

## **AS DISPUTAS ACERCA DA NATUREZA DA LUZ: O USO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA**

**(Disputes about the nature of light: the use of history and philosophy of science for meaningful learning in physics teaching)**

**Jacson Santos Azevedo** [jacsonsantosazevedo@gmail.com]

Aluno do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - PROFIS

**Francisco Nairon Monteiro Júnior** [naironjr67@gmail.com]

Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física - PROFIS

Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos – CEP: 52171-900 – Recife/PE

### **Resumo**

A história do conceito de luz é recheada de reviravoltas, de idas e vindas, e até da intrincada dualidade sobre sua natureza. Atualmente, os cientistas com seus modelos teóricos explicativos e também subsidiados pela experimentação mantêm a concepção dual da luz. Por conseguinte, este artigo buscou se centrar, por meio de fontes secundárias e primárias, traduzidas e comentadas, na disputa travada entre os modelos luz-onda e luz-partícula em um período entre o século XVII e o século XX, mas que inclui também recortes da história da luz como a contribuição dos gregos antigos, dos árabes na Idade Média e sobre a velocidade de propagação da luz ser finita ou infinita. Também acompanham este artigo duas atividades investigativas geminadas que se fundamentam no ensino de Física por investigação, na modalidade História e Filosofia da Ciência (HFC), como estratégia didática problematizadora na aprendizagem significativa da concepção da luz.

**Palavras-chave:** História e Filosofia da Ciência; Ensino de Física; Atividades investigativas; Aprendizagem significativa; Luz.

### **Abstract**

The story of the concept of light is filled with twists, comings and goings, and even the intricate duality about its nature. Currently, scientists with their explanatory theoretical models and also subsidized by experimentation maintain the dual conception of light. Therefore, this article sought to focus, through secondary and primary sources, translated and commented, on the dispute between the light-wave and light-particle models in a period between the seventeenth century and the twentieth century, but which also includes clippings of the history of light as the contribution of the ancient greeks, the arabs in the Middle Ages and on the speed of propagation of light being finite or infinite. This article also follows two twinned investigative activities based on physics teaching by research, in the modality History and Philosophy of Science (HPS), as a problematizing didactic strategy in the significant learning of the conception of light.

**Keywords:** History and Philosophy of Science; Physics Teaching; Investigative activities; Meaningful learning; Light.

## Introdução

A HFC abriram muitas possibilidades de ensino e aprendizagem envolvendo tópicos das Ciências Naturais e, em particular, da Física. Martins (2007) aponta a importância do tratamento histórico-filosófico de temas do ensino médio que podem ser explorados como recurso didático pelos professores de ciências (Raicik, 2019; Ortega & Moura, 2020). A metodologia adotada pelo autor, com o uso de um questionário, era, fundamentalmente, através de um estudo com três grupos de sujeitos, levantar uma reflexão em torno das limitações que os docentes tinham (e possivelmente ainda têm) em relação à aplicabilidade da HFC nas salas de aulas e também contribuir com algumas reflexões que essa temática trazia concernentes a atualizações dos cursos de licenciaturas em Física. Em linhas gerais, segundo o autor, a amostra estudada valorizava HFC como um mecanismo didático, porém não fazia uso dessa ferramenta em sua prática docente uma vez que não é trivial realizar essa transposição para o ensino médio. Além disso, outra consideração crucial, de acordo com o autor, é que não basta somente conhecer a HFC, mas é preciso preparar os estudantes das licenciaturas a criar estratégias de ensino e aprendizagem para encaixar suas abordagens, envolvendo HFC e Física, com um caráter mais pedagógico e planejado.

Ainda trazendo à tona a importância da HFC para a prática docente e a formação de professores de Física, Silva & Cyrineu (2018) fazem uma revisão bibliográfica da abordagem da HFC e tópicos de Física nos dois principais periódicos de ensino de Física do Brasil, como: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e o Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF). Segundas as autoras, a ideia é apresentar uma história da ciência menos linear, ufanista e biográfica, invertendo essa perspectiva no sentido de discutir uma história com requintes de desconstrução de uma ciência sem conflitos e contradições, uma ciência forjada pela disputa de conceitos e concepções. A metodologia adotada pelas pesquisadoras incluía uma busca nas revistas supracitadas de trabalhos que envolvessem a linha HFC. Alguns dos assuntos do ensino médio que dialogavam com a temática histórico-filosófica eram, por exemplo, Mecânica, Sistema de Unidades, Campos Elétrico e Magnético, Astronomia e Física Moderna. Em suas considerações finais, Silva & Cyrineu (2018) reivindicam a necessidade da ampliação do número de artigos e publicações com uma maior diversidade de tópicos de Física no ensino médio a serem trabalhados em sintonia com a HFC.

O ensino-aprendizagem de futuros professores de Matemática não foge da lógica e das oportunidades que a história da ciência oferece, dentre outras coisas, da comunicação com as Ciências Naturais, como sugerem Morey & Mendes (2012). Estas autoras defendem uma fundamentação histórica e social do professor de Matemática que, simultaneamente, forneça subsídios didáticos e metodológicos ao docente e também o familiarize com o conhecimento matemático historicamente construído, permitindo, assim, uma maior compreensão, por exemplo, das dificuldades enfrentadas pelo educando na apropriação de conceitos e definições em tópicos da educação básica. O método empregado pelas autoras junto a estudantes da licenciatura em Matemática foi dividido em seis etapas que incluía um levantamento histórico do estudo da trigonometria e noções básicas de Astronomia. De modo geral, se resumia a um estudo do revolucionário livro de Nicolau Copérnico (1473-1543), que, basicamente, desmoronou a concepção geocêntrica do Cosmos. Ao fim da pesquisa foi constatado que os estudantes apresentaram um maior interesse de interação com outras áreas do conhecimento, neste caso, com a Astronomia, e sua conexão com a Matemática, além de criar novos saberes pedagógicos e culturais que pudessem recheiar futuras intervenções na sala de aula.

Quanto à discussão sobre a Natureza da Ciência (NC) e sua implicação como recurso didático nos espaços de ensino, Santos (2018) relata uma experiência bem sucedida com estudantes de uma escola pública federal, centrada na cientista Marie Curie (1867-1934), por meio da história da ciência com vistas a entender o funcionamento da ciência. Com o uso da estratégia de júri simulado, a autora explorou alguns aspectos da vida e obra de Marie Curie e os acontecimentos que cercaram essa personagem em torno do recebimento do Prêmio Nobel de 1911, pela contribuição na descoberta dos elementos químicos Rádio (Ra) e Polônio (Po), e a provisoriedade do modelo atômico (Strathern, 2000). A turma foi dividida para a formação do júri e o objetivo central foi avaliar se a vida profissional da cientista foi, ou não, influenciada pela sua vida pessoal a partir da leitura de um texto adaptado com detalhes da vida de Curie, da sua produção acadêmica, dentre outros, e que dialogava com um debate interessante envolvendo o machismo no meio científico na época dela. Avaliando as falas e a escrita dos estudantes, à luz da perspectiva da NC na educação básica e com a utilização da história da ciência, Santos (2018) concluiu que os educandos fortaleceram sua formação científica com traços de uma aquisição crítica e reflexiva a respeito da construção científica como, a título de exemplo, no entendimento do modelo atômico de Ernest Rutherford (1871-1937).

O desenvolvimento da história da ciência e sua importância na formação de estudantes e professores de qualquer nível de escolaridade são amplamente defendidos por Bassalo (1992). Percorrendo um caminho que remete aos estudos dos antigos gregos como Menon, citando os enciclopedistas franceses como Diderot (1713-1784), o pioneirismo de Koyré (1892-1964), a contribuição de Kuhn (1922-1996), o início da institucionalização da história da ciência enquanto disciplina nas instituições de ensino superior na Europa e EUA, até seus primórdios no Brasil, o autor mostra o lado humano de grandes nomes da ciência citando, por exemplo, a recusa de Tesla (1856-1943) em compartilhar o Nobel de 1912 com Edison (1847-1931) ou mesmo a rejeição de Pierre Curie (1859-1906) de uma condecoração do governo francês, uma vez que a prioridade para o físico francês era um maior investimento em seu laboratório para continuar suas pesquisas.

Outro ponto que merece destaque é a versão positivista da história da ciência que é alimentada pelos livros didáticos nos quais, em geral, a ciência é linear, dogmática e sem denotar retrocessos (Monteiro Jr & Medeiros, 1998; Baldow & Monteiro Jr, 2010; Monteiro Jr & Carvalho, 2011; Nunes & Queirós, 2020; Ortega & Moura, 2020). O autor descreve como contraexemplo dessa noção de ciência positivista a catástrofe do ultravioleta que culminou na elaboração da teoria quântica de Planck (1858-1947) e a teoria da relatividade restrita de Einstein (1879-1955) que demorou para ser aceita na comunidade científica a tal ponto que sua nomeação ao Nobel de 1921 se deu pela explicação do efeito fotoelétrico, e não pela relatividade e seu princípio da equivalência massa-energia, por exemplo. Entre suas conclusões, o autor incentiva a publicação de livros textos na área de ciências que venham acompanhados de uma introdução histórica dos conteúdos e com citações de pesquisadores locais, além de propor uma discussão de ciência e sociedade entrelaçadas, uma impulsionando a outra.

Baldow & Monteiro Jr (2010) defendem a importância da história da ciência como estratégia motivacional e construtora de uma visão crítica dos estudantes para o estudo mais abrangente e contextualizado da Termodinâmica. A metodologia de pesquisa adotada pelos autores baseou-se na análise de cinco livros textos bem presentes nos espaços escolares no ensino de Física, tentando encontrar estatutos históricos consistentes e não ilustrativos. Algumas categorias elencadas, em um estudo de máquinas térmicas, incluía a ênfase no período da Revolução Industrial, na concepção de

calórico teorizada por Joseph Black (1728-1797), na menção a personagens e experimentos importantes como a máquina de Newcomen, a perfuração de canhões de Rumford (1753-1814) ou a contribuição do físico francês Papin (1647-1712), entre outras categorias. Os resultados apontados pelos autores demonstraram distorções históricas e conceituais nos livros analisados e omissões de experimentos, personagens e contextos, instituindo deformações epistemológicas no desenvolvimento da Termodinâmica que acaba por minar a interdisciplinaridade entre a Física e a História.

Este breve levantamento de trabalhos de pesquisa e experiências envolvendo HFC como recurso metodológico no ensino e aprendizagem de Ciências pretende situar o professor ou a professora de Física para a relevância de tais recursos instrucionais, contextual e problematizador, a ser implantado nas salas de aula. Realmente, o uso de textos históricos em aulas de Física é uma categoria investigativa que compõe o acervo da metodologia ativa adotada por nós, conforme veremos mais adiante. Pensando em inserir nossa pesquisa na categoria de investigação mencionada, almejamos, fundamentados na HFC, explicar e compreender a rivalidade de concepções que acompanharam evolução do conceito luz como um processo erguido e debatido ao longo dos séculos, se concentrando entre os séculos XVII e nas primeiras décadas do século XX, embora tal perspectiva histórica não seja consensual por parte de alguns especialistas que consideram tais “rivalidades” ou “disputas” superestimadas, ultrapassadas e reducionistas quando se considera o enredo que envolveu o desenvolvimento dos modelos luz-partícula e luz-onda, muito além da polarização Newton versus Huygens, segundo Martins e Silva (2015, pp. 25-26), Moura (2016a; 2016b) e Ortega e Moura (2020). Dito isto, antes de pormenorizar tais rivalidades, vamos trazer à tona aspectos relevantes e informativos ligados ao conceito de luz em uma perspectiva histórica na tentativa de posicionar o leitor nas prováveis primeiras explicações de alguns fenômenos ligados a luz tais como sua velocidade de propagação e a visão de objetos.

### **A luz em uma perspectiva histórica**

A ressignificação do conceito de luz na história da ciência, bem como de seus princípios e de sua natureza, envolveu debates, controvérsias e posições diversas. Conforme Bassalo (1986) e Forato (2009), desde nossos ancestrais da Idade da Pedra, com o controle do fogo, para além da alimentação, dominar a luz significava permitir a realização de atividades noturnas e era uma questão de sobrevivência.

Segundos os autores, Empédocles (493-430 a. C.) explicava a visão de objetos por meio de feixes visuais emitidos pelo olho na interação com os objetos. Aristóteles (384-322 a. C.) afirmava que o meio, que separava o objeto do observador, transmitia a informação do objeto para o observador, ou seja, o meio era crucial no entendimento da visão (Martins & Silva, 2015). Euclides (360-295 a. C.), por sua vez, deu um tratamento mais matemático para os raios de luz considerando os segmentos de reta e, ainda no contexto da antiguidade clássica da Grécia, Platão (428-347 a. C.) acreditava que o olho emitia um fogo, em forma de luz suave, que permitiria a visão de objetos. Essa relação entre fogo e luz, na perspectiva de Platão, já era debatida pelos pré-socráticos.

Trazendo a contribuição do mundo árabe para essa discussão, o físico árabe Alhazen, ou Ali-Hasan Ibn Al-Haytham (965-1040), foi responsável por construir um protótipo de câmara escura que era utilizada para fazer a observações de eclipses (Martins & Silva, 2015). Alhazen teve seus trabalhos

no campo da óptica muito apreciados pelos estudiosos do Ocidente, pois sua obra, denominada “Kitab al-Manazir” (O Tesouro da Ótica), além de questionar a concepção clássica da visão apresentada pelos gregos, era considerada sucessora do “Almagesto” de Ptolomeu (90-168) pelo tratamento sofisticado por ele dado ao tema. Bassalo (1986) atribui a Alhazen a façanha de explicar corretamente a visão de objetos quando estes refletem os raios de luz vindos de alguma fonte luminosa, e também por descobrir as aberrações de esfericidade quando raios de luz paralelos incidem sobre espelhos esféricos sem a definição de um foco. Forato (2009) ainda menciona as contribuições da ciência islâmica de Al-Kindi (805-873) e Al-Farisi (1260-1320) no estudo da óptica. Este último, segundo Martins e Silva (2015, p. 4), desenvolveu um experimento para explicar o surgimento do arco-íris por meio de uma esfera de vidro com água, provavelmente pretendendo simular as gotículas de água responsáveis pelas reflexões e refrações da luz.

Entretanto, um debate central ocupou o estudo da óptica entre o século V a.C. e o século XIX de nossa era: a velocidade de propagação da luz seria finita ou infinita? Algumas contribuições para esse debate, segundo Forato (2009), vieram do já mencionado Empédocles que defendia que a luz tinha uma velocidade finita, sendo um contraponto à posição dominante entre os pensadores gregos da época, como, por exemplo, de Aristóteles, que era defensor da propagação instantânea da luz, ou seja, a luz teria velocidade infinita. Para Pliny de Elder (23-79), pensador greco-romano, a luz tinha uma velocidade de propagação superior à do som. Alhazen, assim como, Avicena (980-1037), também filósofo árabe, defendiam que a velocidade da luz era finita (Bassalo, 1986). Por outro lado, Descartes (1596-1650), físico e matemático francês, e Kepler (1571-1630), físico, astrônomo e matemático alemão, acreditavam que a velocidade da luz era infinita (Pietrocola, 1993b; Forato, 2009; Martins & Silva, 2015; Ortega & Moura, 2020).

Algumas tentativas para determinar a velocidade da luz foram historicamente registradas. Galileu Galilei (1564-1642), físico, astrônomo e matemático italiano, realizou uma experiência na tentativa de encontrar um valor para a velocidade da luz, mas não foi bem sucedido, não chegando a um resultado quantitativo. O astrônomo James Bradley (1643-1762), a partir do estudo de aberrações estelares e ancorado no modelo luz-partícula de Newton (Pietrocola, 1993a; Polito, 2016), também concluiu que a velocidade da luz era finita. Contudo, Ole Römer (1644-1710), astrônomo dinamarquês, determinou um resultado muito interessante para a velocidade da luz, mostrando que de fato era finita. Para tal, explorou a periodicidade dos eclipses de Io, satélite natural de Júpiter. Römer encontrou um valor aproximado de 220.000 km/s. Ainda na busca de um valor mais exato e confiável para a velocidade de propagação da luz, alguns físicos fizeram uso de sistemas mecânicos. A título de exemplo, Louis Fizeau (1819-1896), utilizando com espelhos e uma roda dentada, encontrou uma velocidade para propagação da luz de 315.000.000 m/s. Fazendo algumas adaptações no aparato de Fizeau, o físico Leon Foucault (1819-1868) obteve 298.000.000 m/s e Alfred Cornu (1841-1902), físico francês, encontrou 295.000 km/s. O físico Albert Michelson (1852-1931), realizando aprimoramentos no aparato de Foucault, conseguiu aumentar a precisão de medida da velocidade da luz para 299.853.000 m/s. Atualmente, o valor aceito para a velocidade da luz, tomando como referência o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA, é de 299.792.458 m/s (Bassalo, 1987; 1989; Pietrocola, 1993b).

Encerradas as controvérsias em torno da velocidade da luz, o cenário era favorável à teoria ondulatória (Bassalo, 1989). A próxima seção do presente artigo discorre sobre as rivalidades em

torno da natureza da luz, isto é, o que seria a luz, sua constituição ou composição, em um âmbito histórico e filosófico que inclui as disputas dos modelos luz-partícula e luz-onda.

### **A natureza da luz em disputa: partícula ou onda?**

O modelo luz-partícula proposto por Isaac Newton (1643-1727), inspirado nos trabalhos de Pierre Gassendi (1592-1655), Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke (1635-1703), dentre outros, de acordo com Forato (2009), levava a crer tacitamente que a luz era constituída por pequenas partículas que, submetidas às leis da mecânica, explicariam alguns fenômenos ópticos como a reflexão, a refração e a polarização (Pietrocola, 1993a; Martins & Silva, 2015; Polito, 2016). Segundo Pietrocola (1993b), a refração era na concepção corpuscular da luz de Newton o produto de uma força atrativa entre as partículas da luz com as partículas do objeto transparente, análogo à força gravitacional. Entretanto, quando aplicada a refração da luz a um meio mais refringente, a velocidade da partícula aumentaria uma vez que existiria uma força resultante atuando sobre ela. Porém, se sabe hoje que a velocidade da luz decresce em meios mais refringentes e, assim, o modelo proposto por Newton exibia vulnerabilidades (Martins & Silva, 2015, pp. 24-25; Ortega & Moura, 2020, pp. 13-15).

Outro ponto vulnerável na concepção de luz de Newton era concernente ao princípio da independência dos raios luminosos. Sendo a luz composta por minúsculas partículas, ao cruzar dois raios de luz, a trajetória deveria ser alterada porque as partículas colidiriam, como bolas de bilhar em um jogo de sinuca.

De outro lado, a natureza ondulatória da luz<sup>1</sup> foi defendida por Christian Huygens (1629-1695), físico e astrônomo holandês, com a publicação da obra “Tratado sobre a Luz” que, segundo tradução de Martins (1986), foi apresentado a Academia Real de Ciências da França em 1678. Segundo Bassalo (1986; 1987), a hipótese de Pierre Fermat (1607-1665) na qual a luz apresenta uma velocidade mais baixa para meios mais densos, mais refringentes, foi confirmada por Huygens nessa publicação, com base na teoria ondulatória. Pietrocola (1993a) e Forato (2009) apontam que na versão de Huygens, a luz desempenharia um comportamento de onda e, portanto, executando reflexão e refração analogamente a uma onda sonora. Contudo, ao fazer uma analogia entre a luz e o som, os newtonianos sabiam que o som não se propagava no vácuo, exigindo dos defensores do modelo luz-onda, por exemplo, uma explicação para a luz solar chegar até a Terra. Neste ponto, Ortega e Moura (2020, p. 4) apontam que o “princípio de Huygens” daria conta dessa demanda, pois este princípio, considerando a existência do éter, seria responsável pela produção de ondas secundárias e novas frentes de ondas a partir da fonte luminosa e, por conseguinte, no deslocamento da luz entre o Sol e a Terra (Forato, 2009, p. 13). Mesmo assim a não comprovação de tal meio etéreo ainda levantava muitas suspeitas por parte dos corpuscularistas, muito embora o próprio Newton se apropriasse de tal meio para explicar, sob determinadas condições, sua diversificada teoria da luz (Forato, 2009, pp. 16-17).

Assim, Huygens propôs a existência de um meio rarefeito que permeava todo o Universo denominado éter, que através de sua vibração permitia que a luz se deslocasse. Na época de Huygens

---

<sup>1</sup> Neste artigo adotaremos a mesma convenção conceitual de Ortega e Moura (2020, pp. 3-4), qual seja: luz como “onda” deve ser apreendida como uma teoria vibracional e não como a contemporânea concepção ondulatória calcada em grandezas como comprimento de onda, período ou frequência de uma onda (Moura, 2016a). Quer dizer, para Huygens a luz se propagava pela vibração da matéria etérea (Forato, 2009, pp. 12-13).

não existiam evidências consistentes do éter, além de sua concepção da luz como onda transversal, pois só se conheciam ondas longitudinais como o som, demonstrando entraves para aceitação de sua teoria (Bassalo, 1987). Outra fragilidade do modelo de Huygens, segundo Polito (2016), era explicar fenômenos de interferência, pois as perturbações no éter propostas por ele eram não periódicas.

Assim sendo, nesta disputa sobre a natureza da luz, as posições de Newton foram quase hegemônicas durante os séculos XVII e XVIII em função de seu prestígio no meio acadêmico, provocado pelo trabalho matemático e experimental de sua obra “Óptica”, de 1704, bem como pela sua teoria da gravitação universal (Pietrocola, 1993b), tornando sua teoria corpuscular da luz como um primeiro paradigma da Óptica Física (Kuhn, 2007), muito embora as concepções cartesianas fossem dominantes durante algumas décadas em países como Portugal, Alemanha e França no século XVIII (Moura, 2016a). No entanto, conforme Moura (2016a), Newton em seu “Óptica” não defendeu explicitamente a natureza da luz enquanto partícula, muito embora, no Livro III, tenha especulado favoravelmente para este entendimento. Mesmo assim, no século XVIII, eram raras as figuras que embasavam seus trabalhos científicos na concepção ondulatória da luz tal como o suíço Leonard Euler (1707-1783) que construiu sua própria teoria da luz e cores, divergindo em vários aspectos do modelo de Huygens tais como a periodicidade dos pulsos pelo éter e na propagação retilínea da luz.

No início do século XIX, Thomas Young (1773-1829) elaborou sua própria teoria ondulatória<sup>2</sup> da luz na tentativa de suprir as deficiências apresentadas pelo modelo de Huygens, inclusive para explicar o fenômeno da aberração estelar ao lançar mão da hipótese que o éter deveria ficar em repouso absoluto no espaço e independente do movimento dos corpos (Pietrocola, 1993a; 1993b). Para Bassalo (1989) e Polito (2016), além de demonstrar o fenômeno da interferência da luz com seu famoso experimento da dupla fenda, Young desenvolveu trabalhos relacionados à visão, às cores e propôs, em 1817, a transversalidade da luz analogamente às ondas formadas na superfície da água. Ainda no século XIX, a Academia de Ciências da França ofereceu um prêmio para o pesquisador que explicasse a difração da luz, fenômeno luminoso descoberto por Francesco Grimaldi (1618-1663) que carecia de uma explicação baseada na teoria corpuscular de Newton, pois violava o princípio da propagação retilínea da luz. Conforme Pietrocola (1993b), Bassalo (1989) e Moura (2016a), com a dominação das posições newtonianas sobre a luz, explicações de outros fenômenos ganharam espaço nesse modelo, como a polarização da luz. O físico e engenheiro francês Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) submeteu seu trabalho à Academia Francesa no qual a difração da luz era explicada tomando-a como onda, intensificando a posição quase esquecida para este modelo de luz. Mesmo sendo um trabalho bem fundamentado, Poisson<sup>3</sup> (1781-1840), que compunha o júri avaliador e era um newtoniano dogmático, não convencido, propôs que Fresnel encontra-se um ponto luminoso em um disco opaco exibindo padrões de interferência construtiva e destrutiva. Em 1818, Fresnel demonstra a solicitação de Poisson e garantiu o prêmio da academia além de seguir suas pesquisas com o modelo luz-onda que, mostrando com este episódio a transitoriedade das teorias na ciência, passou a ser gradativamente aceita nos círculos científicos da época. Assim sendo, com a inserção dos trabalhos ondulatórios de Fresnel na Grã-Bretanha, os partidários da concepção ondulatória

---

<sup>2</sup> Para Moura (2016a), no início do século XIX, o modelo “ondulatório” tinha mais características de “onda” do que a concepção “vibracional” nos séculos XVII e XVIII. Além do mais, as formulações originais de Newton e Huygens tinham ganhado novas feições, reformulações ou incrementos, por seus seguidores ou apoiadores.

<sup>3</sup> Poisson pertenceu ao “programa de Laplace” concebido no final do século XVIII. Segundo Moura (2016a), tratava-se de uma “escola” francesa de filósofos naturais obstinados a consolidar, dogmaticamente, as concepções corpusculares de Newton, refutando qualquer abordagem ondulatória da luz.

passaram a desfrutar uma hegemonia nas ilhas em relação aos corpuscularistas, mesmo enfrentando a resistência destes últimos.

Sendo luz uma onda, uma pergunta antiga e já evocada ainda carecia de resposta. Qual é o meio que vibra para permitir que a luz se propaga quando viaja do Sol até a Terra? Os físicos imaginaram um meio que apresentasse algumas propriedades como ser sutil, isto é, rarefeito como um gás e, para ondas transversais em alta velocidade, tal meio deveria ser rígido como um sólido. Não se conhecia nenhuma substância com propriedades tão antagônicas. A esse meio os físicos chamaram de éter luminoso, éter luminífero, ou apenas éter, carecendo de uma comprovação para sua existência (Bassalo, 1989; Pietrocola, 1993a; Polito, 2016).

Algumas tentativas, como a de Augustin Cauchy (1789-1857), eram baseadas exclusivamente em uma teoria matemática da luz adotando o éter como um sólido elástico, concepção também assumida por Fresnel como apontado por Bassalo (1989). Também adotando o éter luminífero como um sólido elástico, ou seja, tomando o éter como sendo constituído de uma estrutura mecânica, James Clerk Maxwell (1831-1879) chegou à conclusão que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética transversal era a mesma que a velocidade de propagação da luz (Polito, 2016).

As tentativas de provar a existência do éter luminoso, seja ele rígido ou elástico, se seguiram. Foram realizadas muitas experiências ao longo do século XIX, segundo Pietrocola (1993a) e Bassalo (1989). Dentre elas podemos mencionar a realizada pelo físico Jean Arago (1786-1853), por Fizeau e a Michelson-Morley. Arago, em 1810, explorou o movimento de translação da Terra em relação a duas estrelas, sendo uma com o raio de luz em movimento relativo de aproximação e outra com o raio de luz de afastamento e, assim, devendo produzir desvios diferentes nos raios luminosos quando percorrendo um prisma transparente. Porém, o resultado encontrado por Arago, repousado nas concepções newtonianas da luz, não detectou nenhuma alteração nos desvios. Buscando uma explicação para o experimento do prisma de Arago, Fresnel levanta a hipótese do arraste parcial, pela Terra, do éter luminoso<sup>4</sup>. Com efeito, assumindo esta condição era possível desprezar as adições/subtrações de velocidades, a saber, de translação da Terra e da luz oriunda das estrelas, inconsistentes com a igualdade dos valores obtidos empiricamente (Pietrocola, 1993b).

Mesmo apresentando fragilidades de natureza mecânica, em 1851 Fizeau comprovou a hipótese do arrastamento parcial do éter de Fresnel utilizando como meio a água, mas ressaltou que eram necessários mais resultados comprobatórios a respeito da existência do éter. Outras provas confirmaram, ao longo do século XIX, a validade matemática da expressão de Fresnel para a velocidade da luz em meios transparentes em movimento relativo, mas sustentadas em uma hipótese contestável do transporte parcial do éter, como assinala Pietrocola (1993b). Por fim, os físicos Albert Michelson e Edward Morley (1838-1923), realizaram em 1887 um experimento cujo princípio era análogo ao descrito anteriormente e realizado por Arago. A conclusão foi que a luz se propagaria sem a produção de efeitos decorrentes do movimento em relação ao éter e, portanto, que a luz poderia ser uma onda que se propagaria no vácuo. Entretanto, conforme Polito (2016) e Forato (2009, p. 20)

---

<sup>4</sup> Pietrocola (1993b) afirma que, sendo o éter “imponderável”, este poderia penetrar na matéria ordinária, comum ou “ponderável” que, no experimento de Arago em 1810, seria o prisma ou a Terra. No modelo de Fresnel, o movimento orbital da Terra não seria significativo ao transportar o éter, entretanto, a densidade do prisma seria afetada pela presença do éter em seu interior e, portanto, aumentando a refração do prisma que por sua vez alterava a velocidade da luz.



coube ao físico Albert Einstein (1879-1955) o salto de natureza lógica e epistemológica ao abandonar, em sua teoria da relatividade especial de 1905, a noção de éter como sustentador da matéria e da radiação e, portanto, da perspectiva mecanicista de mundo (Ortoli & Pharabod, 1986).

Aparentemente, a ciência conduziria a luz para um comportamento ondulatório mesmo diante de frágeis sinais da materialidade do éter como apontavam as investigações, muito embora, conforme Pietrocola (1993a; 1993b), a admissão do éter como um referencial absoluto e privilegiado foi amplamente adotado pelos cientistas do século XIX em cálculos de observações astronômicas ou na teoria eletromagnética. O eletromagnetismo clássico já direcionava a luz para uma onda, capaz de se propagar no vácuo e, reforçada pelas contribuições do físico holandês Hendrik Lorentz (1853-1928), responsável por minimizar o descompasso entre a hipótese de Fresnel e sua formulação matemática da velocidade da luz. No entanto, a concepção de luz como partícula viria mais uma vez à tona com as explicações de, por Einstein, para o efeito fotoelétrico. A previsão clássica, fundamentada no entendimento da luz como uma onda eletromagnética, não se alinhava com as comprovações experimentais. Foi então que Einstein apropriou-se da teoria quântica e assumiu que a luz é composta por partículas, mais tarde cunhadas de fótons, para explicar a ejeção de elétrons de uma placa metálica quando bombardeada por um feixe de luz a uma determinada frequência, de acordo com Webber & Ricci (2006). Assim, quando a natureza da luz se encaminhava para ser uma onda eletromagnética, novamente o modelo luz-partícula se fez presente para reconduzir as interpretações de certos fenômenos.

Atualmente, diante das limitações dos modelos explicativos criados pelos cientistas, concebe-se a luz como tendo um comportamento dual, isto é, a dualidade onda-partícula da luz implica uma dependência com relação ao fenômeno que está sendo observado, qual seja: a luz pode ser assumida como uma onda ou pode ter comportamento de uma partícula (Webber & Ricci, 2006) como propõe o princípio da complementaridade de Niels Bohr (1885-1962) (Ortoli & Pharabod, 1986, pp. 42-44).

### **Aprendizagem significativa subsidiando a HFC**

A HFC, enquanto modalidade investigativa, podem ser articuladas à teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, favorecendo uma aprendizagem não-arbitrária e não-literal das concepções luz-onda e onda-partícula. De fato, se tomamos como objetivo alcançar um ensino por investigação e uma aprendizagem significativa por parte dos estudantes, em uma perspectiva construtivista e ausubeliana, de acordo com Valadares (2012), o professor deve assumir como compromissos: o mapeamento das concepções iniciais dos estudantes, colocar em cheque tais concepções, colocar problemas em que os estudantes entendam sua relevância, explorar seus conhecimentos prévios ou subsunçores e a construção de novos significados por meio de processos cognitivos como diferenciação progressiva e reconciliação integradora e, finalmente, avaliá-los de modos múltiplos e não usuais (Moreira, 2012a). O autor também elenca algumas obrigações dos estudantes como: intencionalidade, participação ativa, alunos colaborativos, dialogantes, reflexivos e ampliativos, o que, para Moreira (2011), expressa a essencial pré-disposição, necessária para garantir a ancoragem do novo conhecimento com a ideia-âncora (subsunçor) que deve estar presente na estrutura cognitiva do estudante. Além do mais, essas atribuições, para docentes e educandos, propiciam um ambiente equilibrado, construtivista para aprendizagem, entre liberdade controlada e o compartilhamento de responsabilidades.

A teoria da aprendizagem significativa não é dicotômica, e o autor se posiciona favoravelmente, em relação a um modelo de ensino investigativo, cujo objetivo é formar o cidadão com direitos políticos. Para isto, o estudante deve se submeter a problemas relacionados com o mundo social e da contemporaneidade, formulando opiniões e soluções que envolvam processos como recolhimento de informações e sua análise, além da experimentação com o uso da tecnologia, por exemplo. Ainda dentro do modelo investigativo, Valadares (2012) descreve o contínuo entre a aprendizagem por recepção, que não implica em passividade, e a aprendizagem por descoberta autônoma no âmbito da aprendizagem significativa de Ausubel, acrescentando o desenvolvimento do pensamento crítico, de uma epistemologia construtivista e com um caráter humanista, que inclua problemas com perfis sociais e éticos. Nesta concepção, a avaliação deve ser formadora, deve haver alternância entre trabalhos individuais e colaborativos, nos quais se insere o recurso à HFC no ensino de Física.

Visando uma educação científica pautada em uma aprendizagem significativa crítica, conforme coloca Moreira (2017), o autor toma como um desafio que se coloca ao ensino de Física na contemporaneidade, o uso da HFC como recurso didático-pedagógico, que balizado entre outros, na pedagogia crítica de Paulo Freire (1921-1997) pode trazer contribuições interessantes. Neste modelo de aprendizagem crítica, Moreira (2000; 2017) propõe uma aprendizagem que zele pelos conhecimentos prévios dos educandos, no qual o docente deve diversificar suas estratégias de ensino, bem como, descentralizar seu ensino narrativo/dissertativo caracterizado pela anulação e alienação do aprendiz, típico de uma educação bancária (Freire, 1967; 1975). Também contempla tal aprendizagem, a prática pela libertação dos oprimidos, por justiça social e pela superação de uma educação apassivadora voltada para domesticação dos educandos, assim, uma educação orientada pela luta política por meio da dialogicidade (Freire, 1996; Moreira, 2012b).

Em vista disso, acreditamos que um trabalho respaldado na HFC, gerador de conflitos cognitivos e referendado na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, ou mesmo repousando em uma aprendizagem significativa crítica de Moreira, e em uma perspectiva freireana, longe de uma história ilustrativa e baseada em episódios isolados que alimenta o trabalho científico como individual, divino e supostamente neutro, a nossa proposta prevê ampliar a visão do aprendiz a respeito da ciência como, além de atividade coletiva, também construída com erros e teorias substituíveis e provisórias (Gil Perez et al., 2005; Forato, 2009; Nunes & Queirós, 2020; Ortega & Moura, 2020), dos quais se aproximam das concepções alternativas dos alunos (Valadares, 2012).

### **Transposição didática: HFC e a rivalidade da luz como atividades investigativas nas aulas de Física**

Nesta seção, com base no breve levantamento histórico sobre a luz e com evidências de transitoriedade de teorias para explicar sua natureza e, portanto, perpassando sobre a epistemologia da ciência, forneceremos uma sugestão de atividades investigativas que utiliza a HFC a partir de um fragmento original do trabalho já mencionado de Huygens, “Tratado sobre a Luz” de uma tradução de Martins (1986) e do fragmento da obra “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de Newton.

O objetivo, tomando o trabalho de Nascimento (2016) e Moreira (2017) como referencial, é demonstrar ao estudante secundarista que a ciência é uma atividade humana, fruto do contexto sociocultural dominante, passível de reestruturação de seus pressupostos teóricos e, sendo assim,

historicamente construída (Bassalo, 1992; Carvalho et al., 1999; Monteiro Jr & Medeiros, 1999; Duarte, 2004; Forato et al., 2012; Ortega & Moura, 2020). Além disso, disponibilizando atividades investigativas, contribuímos para uma reflexão crítica da prática docente em exercício que, conforme indica Carvalho (2016), também exige uma mudança de postura do docente.

As atividades propostas podem ser aplicadas em turmas do 2º ou do 3º ano do ensino médio envolvendo tanto conteúdos como Óptica Geométrica, com seus princípios na formação de imagens, ou na Física Moderna, ao tratar da dualidade onda-partícula, sempre tomando a História e a Filosofia da Ciência, em um ensino de física por investigação, como recurso instrucional e problematizador para a aprendizagem significativa de tais conteúdos. Ademais, a seleção dos textos se deu pelo reduzido grau de complexidade, quando pensado para estudantes da escola média, e também pela fácil apreensão, por parte do docente, dos princípios físicos embutidos nos fragmentos. Por fim, acompanha estas atividades algumas recomendações para sua implementação em sala de aula.

### **Atividade Investigativa 1**

Considere o fragmento da obra “Tratado sobre a Luz” do físico Christian Huygens (1629-1695) e comunicado a Academia de Ciências da França no século XVII. Este fragmento foi extraído de uma tradução feita pelo professor Roberto Martins no *Caderno de História e Filosofia da Ciência*, de 1986. Após a leitura, responda ao questionário abaixo sempre justificando suas respostas.

*[...] quando se considera a extrema velocidade com que a luz se espalha por todos os lados e que, quando vem de diferentes lugares, mesmo totalmente opostos [os raios luminosos] se atravessam uns aos outros sem se atrapalharem, compreende-se que, quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala atravessa o ar; pois certamente isso repugna bastante a essas duas propriedades da luz e principalmente à última. Ela se espalha portanto de uma outra maneira e o que nos pode conduzir a compreendê-la é nosso conhecimento da propagação do som no ar.*

*Sabemos que, por meio do ar, que é um corpo invisível e impalpável o som se propaga em toda a volta do lugar onde foi produzido, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte do ar a outra. A propagação desse movimento se faz com igual velocidade para todos os lados e devem se formar como superfícies esféricas que crescem sempre e que chegam a atingir nossas orelhas. Ora, não há dúvida de que a luz também não venha do corpo luminoso até nós por algum movimento impresso à matéria que está entre os dois - pois já vimos que isso não pode ocorrer pelo transporte de um corpo que passe de um até o outro. Se a luz gasta tempo para essa passagem - o que vamos examinar agora - seguir-se-á que esse movimento impresso à matéria é sucessivo e que, conseqüentemente, ele se espalha, assim como o som, por superfícies e por ondas esféricas. Eu as chamo "ondas" por semelhança àquelas que vemos formarem-se na água quando aí se joga uma pedra e que representam uma propagação sucessiva circular - embora proveniente de uma outra causa e somente em uma superfície plana. [...]*

### **Questionário**

1) De acordo com a leitura do fragmento acima, a posição de Huygens sobre a natureza da luz aproximava-se mais da luz como onda ou como partícula? Justifique.

2) Huygens menciona no fragmento a violação de duas propriedades da luz quando se adota o modelo luz-partícula. Uma dessas propriedades é o princípio da independência dos raios luminosos. Explique a violação desse princípio supondo a luz formada por partículas.

3) Huygens compara a propagação da luz a propagação do som no ar. Se o som vibra as moléculas do ar para ocorrer sua transmissão, existe algum meio material no qual a luz possa também ser transmitida? Justifique.

### **Sugestões o(a) professor(a) de Física**

O “Tratado sobre a Luz” foi publicado em 1690, caracterizado pela forte influência das ideias cartesianas na elaboração do modelo vibracional/ondulatório de Huygens (Moura, 2016a; Ortega & Moura, 2020). Na realização da atividade, recomendamos que os professores formem grupos de estudantes para gerar uma atmosfera cooperativa entre eles na leitura e resolução do questionário. Sugira, primeiramente, uma leitura coletiva do fragmento escolhendo um aluno para fazer a leitura para a turma. Em seguida, peça que os grupos refaçam a leitura em seus respectivos grupos e discutam dúvidas que venham a surgir sobre algumas passagens do fragmento tal como a esfericidade das frentes de onda sonora. O professor ou a professora deve auxiliar os grupos e incentiva-los a argumentar com base nos conceitos estudados na temática luz, como, a título de exemplos, abordando detalhes da teoria vibracional/ondulatória de Huygens que contemple seu “princípio” de propagação, aspectos ligados ao meio etéreo e, como aponta Moura (2016a), do papel geométrico de sua teoria em seu “Tratado sobre a Luz”, pavimentando interessantes argumentações matemáticas para fenômenos como a reflexão e a refração da luz (Ortega & Moura, 2020). Ainda reiteramos, pensando em fins didáticos e do debate em torno da natureza da ciência, para as críticas a suposta “disputa” entre as concepções de Newton e Huygens. Nesse sentido, Moura (2016a) vai afirmar que nunca houve da parte de Huygens uma determinação em substituir a teoria da luz de Newton, muito embora tenham divergido sobre a heterogeneidade da luz branca ao cruzar um prisma (decomposição da luz branca) (Raicik, 2019). Por sua vez, em seu “Óptica”, Newton não centralizou suas investigações em destronar a natureza vibracional da luz que, diga-se de passagem, em 1672, nem tinha sido integralmente formulada por Huygens.

Almejando minimizar reducionismos, sugerimos aos docentes que enunciem outras concepções vibracionais/ondulatórias da luz buscando demonstrar aos estudantes a não uniformidade do modelo luz-onda como sendo uma exclusividade das concepções huygensiana, como, por exemplo, ao longo do século XVIII na Grã-Bretanha onde outros modelos vibracionistas dissidentes também coexistiram nessa “rivalidade” luz-onda e luz-partícula (Moura, 2016b). Por fim, quando todos os grupos resolverem as perguntas, peça que um representante de cada grupo leia sua resposta e submeta-a a possíveis discussões a serem mediados pelo professor. Também deve ser esclarecida pelo docente a turma que, sendo a ciência obra de pessoas, este episódio da história da Física possibilita aos alunos perceber que teorias são reestruturadas ou substituídas por outras como evoca a questão 3) a respeito do éter luminoso, atualmente descartado, mas foi dominante nas explicações de fenômenos óticos, gravitacionais e magnéticos, segundo Bassalo (1987) e Forato (2009). Considerando a não linearidade da ciência, é importante comentar com a turma, segundo Bassalo (1989), que uma nova ideia de éter vem sendo resgatada na chamada teoria da relatividade estendida. Na sequência, depois de exaurida toda a discussão, aplique a Atividade Investigativa 2.

## Atividade Investigativa 2

A famosa publicação de Isaac Newton (1643-1727) sobre a teoria da luz e o fenômeno da dispersão, intitulada “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de 1672, é apresentada em detalhes, traduzida e comentada por Silva & Martins (1996) na Revista Brasileira de Ensino de Física. Contudo, o fragmento abaixo contribui para entender as suspeitas de Newton sobre a natureza da luz e o suposto meio na qual ela viaja. Dito isto, leia o fragmento e responda o questionário seguinte.

*[...]. E minhas suspeitas aumentaram quando lembrei que frequentemente vi uma bola de Tênis, golpeada com uma Raquete oblíqua, descrever tal linha curva. Pois sendo comunicado tanto um movimento circular como um progressivo a ela pelo golpe, suas partes daquele lado onde os movimentos se unem devem pressionar e bater o Ar contíguo mais violentamente do que no outro, e lá excitar uma relutância e reação no Ar proporcionalmente maior. **E pela mesma razão, se os Raios de luz fossem possivelmente corpos globulares e por sua passagem oblíqua de um meio a outro adquirissem um movimento circular, eles deveriam sentir a resistência maior do Éter ambiente naquele lado onde os movimentos se unem e por isso serem continuamente encurvados para o outro. Mas apesar desse motivo plausível de suspeita, quando o examinei não pude observar tal curvatura neles. [...]***

### Questionário

- 1) Percebe-se pela leitura do fragmento que Newton apresentava incertezas em suas investigações, mostrando que trabalhos de pesquisa é baseado em hipóteses a serem testadas e verificadas. Dito isto e com base no fragmento, identifique a concepção de luz tacitamente apresentada por Newton. Justifique.
- 2) Newton descreve um fenômeno luminoso. Com base no trecho em negrito, determine de qual fenômeno o físico e matemático inglês se refere. Justifique sua resposta.

### Sugestões para o(a) professor(a) de Física

No tocante a Atividade Investigativa 2, sugerimos que o docente adote o mesmo procedimento da Atividade Investigativa 1. Entretanto, mesmo considerando que o presente artigo não tratou da dispersão da luz, se faz necessário inclui o estudo deste fenômeno com pré-requisito para aplicação desta atividade e, se possível, apresentar algumas teorias sobre o surgimento das cores como a defendida por Descartes (Forato, 2009; Silva & Martins, 2015). Um ponto digno de nota a ser incorporado na implementação dessa atividade é concernente as posições de Newton a respeito natureza da luz (Moura, 2016a; Ortega & Moura, 2020). Newton flertou entre as concepções ondulatória e corpuscularista, as vezes sem tomar uma posição explícita, muito embora, no fragmento acima, o modelo luz-partícula seja evidente, segundo o qual a luz era composta por minúsculas partículas massivas (Pietrocola, 1993a; 1993b; Martins & Silva, 2015). Neste quesito, o docente pode fazer alguns paralelos entre o modelo corpuscular de Newton e as *eidolas* dos atomistas da Grécia Antiga tal como a materialidade da luz (Forato, 2009). A respeito do estudante Newton, em seus primeiros anos em Cambridge, Martins e Silva (2015) e Moura (2016a) apontam sua rejeição do modelo vibracional da luz, o que denotava autonomia intelectual por parte do filósofo natural inglês ao desafiar trabalhos sobre a luz já consolidados, neste caso, o modelo cartesiano. O professor ou a

professora de Física deve mencionar tais questionamentos, assim como enveredar por um quadro das nuances de suas concepções neste campo.

Ademais, observe pelo trecho em negrito que Newton, ao mencionar a passagem do raio de luz de um meio para o outro, está se referindo a refração da luz. Também sugerimos que o docente revele detalhes para a turma do contexto em que Newton concluiu esta obra, como, por exemplo, o surto de peste que assolou a Inglaterra entre 1665 e 1667. Além disso, foi um dos períodos mais fecundos de Newton, sendo esta publicação uma das produções sobre óptica de seus “anos miraculosos” caracterizado pelas suas principais produções acadêmicas, quais sejam, seus estudos de óptica, o cálculo diferencial e integral e a gravitação universal presente no *Principia* (1687) (Brennan, 2000; Martins & Silva, 2015). Procure reforçar que, mesmo sendo Newton um gigante da ciência e de acordo com o fragmento apresentado, era um humano que levantava suspeitas e hipóteses, que a produção científica dele incluía incertezas críticas e até equívocos como, a título de exemplo, a existência do éter, hoje refutada, mas que se sustentou até o início do século XX (Pietrocola, 1993a). Bassalo (1987), Forato (2009) e Polito (2016), por exemplo, ressaltam o forte vínculo dos trabalhos de óptica de Newton com a existência do éter e suas variações entre o éter mecânico e o éter dinâmico. É importante reafirmar, segundo recomendações na Atividade Investigativa 1, que tal meio, tomando como referencial o trabalho de Bassalo (1989), ainda é objeto de estudo na chamada teoria da relatividade estendida.

### **Considerações finais**

A proposta deste artigo, abordando aspectos históricos e filosóficos sobre a natureza da ciência centrando na evolução do conceito de luz, é fornecer detalhes sobre o desenrolar da disputa entre os defensores da luz como partícula e os defensores da luz como onda. Por meio de fontes primárias e secundárias, procuramos mostrar os argumentos a favor e contra a cada uma das posições e, finalmente, concluir que a dualidade onda-partícula da luz segue a procura de aprimoramentos e mais resultados e, como qualquer teoria científica, substituível de acordo com as evidências oriunda de investigações futuras ou em andamento. Ademais, o uso da HFC no ensino de física evidencia uma estratégia de ensino/aprendizagem de conteúdo com um grau maior de contextualização, podendo exibir disputas, crises, avanços e retrocessos, em desenvolvimentos não lineares, contribuindo na desconstrução nos educandos da ideia de ciência feita por gênios intocáveis e sem equívocos (Gil Pérez, 1993; Ortega & Moura, 2020), isto é, para a apropriação com significado da natureza da luz a partir de sua uma visão histórica (Moura, 2016a; 2016b).

Ainda neste artigo é notória a presença de importantes marcos teórico-metodológicos nos quais aportamos, principalmente, nossas duas atividades investigativas. Entretanto, alguns esclarecimentos devem ser feitos nestas considerações finais. Iniciemos pela aprendizagem significativa crítica de Moreira (2000; 2017; 2018). Dentre seus princípios norteadores, selecionamos dois que mais dialogam com nossa proposta didática, quais sejam: o princípio da descentralização do quadro-de-giz e o princípio da não exclusividade do livro didático<sup>5</sup>. Em outras palavras, sendo as atividades confeccionadas textos históricos extraídos de fontes primárias traduzidas e comentadas,

---

<sup>5</sup> Uma sugestão de leitura que articula a teoria da aprendizagem significativa crítica com recortes da história da Termodinâmica podem ser acessadas no trabalho de Azevedo & Monteiro Jr (2020). Os autores elaboraram duas atividades contextualizadas e interdisciplinares, integrando docentes das áreas de História e Física, alicerçadas nos mesmos princípios mencionados acima.

adicionamos novas ferramentas pedagógicas que municiam os docentes em direção a novas práticas em salas de aula, geralmente caracterizadas por aulas expositivas tradicionais nos quadros-de-giz e com enfoque exacerbado no livro de texto<sup>6</sup>. Por conseguinte, a versão clássica da aprendizagem significativa (Moreira, 2011; 2012a; 2012b), repousada no entendimento da estrutura cognitiva do aprendiz, se conecta com nossas reivindicações por incentivar a intencionalidade tão almejada no estudante uma vez que, consideramos que atividades balizadas em textos históricos são motivacionais e, sendo assim, incentivadoras do querer aprender do educando.

Outro ingrediente muito importante da aprendizagem significativa é a ancoragem entre os conhecimentos prévios dos estudantes e as novas informações/conhecimentos presentes nas duas atividades investigativas, tomadas por nós como materiais potencialmente significativos (Moreira, 2012a). Reconhecemos, até o momento, a não submissão das atividades investigativas sugeridas a experiências reais em salas de aula, muito embora isto não reduza a viabilidade de sua futura implementação nas escolas. Em vista disso, professores e professoras de Física devem conduzir situações didáticas nas escolas que visem identificar concepções prévias ou alternativas dos estudantes envolvendo determinados princípios físicos da luz, como, por exemplo, aplicando, antecipadamente as duas atividades, um questionário nas turmas (Silva & Nobre, 2020; Ortega & Moura, 2020, p. 8), um experimento demonstrativo introdutório (Ortega & Moura, 2020, p. 11) ou ainda elaborando um organizador prévio responsável por fortalecer a base subsunçora dos estudantes (Bôas & Filho, 2019) em relação a fenômenos ópticos como a propagação retilínea da luz, o princípio da independência dos raios luminosos e a dispersão da luz nos quais nossas atividades se alicerçam.

A perspectiva freireana tecida sutilmente aqui (Freire, 1975; 1996) é uma consequência da utilização dos princípios norteadores supracitados da aprendizagem significativa crítica. Moreira (2000; 2017) salienta que, diante dos desafios de nosso mundo globalizado, a aprendizagem dos estudantes, além de significativa, deve ser crítica. Neste último quesito, as contribuições de Freire são indispensáveis pela sua pedagogia respaldada no pensamento crítico, dialógico, problematizador e voltada para emancipação humana (Freire, 1967; 1975) e, portanto, contribuições que encontram refúgio em uma concepção construtivista da ciência. Para nós, o uso da HFC no ensino de Física, propõe formar uma visão mais integrada e humanística da ciência em contraposição as falsas ideias, muito enraizada nos estudantes e docentes, da suposta neutralidade do saber científico, entendendo equivocadamente os cientistas como pessoas alheias aos problemas políticos e sociais, acima do bem ou do mal, ou ainda que a produção científica não interfere na dinâmica do meio social (Gil Pérez, 1993; Gil Perez et al., 2005; Ortega & Moura, 2020). Distorções que nossas atividades investigativas buscam problematizar.

Quanto ao ensino de Física por investigação, alegamos na seção 4 que as atividades estão sustentadas na modalidade investigativa HFC<sup>7</sup>. As atividades investigativas propostas permitem o trabalho em grupo, a comunicação científica entre os estudantes, sempre orientadas para a

---

<sup>6</sup> Salientamos que tais princípios norteadores não é uma assertiva para a abolição do livro didático e da lousa nas escolas. Simplesmente convoca os docentes a diversificar suas aulas de Física pela inserção de novos instrumentos instrucionais. Nesse sentido, recomendamos uma busca no site do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, vinculado a Sociedade Brasileira de Física, no link < <http://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>>. Último acesso: 14 jun. 2020.

<sup>7</sup> A denominação apontada por Carvalho et al. (1999) para este tipo de modalidade investigativa é História da Ciência (HC). No entanto, segundo Martins (2007, p. 114), alinhado com a concepção de Imre Lakatos (1922-1974), História da Ciência e Filosofia da Ciência (FC) estão imbricadas de tal modo que complementam-se: FC sem HC é vazia e HC sem FC é cega. Logo, resolvemos adotar o termo HFC em vez de HC para denotar nossas atividades investigativas.

concretização do intercâmbio estudante-estudante, estudante-docente e estudante-docente-classe de tal modo que:

*“Os estudantes, inicialmente, debruçam-se sobre o problema em pequenos grupos, sendo o papel do professor, nesse momento, de promover o trabalho cooperativo. Em um segundo momento, a classe reúne-se como um todo para o compartilhamento das ideias”* (Carvalho et al., 1999, p. 19).

Assim sendo, considerando o fragmento enunciado e as demais teorias suscitadas neste artigo, o que aparentava ser uma “colcha de retalhos” de pressupostos teóricos/pedagógicos inseridos em uma metodologia ativa (ensino por investigação), mostrou-se profundamente entrelaçados, com intersecções e pontos compartilhados. Em síntese, demonstramos que os princípios eleitos da aprendizagem significativa crítica conduziu a elaboração de atividades investigativas relacionadas ao desenvolvimento histórico-filosófico do conceito de luz, implicando na possível construção da intencionalidade/motivação na versão clássica da aprendizagem significativa que, sintonizada com sua versão crítica concebida por Moreira, também se sustentam em um marco teórico freireano pelo teor ricamente problematizador das atividades, bem como na formação de um discente concatenado com as complexidades do mundo contemporâneo, cada vez mais dependente das tecnologias digitais e acompanhante dos conflitos entre ciência, meio ambiente e sociedade.

Por último, também procuramos tratar da epistemologia da ciência ao longo do artigo, principalmente, com as atividades sugeridas e nas recomendações aos docentes com fins em uma aprendizagem significativa da concepção de luz. Chaui (2000) classifica em três as concepções de ciência: racionalista, empírica e construtivista. As duas primeiras concepções são dominantes nas abordagens dos professores de ciências uma vez que concebem uma ideia de ciência dogmática, supostamente neutra, única detentora do saber e descobridora da realidade em si (Bassalo, 1992; Campos & Nigro, 1999; Monteiro Jr & Medeiros, 1999). Muito pelo contrário, procuramos apresentar nas atividades investigativas a concepção construtivista de ciência na qual, fazendo uso tanto do racionalismo como do empirismo, podemos nos aproximar da realidade por meio de conceitos, proposições e teorias que, reiteramos, sendo transitórias, corrigíveis e substituíveis (Chaui, 2000; Kuhn, 2007; Forato, 2009; Moura, 2016a; Ortega & Moura, 2020), demonstra as limitações da ciência e a coloca em um patamar de produção de conhecimento não positivista tanto para os docentes como para os estudantes.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem as valiosas sugestões de leitura, correções ortográficas e recomendações de monta dos avaliadores que subsidiaram enormemente o aprimoramento deste artigo.

### **Referências bibliográficas**

Azevedo, J. S. & Monteiro Jr, F. N. (2020). Aprendizagem significativa crítica: atividades contextualizadas e interdisciplinares no ensino da termodinâmica. *A Física na Escola*, 17(1), 1-4.

Baldow, R. & Monteiro Jr, F. N. (2010). Os livros didáticos de física e suas omissões e distorções na história do desenvolvimento da termodinâmica. *Alexandria*, 3(1), 3-19.

Bassalo, J. M. F. (1986). A crônica da ótica clássica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 3(3), 138-159.



Bassalo, J. M. F. (1987). A crônica da ótica clássica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 4(3), 140-150.

Bassalo, J. M. F. (1989). A crônica da ótica clássica (Parte III: 1801-1905). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6(1), 37-58.

Bassalo, J. M. F. (1992). A importância do estudo da história da ciência. *Revista da Sociedade Brasileira da História da Ciência*, (8), 57-66.

Bôas, C. S. N. V. & Filho, M. P. S. (2019). Ressonância em tubos de garrafas “Pet”: uma opção de baixo custo para tubos de Kundt. *Experiências em Ensino das Ciências*, 14(2), 186-198.

Brennan, R. P. (2000). *Isaac Newton*. In: Brennan, R. P. *Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias* (Capítulo 1). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda.

Campos, M. C. C. & Nigro, R. G. (1999). *Professor-aluno-conhecimento*. In: Campos, M. C. C. & Nigro, R. G. *Didática das ciências: o ensino-aprendizagem como investigação* (pp. 9-33). São Paulo: Editora FTD.

Carvalho, A. M. P.; Santos, E. Z.; Azevedo, M. P. C. S.; Date, M. P. S.; Fujii, S. R. S. & Nascimento, V. B. (1999). *Termodinâmica: um ensino por investigação* (pp. 15-26). São Paulo: FEUSP.

Carvalho, A. M. P. (2016). *Critérios estruturantes para o ensino das ciências*. In: Carvalho, A. M. P. (Org.). *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática* (pp. 1-17). 1ª edição. São Paulo: Cengage Learning.

Chauí, M. (2000). *A ciência na história*. In: Chauí, M. *Iniciação a filosofia* (pp. 320-333). São Paulo: Editora Ática.

Duarte, M. C. (2004). A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, 10(3), 317-331.

Forato, T. C. M. (2009). *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz* (pp. 1-24). 222f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 2.

Forato, T. C. M.; Martins, R. A. & Pietrocola, M. (2012). *Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula*. In: Peduzzi, L. O. Q.; Martins, A. F. P.; Ferreira, J. M. H. (Org.). *Temas de história e filosofia da ciência no ensino* (pp. 123-154). Natal: Editora da UFRN.

Freire, P. (1967). *Educação como prática da liberdade*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.

Freire, P. (1975). *Pedagogia do oprimido*. 2ª edição. Porto: Afrontamento.

Freire, P. (1996). *Pedagogia da autonomia*. 25ª edição. São Paulo: Paz e Terra.

Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.

Gil Perez, D.; Cachapuz, A.; Carvalho, A. M. P.; Praia, J. & Vilches, A. (2005). *Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: Um requisito essencial para a renovação da educação científica*. In: Gil Perez, D.; Cachapuz, A.; Carvalho, A. M. P.; Praia, J. & Vilches, A. (Org.). *A necessária renovação do ensino das ciências* (pp. 38-70). São Paulo: Editora Cortez.

Kuhn, T. S. (2007). *A estrutura das revoluções científicas*. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 9ª edição. São Paulo: Perspectiva.

Martins, A. F. P. (2007). História da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... . *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 112-131.

Martins, R. A. (1986). Tratado sobre a luz, de Christian Huygens. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, suplemento 4, 12-13.

Martins, R. A. & Silva, C. C. (2015). As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(4), 4202 (1-31).

Monteiro Jr, F. N. & Medeiros, A. (1998). Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos. *Ciência e Educação*, 5(2), 1-14.

Monteiro Jr, F. N. & Medeiros, A. (1999). *Síntese ou distorção: como os livros didáticos tratam o conceito de timbre?* In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2., Valinhos. Atas ... Porto Alegre: ABRAPEC, IF/UFRGS, (pp. 1-15). Disponível em: <[http://www.abrapecnet.org.br/enpec/ii-enpec/apresentacoes\\_orais.html](http://www.abrapecnet.org.br/enpec/ii-enpec/apresentacoes_orais.html)>. Último acesso: 13 abr. 2020.

Monteiro Jr, F. N. & Carvalho, W. L. P. (2011). O ensino de acústica nos livros didáticos de física recomendados pelo PNLEM: análise da ligação entre a física e o mundo do som e da música. *Holos*, 1, 137-154.

Moreira, M. A. (2000). *Aprendizagem significativa crítica*. In: III Encontro Internacional Sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa: 2000. Atas... Lisboa, pp. 33-45. Versão revisada e estendida. <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>>.

Moreira, M. A. (2011). Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(3), 25-46.

Moreira, M. A. (2012a). Al final, que és aprendizaje significativo? *Revista Currículum*, (25), 29-56.

Moreira, M. A. (2012b). Aprendizaje significativo, campos conceptuales y pedagogia de la autonomía: implicaciones para la enseñanza. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 2(1), 44-65.

Moreira, M. A. (2017). Grandes desafios para o ensino de física na contemporaneidade. *Revista do Professor de Física*, 1(1), 1-13.

Moreira, M. A. (2018). Ensino de física no século XXI: desafios e equívocos. *Revista do Professor de Física*, 2(3), 80-94.

Morey, B. & Mendes, M. J. (2012). O uso de fontes originais da história da ciência na formação de professores de matemática. *Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana*, 3(1), 1-17.

Moura, B. A. (2016a). Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. *Caderno Brasileiro em Ensino de Física*, 33(1), 111-146.

Moura, B. A. (2016b). Teorias vibracionais da luz na Grã-Bretanha do século XVIII. *Scientiae Studia*, 14(2), 333-356.

Nascimento, V. B. (2016). A natureza do conhecimento científico e o ensino de ciências. In: Carvalho, A. M. P. (Org.). *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática* (pp. 35-57). 1ª edição. São Paulo: Cengage Learning.

Nunes, R. C. & Queirós, W. P. (2020). Visões deformadas sobre a natureza da ciência no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 295-319.

Ortega, D. & Moura, B. A. (2020). Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20190114 (1-16).

Ortoli, S. & Pharabod, J. P. (1986). *Introdução à física quântica* (pp. 125-128). Tradução de Manuel Ruas. 1ª edição. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

Pietrocola, M. (1993a). O éter como espaço absoluto. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (UNICAMP), 3(1), 163-182.

Pietrocola, M. (1993b). Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10(2), 157-172.

Polito, A. M. M. (2016). *A construção da estrutura conceitual da física clássica* (pp. 89-116). 1ª edição. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Raicik, A. C. (2019). Experimento crucial na ciência e na filosofia da ciência: uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre a teoria da luz e cores de Newton. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 9(2), 1-11.

Santos, M. (2018). O uso da história da ciência para favorecer a compreensão de estudantes do ensino médio sobre ciência. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(2), 641-668.

Silva, A. C. & Cyrineu, A. A. (2018). História da ciência no ensino básico de física: quais tópicos fazem parte dessa história? *Revista Internacional de Formação de Professores*, 3(1), 35-44.

Silva, C. C. & Martins, R. A. (1996). A “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 18(4), 317-318.

Silva, F. D. J. & Nobre, F. A. S. (2020). Paródias conceituais e uma unidade de ensino potencialmente significativa como recursos didáticos para o estudo do movimento ondulatório. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(1), 411-428.

Strathern, P. (2000). *Curie e a radioatividade em 90 min*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda.

Valadares, J. (2012). *Os modelos investigativos atuais no ensino de física e o recurso à história e a filosofia da ciência*. In: L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins e J. M. H. Ferreira (Org.) *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino* (pp. 85-121). Natal: Editora da UFRN.

Webber, M. C. M. & Ricci, T. F. (2006). Inserção de mecânica quântica no ensino médio: uma proposta para professores. *Textos de Apoio ao Professor de Física*, 17(5), 29-36.