito de energia, dentro das seguintes dimensões: histórica, filosófica e didática. Atualmente segue realizando mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), atuando na área de Ensino de Física e, especificamente, com temáticas voltadas à História e Filosofia da Ciência (HFC).

DIEGO LOPES BEZERRA

Licenciado em Física pela UFPE-CAA (2018) e Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática pela UEPB (2022), na Linha de Pesquisa em História, Filosofia e Sociologia da Ciência. Atualmente, professor EBTT do IFPE-Caruaru.

ELIANE PEREIRA ALVES

Professora de Física na Escola SESI, doutoranda em Ensino de Ciências e Educação Matemática pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática pela UEPB, e graduada em Licenciatura em Física pela UEPB. É pesquisadora do Grupo de Estudos e Pesquisa em Ensino de Física (GEPEF) da UEPB. Administradora do Instagram @estudemfísica, elaborado no ano de 2020 durante o isolamento social devido a COVID-19, em que objetiva democratizar o Ensino de Física para estudantes do Ensino Médio. Participou do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação a Docência (PIBID) de 2014 à 2017.

FRANCISCO DANIEL DE PONTES SILVA

Doutorando em Educação em Ciências e Matemática no Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Goiás (PPGECM/UFG), pesquisando na linha de pesquisa Educação em Ciências e Matemática e Meio Ambiente, no eixo Filosofia, História e Sociologia da Ciência no Ensino de Ciências e Matemática. Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática (2021) pelo Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM/UEPB), localizado no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT/Campus I), tendo pesquisado na linha de História, Filosofia e Sociologia das Ciências e da Matemática. Licenciado em Física (2017) pela Universidade Estadual da Paraíba-UEPB/Campus VIII/Araruna. Atua, principalmente, nos temas: Ensino de Física; História e Filosofia da Ciência; Pseudo-história; Pseudociência; História da Física; História da Mecânica Clássica; e História da Mecânica Quântica.

GILDEVAN OLIVEIRA SILVA

Graduado em licenciatura em Física pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - PB. Participou do projeto: "A produção da Luz: Espectros Contínuos e Espectros Discretos" por 2 anos, com intuito de inserir a Física Moderna e Contemporânea (FCM) no ciclo do Fundamental 1. Também participou do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação a Docência (PIBID) por um período de 18 meses. Participou do Programa de Residência Pedagógica por 12 meses junto a turma da Educação de Jovens e Adultos (EJA) da escola ECI Dep. Álvaro Gaudêncio de Queiroz. Atualmente atua como professor substituto do campus VII da Universidade Estadual da Paraíba.

JANAÍNA GUEDES DA SILVA

Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática pelo programa de Pós-Graduação (PPGCEM) da UEPB. Possui Licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba-UEPB. Professora no departamento de Física da UEPB (campus I). Foi aluna do Programa Institucional de Bolsas e Iniciação à Docência-PIBID/UEPB (2015 a 2016). Trabalhou como professora de Física na Rede Estadual de Ensino-PB (2011 a 2016) em turmas regulares e de EJA. Lecionou Matemática nas séries finais do ensino fundamental na rede pública Municipal no ano de 2017. Lecionou Ciências nas séries finais do ensino fundamental (2019 e 2020). Possui trabalhos publicados na área de Metodologia de Ensino com ênfase no ensino de Física. Participa no grupo de pesquisa GEPEF (Grupo de Estudos e Pesquisas em Ensino de Física) e pesquisa sobre Metodologias Ativas de ensino, com destaque na Sala de Aula Invertida (SAI) e na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP/PBL).

JENNER BARRETTO BASTOS FILHO

Tem Bacharelado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1971), Mestrado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (1975), doutorado em Física pela Escola Politécnica Federal de Zürich -ETH Zürich- (1982) e um estágio Pós-doutoral na Universidade de Bari (1993). Tem experiência nas áreas de Física Geral, Fundamentos da Física Quântica, Ensino de Física, História e Filosofia da Ciência, Educação Ambiental e Teorias do Desenvolvimento. Foi Membro do Comitê de Ética em Pesquisa e Bioética da UFAL. Membro do Corpo Editorial do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, de Investigações em Ensino de Ciências, da Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais e do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFAL). Publicou os livros *O que é uma Teoria Científica?* (1a. ed. 1998; 2a. ed. 1999) e *Reduccionismo: Uma Abordagem Epistemológica* (2005), ambos pela Editora da Universidade Federal de Alagoas (EDUFAL). Organizou em colaboração com colegas outros dois livros. Ministrou de 1997 a 2007 a disciplina *Lógica e Crítica da Investigação Científica* no PRODEMA/UFAL. Tem capítulos escritos em livros publicados no Brasil, Itália, Estados Unidos, Canadá e Holanda. Recebeu em 2006 a Medalha do Mérito Universitário UFAL 45 anos. É Membro Correspondente da Academia Paraense de Ciências. Atualmente é Professor titular aposentado junto ao Instituto de Física da UFAL e Professor Emérito da Universidade Federal de Alagoas.

MARCELO GOMES DOS SANTOS

Possui graduação em Licenciatura Plena Em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (2018), e mestrado pelo programa de Pós-graduação de Ensino de Ciências e Educação Matemática. Tem ênfase na área de Ensino Física e Ensino de Ciências. Faz parte do grupo de História da Ciência e Ensino

(GHCEN), e do Grupo de Estudos e Pesquisa em Ensino de Física (GEPEF), ambos da Universidade Estadual da Paraíba.

MARCOS ANTONIO BARROS

Possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (1985), Especialização em Ensino das Ciências (UEPB - 1992), Mestrado em Ensino das Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2006) e Doutorado em História, Filosofia e Ensino de Ciências pela UFBA. Professor Associado do Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba, onde leciona algumas disciplinas como: Física Geral, Física Moderna, Física-Matemática, Mecânica Quântica e História da Física. Professor efetivo do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGCEM-UEPB) e da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN), à nível de Mestrado e Doutorado. Autor e organizador de alguns livros, além de capítulos de livro.

MARIA AMELIA MONTEIRO

Possui graduação Licenciatura em Ciências (Habilitação em Física) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1991), mestrado em Ensino nas Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2000) e doutorado em Educação Para a Ciência pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2010). Atualmente é docente da FACET/UFMGD. Tem experiência na área de Ensino de Ciências, com ênfase em formação de professores, história e filosofia da ciência e da tecnologia e linguagem.

MARIA REJANE DA SILVA FARIAS

Doutoranda no programa de Pós-graduação, Contextos Contemporâneos e Demandas Populares da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro RJ (2021). Mestre em Ensino

de Ciências e Educação Matemática, na linha de pesquisa em História e Filosofia da Ciência, pela UEPB (2018). Possui Pós-Graduação em Fundamentos da Educação: Práticas Pedagógicas Interdisciplinares pela UEPB (2014 Graduação em Ciências Exatas, Licenciatura Plena em Física pela UEPB (2010). Faz parte da equipe do curso de formação Gira Mundo Israel, realizado em Israel (2019) em parceria com o Governo da Paraíba. Professora da Educação Básica atuando como docente desde 2006. Educadora da Cidade de Tuparetama PE e do Estado da Paraíba, educadora também do ensino Superior na Faculdade Vale do Pajeú - FVP (2020) Possui experiência como docente de Física, Química, Matemática, Direitos Humanos, Gênero na Educação, Educação Infantil, Ensino Fundamental. Premiada com os projetos Mestre da Educação do estado da Paraíba por 4 anos. Professora substituta da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB campus Patos, Atuando no Curso de licenciatura em Física, nas áreas de pesquisa, ensino e extensão.

MICHAEL PATRICK COSTA DE LUCENA

Possui graduação em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e mestrado em Ensino de Física pela Universidade Federal de Alagoas (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Sociedade Brasileira de Física).

SARA COSTA MENDONÇA

Licenciada em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Possui experiência na área de Química, com ênfase em Licenciatura em Química. Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM-UEPB), com ênfase na linha de pesquisa em Metodologia, Didática e Formação de Professor. Em 2022, recebeu uma premiação de pesquisadora destaque CONAPESC.

UBIRATAN LEAL DE OLIVEIRA

Possui graduação em Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (2012). Especialista em fundamentos da educação: Práticas Pedagógicas Interdisciplinares pela Universidade Estadual da Paraíba. Atualmente é professor - Secretaria de Educação do Estado da Paraíba. Mestre em Ensino de Química pela Universidade Estadual da Paraíba, no Programa Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Sobre o livro

Revisão Linguística Diana Guimarães

Foto da Capa Isabela Almeida

Capa, Projeto Gráfico e Editoração Jéfferson Ricardo Lima Araujo Nunes

Tipologias Utilizadas Myriad Pro 16/18pt
Adobe Caslon Pro 12/14pt

O sexto volume da Coleção Caruá apresenta relatos e análises de diferentes experiências no Ensino de Ciências, formado por onze artigos científicos, privilegiando a abordagem dos diferentes conteúdos, agrupados em dois eixos norteadores: Ensino, História, Filosofia e Sociologia das Ciências e Formação Docente em Ensino de Ciências.

A partir dos trabalhos aqui relacionados e inseridos aos eixos temáticos citados, frutos de pesquisas inovadoras, o leitor certamente será conduzido às orientações e diretrizes curriculares atuais que sinalizam fortemente para as suas inserções nos ensinos básico e superior, servindo de subsídios a professores dos diferentes níveis.

Esperamos que esse volume, que contou com a participação de alunos e professores, pertencentes a diferentes Programas, contribua para a formação inicial e continuada de professores, além de nortear para a construção e transformação dos pressupostos teórico-metodológicos presentes na interface entre História, Filosofia e Ensino de Ciências.

Volumes já publicados da Coleção Caruá:

- Volume 1.** Itinerários de Pesquisas em Ensino de Ciências e Educação Matemática
- Volume 2.** Práticas Educativas como Itinerários de Pesquisas em Ensino de Ciências e Educação Matemática
- Volume 3.** O Olho do Mestre: Dez Livros-Textos Históricos
- Volume 4.** Educação Matemática e Ensino de Ciências: trajetórias e desdobramentos de grupos de pesquisa da Região Nordeste
- Volume 5.** Pitágoras, Euler, Hutton e Amigos: Ensaio sobre a História da Matemática

ISBN 978-65-87171-64-7



 **eduepb**