



A INFERÊNCIA À MELHOR EXPLICAÇÃO COMO HEURÍSTICA PARA ABORDAR EPISÓDIOS HISTÓRICOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS POR MEIO DE CONTROVÉRSIAS EXPLICATIVAS

The Inference to the Best Explanation as heuristic to address historical episodes in Science Education through explanatory controversies

Renato Felix Rodrigues [renato.felix@ufrgs.br]

*Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (Egresso)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil*

Alexsandro Pereira de Pereira [alexsandro.pereira@ufrgs.br]

*Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil*

Resumo

Este artigo propõe usar a Inferência à Melhor Explicação (IME) como forma de abordar aspectos da natureza da ciência, por meio de controvérsias explicativas históricas. A Inferência à Melhor Explicação é um tema de discussão na epistemologia que aborda a justificação e racionalidade do conhecimento. Seu foco é o estudo das condições que levaram uma explicação a ser considerada superior a suas concorrentes em um contexto específico. Neste trabalho, essa perspectiva é adaptada para analisar o conflito entre explicações científicas em momentos específicos da história da ciência. O foco é problematizar os fundamentos epistêmicos e culturais que sustentaram a defesa de explicações propostas ao longo do curso do episódio histórico sob discussão. Um dos objetivos é que essa discussão possa ser feita em contextos como a educação básica e a formação de professores, de modo a evitar as posições extremas da oposição entre concepções estruturalistas e relativistas sobre a ciência. Para isso, são apresentados alguns conceitos-chave da IME, seguida de uma proposta de como adaptá-los para o uso em contexto educacional. A título de ilustração, a perspectiva é empregada ao episódio histórico da explicação do efeito fotoelétrico, durante as primeiras décadas do século XX. No episódio em questão, são abordadas questões como: o papel da comunidade científica na avaliação do conhecimento científico, a indeterminação das teorias científicas pelas evidências disponíveis, e a influência de interesses pessoais na avaliação de teorias científicas.

Palavras-Chave: Inferência à Melhor Explicação; Natureza da Ciência; História da Ciência; Filosofia da Ciência.

Abstract

This paper presents the Inference to the Best Explanation (IBE) to approach aspects of Nature of Science through historical explanatory controversies. The Inference to the Best Explanation is a topic of discussion in epistemology that addresses the justification and rationality of knowledge. Its focus is the study of the conditions that led an explanation to be considered superior than its competitors in a specific context. In this paper, this perspective is adapted to analyze the conflict between scientific explanations at specific times of history of science. The focus is to problematize the epistemic and cultural foundations that supported the defense of explanations proposed throughout the course of the historical episode under discussion. One of the goals is that this discussion can be made in contexts such as secondary education and teachers training, in order to avoid extreme positions in the opposition between structuralist and relativist conceptions of science. For this, some key concepts of the IBE are presented, followed by a proposal of how to adapt them to educational context. As an illustration, this perspective is employed in the historical episode of the photoelectric effect explanation, during the early decades of the 20th century. On the episode are addressed issues such as: the role of the scientific community in the evaluation of scientific knowledge, the indeterminacy of scientific theories by the available evidence, and the influence of personal interests in the evaluation of scientific theories.

Keywords: Inference to the Best Explanation; Nature of Science; History of Science; Philosophy of Science.

INTRODUÇÃO

A Filosofia da Ciência é uma subárea da Filosofia, preocupada com os fundamentos, métodos e implicações da Ciência. Nas últimas décadas, a área de Educação em Ciências começou a se apropriar de elementos da Filosofia da Ciência, buscando promover uma formação cidadã mais reflexiva sobre as práticas da Ciência (e.g., Acevedo, Vázquez, Paixão, Acevedo, Oliva, & Manassero, 2005; Matthews, 1995; Praia, Pérez, & Vilches, 2007; Reis & Galvão, 2005). Ganha destaque nesse sentido a discussão de elementos de Natureza da Ciência (NdC), que possibilita conhecer (e problematizar) os mecanismos que regulam a atividade científica (Batista & Drummond, 2015; Rodrigues Jr., Luna, Linhares, & Hygino, 2015). Abordar aspectos da NdC é considerada uma forma de promover alfabetização científica por meio da educação *sobre* e *pela* Ciência, relacionada à compreensão das práticas, dos propósitos e da História da Ciência (Abd-El-Khalick, 2013; Acevedo *et al.*, 2005; Vázquez-Alonso, Manassero-Mas, Acevedo-Díaz, & Acevedo-Romero, 2008). Embora não seja possível apresentar uma definição *única* para o termo (Alters, 1997), em linhas gerais NdC engloba o conjunto de saberes sobre aspectos filosóficos, históricos e culturais da Ciência. Como dito por Lederman (1992), NdC tipicamente se refere à epistemologia da Ciência, à Ciência como um modo de saber, ou aos valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento. Dessa forma, estudar a natureza da Ciência significa compreender como o conhecimento científico é construído em cada contexto e em cada época, tendo como base suas concepções filosóficas, ideológicas e metodológicas.

Uma referência de destaque para as abordagens do ensino de ciências é o debate ocorrido na filosofia da ciência ao longo do século XX. Nesse período, foram propostos influentes modelos com o objetivo de caracterizar a atividade científica (e.g., Feyerabend, 1977; Kuhn, 1998; Lakatos, 1989; Laudan, 1978; Popper, 1962). Esses modelos possuem divergências importantes entre si, mas possuem também pontos em comum (Batista & Peduzzi, 2019). O trabalho desses autores, e de muitos outros, apontou os limites do monopólio da epistemologia enquanto área para entender toda a complexidade do desenvolvimento da ciência. Como consequência, a história e a sociologia da ciência passaram a ganhar destaque cada vez maior. Outra consequência foi a problematização de crenças bem estabelecidas sobre o funcionamento da ciência, como o “desenvolvimento linear da ciência”, a relação direta entre teorias e experimentos, e a defesa de um método científico único (Damasio & Peduzzi, 2015).

Já quanto à forma de abordar a natureza da ciência, uma miríade de possibilidades pode ser encontrada na literatura: práticas voltadas para o *fazer* científico, como o ensino por investigação (Duschl & Grandy, 2013); o estudo de princípios heurísticos representativos da ciência, como a Visão Consensual (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002); e abordar episódios da História da Ciência como ponto de partida para discutir as características do conhecimento científico, como o que é feito pela História Cultural da Ciência (Burke, 2005). Com respeito ao uso da história da Ciência, pode-se ressaltar três justificativas para usá-la na abordagem de aspectos da NdC em contexto instrucional. A primeira delas está relacionada com o aprendizado de aspectos da NdC em si, destacando-se sua importância para promover uma boa compreensão da NdC (e.g., Bhakthavatsalam, 2019; Rudge, Cassidy, Fulford, & Howe, 2014; Williams & Rudge, 2016). Seus defensores consideram que a História da Ciência fornece subsídios para compreender como a Ciência é produzida, como os cientistas trabalham, e quais as influências sofridas e exercidas por eles (e.g., Matthews, 1992). A segunda justificativa é o potencial de utilizar História e Filosofia da Ciência (HFC) para proporcionar compreensão sobre conceitos e desenvolver habilidades científicas. Também é sugerido que a HFC é uma estratégia instrucional apropriada para promover compreensão profunda do conteúdo científico, desenvolver habilidades de raciocínio complexo, aprender procedimentos da Ciência e desenvolver habilidades argumentativas (Henke & Höttecke, 2015). Trabalhos empíricos também respaldam essa visão: por meio de aulas de Ciências enriquecidas com informações históricas (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Lederman *et al.*, 2002), pela realização de experimentos-chaves da História da Ciência, e por meio de reflexões historicamente situadas sobre a NdC (e.g., Bhakthavatsalam, 2019; Matthews, 1992). Já a terceira justificativa diz respeito às atitudes com relação à Ciência. Nesse caso, professores de Ciências e pesquisadores enfatizam o potencial da HFC para aumentar o interesse dos estudantes pela Ciência e incentivar atitudes positivas com relação à História e à Filosofia (Clough, 2011; Höttecke, Henke, & Riess, 2012; Matthews, 1992).

No entanto, embora abordar tópicos de HFC seja defendido (quase) unanimemente pelos pesquisadores em Educação em Ciências (e.g., Matthews, 1995; Niño El-Hani, 2007), essa prática não é rotineira nas salas de aula (Martins, 2007), nem nos livros didáticos (Medeiros & Monteiro, 2002). Martins (2007) atribui esse quadro ao fato de não se tratar de algo simples de fazer. O autor aponta que há um abismo entre o valor atribuído à HFC e a sua utilização, com qualidade, como conteúdo e estratégia didática em sala de aula. Em situações práticas, a HFC ainda é pensada como algo secundário, utilizado a título de “ilustração” para introduzir e motivar o ensino dos temas “regulares” (Martins, 2007).

Outra forma de abordar elementos da NdC na Educação em Ciências é focar em explicações científicas (Alameh & Abd-El-Khalick, 2018; Braaten & Windschitl, 2011; McCain, 2015). Pode-se pensar em dois grandes polos em torno dos quais as pesquisas sobre Explicações se distribuem. O primeiro deles está relacionado ao ato de produzir explicações. Com esse respeito, geralmente são realizados trabalhos que incentivem estudantes a produzir explicações científicas, e a confrontar suas explicações com a de seus colegas ou com resultados científicos. Também são propostos com frequência modelos que busquem facilitar a produção e avaliação de explicações em sala de aula, muitas vezes na forma de *scaffolding* (e.g., Mcneill, Lizotte, Krajcik, & Marx, 2006; Sandoval & Millwood, 2005).

Já o outro polo parte de uma abordagem mais teórica, e principalmente filosófica, sobre o papel que explicações desempenham na Ciência (Alameh & Abd-El-Khalick, 2018; Braaten & Windschitl, 2011; Norris, Guilbert, Smith, Hakimelahi, & Phillips, 2005). Entre as muitas questões abordadas por esses autores, destacamos uma: a justificação do conhecimento científico, com foco especificamente na escolha entre explicações concorrentes. Esse é o escopo de uma abordagem filosófica que se chama Inferência à Melhor Explicação (IME) (Lipton, 2004; Thagard, 2014). Recentemente, autores como McCain (2015) e Wilkenfeld e Lombrozo (2015) apontaram a IME como uma abordagem frutífera para discutir aspectos da filosofia da ciência na educação em Ciências.

Nesse cenário amplo, o presente trabalho surge com o objetivo geral de introduzir um modo de abordar episódios da história da ciência com foco explícito nas explicações científicas. De modo específico, o objetivo é abordar controvérsias explicativas utilizando conceitos oriundos da IME. Assim, olha-se para a produção de explicações científicas enquanto processo, em vez de olhar para as explicações acabadas depois que elas são adotadas pela comunidade científica (Raicik & Peduzzi, 2016). Neste artigo, essa perspectiva é empregada para abordar questões como a racionalidade e a autoridade do conhecimento científico no ensino de ciências, evitando posições extremas diante da oposição entre perspectivas estruturalistas e relativistas, como será discutido na próxima seção.

ESTRUTURALISMO E RELATIVISMO

Existem diversas concepções sobre a natureza da ciência, algumas delas com forte influência sobre o ensino de ciências. Para refletir/discutir sobre elas, um caminho possível é considerar a variedade de conflitos que surgiram durante a segunda metade do século XX, geralmente opondo cientistas e investigadores das ciências naturais, sobretudo da área da Física, contra teóricos e críticos oriundos de áreas como história e sociologia¹. A discordância se dá por meio de divergências com respeito a concepções epistemológicas, metodológicas e até axiológicas, e se materializa em oposições como: realismo vs antirrealismo (Bagdonas, Zanetic, & Gurgel, 2014), racionalismo vs relativismo (Damasio & Peduzzi, 2015), estruturalismo vs relativismo (Jardim & Guerra, 2017)².

Essa oposição é relevante porque o conhecimento científico se viu, durante séculos, como autônomo em relação a outras áreas de conhecimento, imune a condições sociais, psicológicas, históricas, morais, religiosas, etc. No entanto, em meados do século XX esse cenário mudou. A partir de seus estudos sobre a história da ciência, autores como Paul Feyerabend (1977) e Thomas Kuhn (1998) levantaram dúvida sobre a objetividade e a universalidade do conhecimento científico³. Como resultado, ocorreu o que ficou conhecido como “virada sociológica” nessa área – com o surgimento de escolas sociológicas como as de Paris, Bath e Edimburgo. Nesse cenário, surgiram autores que destacam os aspectos irracionais da produção do conhecimento científico, além de sua estreita relação com fenômenos históricos, sociais e culturais. O objetivo era relativizar a aura de certeza e autonomia da ciência, apresentando-a como uma construção social.

¹ Vários autores chamam atenção para o fato de ser demasiado simplista identificar os cientistas, por um lado, e os sociólogos, historiadores e filósofos, pelo outro, como adversários. Como Michael Lynch (2001) destaca, há cientistas que deram contribuições relevantes para a sociologia das ciências (como Gerald Holton), assim como há filósofos que atacam o relativismo e o construtivismo (como Mario Bunge, Susan Haak ou Noretta Koertge). De modo geral, é reducionista e simplista categorizar quem está contra quem. No entanto, há críticas e trocas de argumentação entre as partes que são extremamente claras e diretas, e que expressam questões importantes. São estas as questões que a presente seção busca abordar.

² Vale ressaltar que essas dicotomias são abordadas aqui enquanto simplificações didáticas que, na realidade, representam posições filosóficas abrangentes e diversas. Elas também podem contrapor posições filosóficas que, a princípio, não foram propostas como soluções para um mesmo problema filosófico, como é o caso da oposição entre relativismo e racionalismo (Damasio & Peduzzi, 2015).

³ Embora esta desconfiança já possa ser percebida na crítica de David Hume à indução, e nas obras dos chamados filósofos da suspeita: Nietzsche, Freud e Marx.

Como recorte, vamos focar na faceta dessa questão voltada ao contraponto entre estruturalismo e relativismo. O estruturalismo é uma corrente de pensamento presente em disciplinas como psicologia, filosofia, antropologia e sociologia, que se inspirou no modelo da linguística proposto por Ferdinand Saussure na década de 1910. Essa perspectiva concebe a realidade social a partir de um conjunto considerado elementar (ou formal) de relações (Vasconcelos, 2014). De forma resumida, o método estruturalista consiste na análise da realidade social a partir da construção de modelos que expliquem seu funcionamento, por meio de um conjunto de estruturas universais. Quando aplicadas à Ciência, noções estruturalistas buscam identificar padrões e regularidades no desenvolvimento da ciência. Um exemplo são os falsificacionistas que, baseados em Popper (1962), consideravam que a falseabilidade é o critério que separa o que é ciência daquilo que não é. Um estruturalista extremo dá grande valor à sua estrutura, acreditando que ela leve à verdade. Essas estruturas podem ser utilizadas como critério de demarcação e/ou para definir (normativamente) como a ciência deve funcionar. Segundo perspectivas desse tipo, exemplos históricos servem para respaldar tais concepções, consideradas universais e atemporais. Como ressaltado por Slezak (1994), uma concepção desse tipo também flerta com uma visão essencialista da ciência, em que se acredita que há uma essência, ou um conjunto de critérios, que descrevam as atividades e as investigações consideradas científicas. Dessa forma, o objetivo da filosofia da ciência seria produzir modelos tão próximos quanto possível dessa “essência” científica.

No entanto, o estruturalismo despreza as condições históricas, e desde sua origem esse movimento é criticado por estabelecer certo determinismo estrutural, em detrimento à habilidade de pessoas individuais de atuar; e de ignorar as particularidades de diversas áreas da ciência (Sales, 2003). Além disso, é bem documentado pela história da ciência que se os padrões da lógica e da racionalidade tivessem sido aplicados com rigor, teriam sido muito prejudiciais para o desenvolvimento da ciência (Damasio & Peduzzi, 2015). Por conta disso, o estruturalismo tem sido abandonado, dando lugar ao que ficou conhecido por pós-estruturalismo (Casali & Gonçalves, 2018).

Já o relativismo é uma corrente de pensamento que se opõe fundamentalmente ao estruturalismo. O relativismo é associado principalmente ao conhecimento de ciências humanas, como antropologia e filosofia. Ele questiona as verdades universais, desconstruindo crenças estabelecidas previamente. Aquele que relativiza suas opiniões é aquele que acredita na existência de mais de uma verdade, a partir de diferentes perspectivas, e que não há necessariamente uma interpretação única para entender algo. Ao olhar para a ciência, o relativista considera que a ciência é apenas mais uma tradição, e perde sua condição de privilegiada. Com respeito à racionalidade, por exemplo, o relativista nega que haja um padrão único, universal e não-histórico, com o qual se possa julgar que uma teoria seja melhor do que outra (Chalmers, 1993). Podemos citar Paul Feyerabend como um exemplo célebre de postura epistemológica relativista – apesar de não se tratar de um relativista extremo, como apresentado por Damasio e Peduzzi (2015). Feyerabend (1977) argumenta que a ideia de um método com princípios fixos e universais é insustentável a partir da perspectiva historiográfica, pois não há uma regra única sequer que não seja violada ao se analisar a história da ciência. Considerando posições mais radicais, o programa forte da sociologia da ciência (proposto por sociólogos como Latour, Woogar, Pinch, Collins, Bloor e Shapin) descreve a ciência como refletindo somente interesses e relações de poder entre diferentes grupos (Bagdonas *et al.*, 2014). O determinismo social que esse relativismo radical propõe tem sido contestado por diversos historiadores, filósofos e sociólogos da ciência (Duarte, 2005). Além disso, educadores como Pietrocola (1999) se preocupam que o fortalecimento do relativismo radical faça a ciência perder credibilidade em comparação com outras tradições sociais, como religião e astrologia.

Trazendo a discussão para o âmbito do ensino de ciências, o “ensino tradicional”, tão criticado por ser excessivamente racionalista e por propagar concepções positivistas e empiristas, possui afinidade com uma visão estruturalista, embora nem sempre uma estrutura seja apresentada explicitamente. Além disso, perspectivas de ensino pautadas numa visão estruturalista costumam não abordar a complexidade da filosofia da ciência. Em vez, se limitam a discutir questões filosóficas (e muitas vezes controversas) por meio da defesa de uma visão específica, criticando as demais (Bagdonas *et al.*, 2014). O problema de adotar uma perspectiva como essa é conceber o ensino de ciências (e da filosofia da ciência, principalmente) como a propagação de ideias prontas, e não como uma atividade fundamentalmente reflexiva. Como dito por Bagdonas *et al.* (2014), uma visão do conhecimento científico limitada a proposições positivas sobre o mundo contribui para a formação de sujeitos alienados. Mas as críticas ao estruturalismo não significam que o relativismo seja o caminho ideal para ensinar sobre a natureza da ciência. Nola e Irzik (2005) criticaram a importância exagerada que se tem atribuído à dimensão social para a atividade científica. Esses autores defendem uma concepção realista e racionalista da ciência, recusando a visão de que os conteúdos científicos sejam amplamente determinados por variáveis sociais. A crítica desses autores se direciona aos entusiastas do “programa forte” da sociologia.

Uma saída para esse empasse é adotar postura moderada nos debates controversos sobre a natureza da ciência (Eflin, Glennan, & Reisch, 1999; Pietrocola, 1999), evitando posições radicais de ambos os lados. Abordagens mais voltadas ao estruturalismo ou ao relativismo podem ser legítimas para atenderem a objetivos pedagógicos distintos. Quando o objetivo é o ensino da maior quantidade de conteúdo no menor tempo possível, na formação de cientistas, por exemplo, o uso de uma reconstrução racional da história da ciência pode ser uma boa opção, desde que isto esteja explícito e seja uma escolha consciente. Por outro lado, se pudermos proporcionar uma desejável formação crítica sobre a ciência, reconhecendo o seu valor e os perigos da confiança cega em sua autoridade, então a problematização de questões sociológicas e históricas será muito bem-vinda.

Bagdonas *et al.* (2014) consideraram que:

“sendo a ciência uma produção humana tão complexa e diversificada, não nos cabe assumir, a princípio, que fatores sociais, culturais, políticos e econômicos sejam sempre mais ou menos importantes que fatores experimentais, lógicos ou racionais. Cada caso deve ser analisado separadamente, tanto no âmbito dos estudos de sociologia, história e filosofia da ciência, quanto nas discussões sobre as ciências no contexto da educação” (p.253).

Estamos de acordo com autores que reconhecem o valor da pluralidade de abordagens historiográficas e filosóficas. Nesse sentido, rejeitam-se posturas dogmáticas que dificultem o surgimento de abordagens diferentes.

O PAPEL DAS EXPLICAÇÕES NA CIÊNCIA E ALGUMAS IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

Como a ciência é uma atividade complexa, diversas facetas/dimensões da atividade científica podem ser usadas como ponto de partida para discutir sua natureza. Exemplos incluem o foco na experimentação (Raicik & Peduzzi, 2015), modelagem científica (Heidemann, Araujo, & Veit, 2016), influência de elementos culturais (Burke, 2005), argumentação (Jímenez-Aleixandre & Erduran, 2007), entre outros. O foco deste trabalho é direcionado para explicações científicas, uma alternativa que tem recebido atenção da área de Educação em Ciências recentemente, principalmente na literatura internacional (Braaten & Windschitl, 2011; McCain, 2015; Norris *et al.*, 2005; Rodrigues & Pereira, 2018). Focar em explicações significa destacar o papel central que a produção e avaliação de explicações desempenha na ciência.

Explicação é um conceito difícil de definir de forma simples (Norris *et al.*, 2005). Uma possibilidade é considerar que explicação é, essencialmente, o ato de tentar tornar algo compreensível, claro, ou inteligível (Brewer *et al.*, 2000). A questão é que quase tudo pode ser alvo de uma explicação concebida de forma tão ampla: palavras, poemas, expressões faciais e fenômenos naturais. Passmore (1962) investigou explicações na vida cotidiana, na ciência e na história, concluindo que elas podem atender a diversas funções diferentes. As funções mais frequentes são: atribuir, desenvolver ou expandir significados; oferecer justificativas; fornecer uma descrição; e apresentar uma relação de causalidade.

Na filosofia, as explicações ganharam destaque a partir da publicação do artigo seminal de Hempel e Oppenheim (1948), com diversos filósofos se debruçando sobre o tema desde então. Como resultado, foram desenvolvidos diversos modelos explicativos, que buscam entender o papel que explicações desempenham na ciência e identificar a estrutura lógica que melhor representa o “raciocínio científico” (e.g. Kitcher, 1981; Salmon, 1984; Van Frassen, 1980). O filósofo Kevin McCain (2015), por exemplo, considera que a ciência possui três objetivos primários: prever, controlar e explicar fenômenos naturais, com ramos diversos da Ciência enfatizando alguns desses objetivos mais do que outros. Físicos teóricos, por exemplo, podem explorar os méritos da Teoria de Cordas sem gastar muito tempo com o controle de fenômenos, enquanto o controle de infecções e doenças é importante para bioquímicos que pesquisam novos medicamentos. Mesmo quando áreas tão distintas são consideradas, Strevens (2006) defende que *explicar* está entre os principais objetivos da atividade científica.

Para McCain (2015), o que torna as explicações tão importantes é o seu propósito. Explicações bem-sucedidas ampliam nossa compreensão sobre o mundo⁴. Dessa forma, mesmo ao reconhecer que a previsão e o controle são objetivos importantes da Ciência, a explicação pode ser considerada ainda mais

⁴ Há toda uma discussão na epistemologia sobre o que é entendimento, em que medida explicações produzem conhecimento, e qual a confiabilidade desse conhecimento. Com exceção da última, aprofundar estas questões está fora do escopo deste texto. Indica-se a leitura de McCain (2015) ao leitor interessado em se aprofundar nas demais questões.

fundamental, por possibilitar que a previsão e o controle tão desejados sejam alcançados. De modo geral, é razoável considerar o entendimento um estágio epistêmico anterior, aquilo que torna possível que previsões sejam feitas e que fenômenos sejam controlados. No final das contas, os cientistas não são capazes de prever ou controlar fenômenos sobre os quais não tenham um mínimo de entendimento. Dessa forma, McCain (2015) considera mais preciso dizer que o objetivo principal da Ciência é *produzir entendimento via explicações*. Assim, usar o entendimento obtido via explicações para realizar previsões precisas e ampliar o controle sobre fenômenos seriam importantes objetivos secundários da Ciência. Um resultado importante de reflexões como essa é reconhecer a centralidade que a busca por compreensão/entendimento possui para a Ciência, mas outro é reconhecer o fato de que *o veículo por meio do qual nós tipicamente ganhamos entendimento é a explicação*.

Mais recentemente, modos discursivos, como argumentação e explicação, passaram a ganhar mais destaque em pesquisas sobre o ensino de ciências (Rodrigues & Pereira, 2018). Os trabalhos centrados em explicações (Braaten & Windschitl, 2011; McNeill et al., 2006; Norris et al., 2005) indicam uma mudança de foco no que diz respeito a objetivos pedagógicos. O ensino de Ciências tem, tradicionalmente, privilegiado a transmissão do conhecimento atualmente estabelecido, ou seja, as explicações que são atualmente consideradas corretas (Wilkenfeld & Lombrozo, 2015). Mas alguns questionamentos surgem quando explicações são colocadas no centro da discussão. Por que algumas explicações são estabelecidas como conhecimento científico, e outras não? Como definir qual a melhor explicação entre concorrentes que se propõem a explicar um mesmo fenômeno? Até que medida pode-se confiar no entendimento proporcionado por essas explicações? Essas são questões muito debatidas na área de epistemologia, mas discutir esses aspectos é oportuno também para abordar a NdC em contexto instrucional. Se for aceito que explicações são fundamentais para a prática científica, ter noção sobre a produção e avaliação de explicações se torna naturalmente relevante para o ensino da NdC (Braaten & Windschitl, 2011; Norris et al., 2005).

Nesse cenário, pretendemos utilizar o confronto entre explicações concorrentes em diferentes momentos da história da ciência (as controvérsias explicativas históricas) para abordar elementos da NdC no ensino de ciências. A análise histórica de explicações científicas vai além da compreensão das explicações em si. Ganha destaque discussões que possibilitem problematizar as circunstâncias que envolveram a produção das explicações em questão, por que essas explicações foram consideradas mais adequadas que suas concorrentes no contexto histórico em questão, como elementos culturais/sociais podem influenciar nessa avaliação, e como esses elementos influenciam na confiança e na validade dessas explicações. Para isso, é importante problematizar a visão de que as explicações científicas sejam verdades absolutas, e traduções literais dos mecanismos de funcionamento da natureza. Também é importante que o conhecimento gerado pelas explicações científicas seja apresentado como um processo histórico, objeto de contínua transformação (Batista & Drummond, 2015). Na próxima seção é introduzida a IME como aporte teórico para abordar essas questões.

A INFERÊNCIA À MELHOR EXPLICAÇÃO: UMA BREVE INTRODUÇÃO

Como foi visto, explicar é o ato de tornar algo inteligível ou compreensível. Mas dentre as explicações que podem ser criadas para explicar algo, apenas as explicações que forem consideradas plausíveis serão capazes de proporcionar entendimento sobre a natureza. Dessa forma, é necessário estabelecer algum modo de avaliar a qualidade dessas explicações (McCain, 2015). A Inferência à Melhor Explicação aborda essa questão, e tem recebido destaque nas últimas décadas (Lipton, 2004; McCain, 2015). Esse termo foi introduzido no artigo pioneiro de Gilbert Harman (1965), sendo aprofundado desde então. Seus entusiastas afirmam que utilizamos a IME com tanta frequência em nossas vidas que ela pode ser “tão rotineira e automática que facilmente passa despercebida” (Douven, 2017, p. 3, nossa tradução). Exemplos do seu emprego abrangem desde diagnósticos médicos até a compreensão da linguagem – quando estamos interpretando o que um falante quer dizer (Dascal, 1979). Exemplos paradigmáticos desse tipo de inferência também são encontrados nas Ciências Naturais. Entre as evidências que a Ciência usa estão as teorias aceitas naquele domínio e observações experimentais que tenham sido feitas. Lycan (2002) utiliza a seguinte representação esquemática da estrutura geral da IME:

F_1, F_2, \dots, F_n são fatos que precisam ser explicados (F_i).
A hipótese H explica os fatos que precisam ser explicados.
Nenhuma hipótese competidora explica os F_i tão bem quanto H faz.

Assim, H é considerada a melhor explicação.

A estrutura é simples, mas como identificar qual é a melhor explicação dentro de um conjunto dado? Para começar, é importante discutir o que pode tornar uma explicação melhor do que outra. Os critérios que

influenciam a escolha entre explicações concorrentes são chamados de *virtudes explicativas*. Filósofos como Thagard (2004), Lipton (2004) e Day e Kincaid (1994) identificam o uso de uma série de virtudes explicativas em contextos científicos diversos⁵. Adequação empírica (explicar dados empíricos relevantes), vários tipos de simplicidade, poder explicativo (o alcance do fenômeno explicado, ou quão iluminadora a explicação é), consistência com teorias atualmente aceitas (conservadorismo epistêmico), não incluir hipóteses *ad-hoc*, poder preditivo e o fato de levantar menos questões sem respostas que as concorrentes são apenas algumas das virtudes destacadas.

Em geral, inferências à melhor explicação avaliam as várias hipóteses disponíveis em termo de suas virtudes explicativas, inferindo-se que a hipótese mais virtuosamente explicativa é a (mais provavelmente) verdadeira. Assim, mesmo se várias hipóteses competidoras explicarem todos os fatos relevantes, ainda pode haver uma melhor explicação entre elas. Essa explicação será aquela que satisfizer melhor as virtudes explicativas consideradas relevantes para aquele contexto (Lipton, 2004). Dessa forma, bastaria quantificar o peso dessas virtudes explicativas para chegar a um veredito objetivo sobre qual é a melhor explicação disponível para cada caso. Mas quando situações variadas, e em áreas científicas diversas, são analisadas, percebe-se que as virtudes relevantes mudam de um caso para outro. A ideia de um conhecimento científico positivo e isento de diferenças de opinião é uma fantasia. O empreendimento científico é heterogêneo, e não há uma visão de mundo científica única (Damasio & Peduzzi, 2015). Além disso, virtudes explicativas nem tão racionais podem desempenhar papel importante. A história da ciência demonstra que dada qualquer regra, que pode ser classificada como fundamental ou racional, sempre existem situações onde o mais aconselhável é não somente ignorá-la, mas também adotar a postura ditada por uma regra oposta. Feyerabend (1977) foi um defensor de que há circunstâncias em que é necessário elaborar e defender hipóteses *ad-hoc* que contradigam resultados experimentais aceitos e estabelecidos, ou que gerem um conteúdo empírico menor que a alternativa existente. Como ilustrado por Damasio e Peduzzi (2015), Feyerabend citou biógrafos de Niels Bohr que relataram sua abdicação das considerações usuais de simplicidade, elegância ou consistência. Esses autores afirmam que versões logicamente consistentes de teorias (se existirem) só são possíveis depois de versões imperfeitas terem enriquecido a ciência (Damasio & Peduzzi, 2015).

Para entender essa variação do valor atribuído a cada virtude explicativa em diferentes contextos, é utilizada a ideia de *crenças de fundo* (*background beliefs*) (Lipton, 2004). Essas são crenças sobre o tipo de descrição que é aceita como genuinamente explicativa. Considerando o exemplo de um detetive investigando um assassinato: ele pode assumir que coletar impressões digitais e procurar pela arma do crime seja relevante para resolver o caso. Essas evidências vão levá-lo a inferir quem cometeu o crime. Mas por que ele deve considerar que impressões digitais são uma boa evidência? Suas crenças de fundo respondem a esse tipo de questão. Elas informam a adequação geral dos métodos utilizados pelo detetive. Ou seja, o detetive está preocupado em juntar provas que estejam de acordo com o que ele considera relevante como evidência, mas são as crenças de fundo dele que determinam quais dessas evidências são relevantes a considerar ou ignorar (Day & Kincaid, 1994). Dessa forma, julgar uma explicação como sendo a melhor depende de dois fatores: as crenças de fundo e as virtudes explicativas consideradas (Thagard, 2004). Como a relevância atribuída a diferentes crenças de fundo e virtudes explicativas depende do contexto em questão, *é possível que uma mesma hipótese possa fornecer uma boa explicação em um contexto, mas não seja aceita em outro* (Junges, 2008).

Uma consequência dessa visão é que a IME considera a existência de “racionalidades contextuais”, em detrimento de uma forma única e absoluta de racionalidade. Quando duas explicações discordam, geralmente assume-se que uma delas – ou ambas – está errada, mas não que as duas possam estar corretas. Se for considerada uma única forma de racionalidade, torna-se simples (em princípio) categorizar algo como racional. Basta confrontá-lo com o conjunto de características que seja considerado racional. No entanto, a história e a sociologia da ciência apontam como cada contexto possui regras racionais próprias (Feyerabend, 1977). Essa visão é exemplificada se pensarmos em decisões científicas feitas a partir de paradigmas científicos distintos (Kuhn, 1998). O que faz com que um cientista, ou um grupo deles, decida se um experimento está terminado e pronto para ser divulgado, por exemplo, faz parte do contexto em que o experimento foi construído, estando subordinado ao conjunto de práticas científicas aceitas naquele contexto de validação (Jardim & Guerra, 2017). Já cientistas diferentes podem chegar a conclusões diversas sobre os procedimentos e métodos adequados para conduzir suas pesquisas. E, por conta da incomensurabilidade entre paradigmas distintos, não faz sentido considerar qual dessas perspectivas é a mais racional de fato (Mendonça & Videira, 2007). Aliado a isso, há também a influência de elementos subjetivos. Como destacado por Raicik e Peduzzi (2016), alguns cientistas podem valorizar mais do que outros a originalidade, assumindo mais riscos por conta disso, ou preferir teorias mais abrangentes e

⁵ Exemplos desses contextos históricos são explorados na seção seguinte.

unificadas a soluções exatas e detalhadas de problemas com menor abrangência. Dessa forma, toda escolha individual entre teorias rivais depende de uma mescla de fatores objetivos e subjetivos.

Outro exemplo de racionalidade local ocorre ao compararmos o debate entre especialistas em uma área e a discussão envolvendo céticos (ou leigos). Quando um conjunto de especialistas em um determinado campo debate sobre um tema de amplo conhecimento comum, várias peças de conhecimento são assumidas como pano de fundo compartilhado pelos membros do grupo. Já quando o debate envolve leigos externos ao domínio da disciplina em questão, não se pode presumir que haja extenso conhecimento de fundo compartilhado, nem que a confiabilidade das evidências seja tomada como garantida. Como os leigos podem não compartilhar das crenças de fundo que os especialistas possuem, o julgamento das *mesmas evidências* pode levar a resultados divergentes entre os dois grupos (Day & Kincaid, 1994). Isso é bem ilustrado pela discussão sobre as causas antropogênicas do aquecimento global. Enquanto na comunidade científica há amplo consenso sobre a influência humana no aumento da temperatura média do planeta, entre o público geral essa questão ainda é tratada como controversa (Junges & Massoni, 2018).

O diferencial da IME, com relação às demais abordagens sobre explicações, é ir além de considerar apenas as explicações envolvidas, dando destaque também para as crenças de fundo nas quais cada uma das explicações se baseou e, conseqüentemente, a lógica por trás do raciocínio de seus defensores. Além disso, segundo a IME, a Ciência é vista como uma atividade essencialmente *competitiva*. Não se pode saber o valor científico de uma hipótese sobre um conjunto de evidências olhando simplesmente para as evidências e a hipótese em questão. São necessárias *outras* explicações possíveis para compará-las com essa hipótese. Muitas vezes a evidência utilizada para refutar uma teoria só é revelada com o auxílio de uma alternativa incompatível. Além disso, algumas das mais importantes propriedades formais de uma teoria são obtidas não por análise, mas por contraste. Dessa forma, para compreender claramente uma teoria e maximizar seu conteúdo, é aconselhável introduzir outras concepções por meio de uma metodologia pluralista (Damasio & Peduzzi, 2015). Às vezes uma hipótese parece muito provável, uma vez que ela dá conta do conhecimento disponível muito bem, mas então surge uma hipótese que parece ainda mais provável e repentinamente a primeira explicação perde força. O inverso também pode acontecer. Uma hipótese pode parecer uma explicação pobre, mas se todas as teorias alternativas são ainda piores, a hipótese se torna mais plausível.

Com esse resumo breve sobre a IME, pode-se esboçar um quadro do conhecimento científico segundo esta perspectiva. Inferir à melhor explicação consiste em avaliar (comparativamente) as hipóteses explicativas que são geradas por diferentes teorias científicas, por meio de um conjunto de virtudes explicativas e crenças de fundo (McCain, 2015). No entanto, é importante notar que a IME não é um processo que leva a inferir a *única* explicação possível. IME nunca pode mostrar que uma explicação *precisa* ser verdadeira, mas (no máximo) que é mais provável de ser verdadeira que suas concorrentes em contexto no qual certas crenças de fundo são consideradas (Wilkenfeld & Lombrozo, 2015). O processo exato pelo qual ganhamos conhecimento e avaliamos a qualidade de explicações concorrentes é muito mais complexo do que o que temos aqui, mas esse quadro nos dá uma boa noção sobre como as várias peças do quebra-cabeças se encaixam para gerar conhecimento e entendimento científico (McCain, 2015). Na próxima seção, é discutido como essa perspectiva pode ser utilizada para abordar episódios da história da ciência no ensino de ciências.

ADAPTANDO A INFERÊNCIA À MELHOR EXPLICAÇÃO PARA O ENSINO DE NATUREZA DA CIÊNCIA

Na seção anterior foram apresentadas, de forma breve, algumas das principais características da Inferência à Melhor Explicação. Considerando que um dos principais objetivos da atividade científica é proporcionar explicações que levem à compreensão da natureza, entende-se que é no confronto entre explicações concorrentes que hipóteses científicas são criadas e avaliadas. O objetivo deste texto não é discutir a adequação da IME enquanto representação da atividade científica, mas sim apontar como ela pode ser adaptada para fornecer um modelo útil para problematizar a racionalidade e a justificação do conhecimento científico no ensino de ciências. Para isso, o cerne da proposta consiste em explorar controvérsias explicativas históricas, utilizando os conceitos de virtudes explicativas e crenças de fundo.

Ao olhar para episódios históricos, inúmeros são os exemplos apontados como ilustrações do uso da Inferência à Melhor Explicação na Ciência. Alguns deles incluem: a disputa entre o modelo heliocêntrico do sistema solar de Copérnico e o modelo geocêntrico da teoria Ptolomaica (Gauch, 2012); a disputa entre a teoria da combustão do oxigênio de Antoine Lavoisier e a teoria do flogístico (Thagard, 1978); e a descoberta do elétron por J. J. Thomson para explicar o comportamento de raios catódicos (Achinstein,

2001). Episódios de IME são identificados com tanta frequência no raciocínio científico que Ernan McMullin chega a se referir a ela como “a inferência que faz a Ciência” (McMullin, 1992, p. 144, nossa tradução).

Olhemos para três episódios históricos com um pouco mais de detalhe. O primeiro deles é a resistência dos cientistas do século XVII a aceitar a lei da gravitação universal proposta por Isaac Newton. A filosofia mecânica do século XVII considerava que causas não podiam atuar a distância, exatamente o que as forças propostas por Newton faziam (Day & Kincaid, 1994). Como a lei da gravitação universal não atendia a essa importante crença de fundo da época, a teoria enfrentou forte resistência, a princípio. Só com o passar dos anos, com a capacidade preditiva da teoria superior à de suas concorrentes, essa resistência foi sendo revista e posteriormente abandonada, implicando na ampla aceitação da teoria, e adoção de novas crenças de fundo para esse campo do conhecimento (Gingras, 2001).

O segundo caso é a recusa de Albert Einstein em aceitar a realidade física proposta pela Teoria Quântica. Einstein rejeitou a Teoria Quântica porque, entre outras razões, ela falhava em fornecer previsões determinísticas para os fenômenos, uma virtude explicativa que Einstein considerava valiosa demais para abandonar. O subsequente desenvolvimento teórico e sucesso empírico da Física Quântica fez com que a comunidade científica fosse, gradativamente, abrindo mão dessa exigência. Como resultado, a física quântica não atendeu às expectativas de Einstein, que teve sua crença sobre o que seria necessário para uma explicação satisfatória eclipsada pelo sucesso explicativo da teoria (Day & Kincaid, 1994).

E, por fim, um terceiro exemplo interessante ocorreu na astronomia do século XIX. No começo daquele século foi percebido que a órbita de Urano, um dos sete planetas conhecidos na época, diferia da órbita prevista com base na teoria da gravitação universal de Newton. Uma conclusão possível era que a teoria de Newton havia sido refutada. No entanto, dado o grande sucesso da teoria por (na época) mais de dois séculos, essa explicação não aderiu bem às crenças de fundo vigentes. Dois astrônomos, John Couch Adams e Urbain Le Verrier (independentemente um do outro, mas quase simultaneamente) sugeriram que havia um oitavo planeta, ainda desconhecido, no sistema solar (Douven, 2017). De acordo com os dois cientistas, isto proporcionava uma boa explicação do desvio da órbita de Urano. Não muito tempo depois, esse planeta, que agora é conhecido como Netuno, foi observado pela primeira vez.

Mas isto gerou um precedente: quando um planeta desvia do seu curso Newtoniano, a gravidade de algum outro planeta desconhecido deve ser a responsável. Mercúrio foi o próximo planeta cuja órbita foi notada por estar um pouco imprecisa⁶. O próprio Le Verrier considerou que a melhor explicação, é claro, era haver outro planeta, cuja órbita foi calculada para estar dentro da órbita de Mercúrio, ainda mais perto do Sol. Esse novo planeta foi chamado de Vulcano. A hipótese de Vulcano era uma boa explicação da alteração da órbita de mercúrio? Talvez, mas a única alternativa (prática) seria dizer que a mecânica newtoniana estava equivocada (supondo que as observações estivessem corretas), e a mecânica newtoniana estava entre as maiores realizações científicas da humanidade. Nos anos seguintes, alguns astrônomos chegaram a reivindicar ter observado Vulcano, mas a maioria não conseguiu observá-lo, e a hipótese definiu. Alternativas foram propostas, como a existência de um satélite de Mercúrio; massas até 10% maiores para o planeta Vênus; um achatamento gravitacional do Sol; e modificações na lei da gravitação universal. Mas todas elas possuíam seus problemas, e a anomalia foi ignorada até que uma explicação melhor fosse fornecida (Douven, 2017). O problema foi retomado no fim da década de 1910, quando a teoria da relatividade geral de Einstein previu a órbita observada sem assumir a existência de um planeta entre Mercúrio e o Sol.

Episódios breves como esses ilustram o desenrolar complexo da História da Ciência. Virtudes explicativas, crenças de fundo e teorias são avaliadas e eventualmente abandonadas na tentativa de produzir explicações. No entanto, não existem fórmulas prontas e universais. O emprego do mesmo raciocínio a duas situações semelhantes pode levar a resultados opostos, e a ausência de uma boa explicação pode fazer uma anomalia ser “negligenciada” enquanto não houver uma teoria capaz de resolvê-la. O objetivo deste texto não é fazer uma análise detalhada desses episódios. Busca-se apenas ilustrar discussões que podem ser levantadas ao se aplicar o olhar da IME ao estudo de episódios como esses da História da Ciência.

Características importantes da NdC podem ser contempladas por essa abordagem. Exemplos incluem: o caráter provisório do conhecimento científico; a importância da competição entre teorias rivais; a complexa relação entre teorias e experimentos; e a discussão sobre os critérios utilizados pela Ciência para avaliar o conhecimento que ela produz. Os aspectos sociais e culturais da atividade científica também

⁶ Havia uma discrepância significativa entre os valores previsto e observado para a precessão do periélio (deslocamento ao longo dos anos do ponto da órbita mais próximo do Sol) de mercúrio.

podem ser destacados, ao se explicitar como esses fatores influenciam as explicações produzidas e a escolha entre explicações rivais. A IME permite destacar como os compromissos disciplinares, crenças, conhecimentos prévios, treinamentos e expectativas dos cientistas influenciam o trabalho deles. Esses fatores de fundo afetam a escolha dos cientistas por problemas para investigar e os métodos de investigação, além da observação e interpretação dos resultados. Contrária à crença comum, a Ciência não produz observações neutras. Observações são sempre motivadas e guiadas por certas crenças de fundo, além de só adquirirem significado à luz de questões e problemas inseridos em um quadro teórico mais amplo (Abd-El-Khalick, 2013).

A vantagem que enxergamos em utilizar a IME para abordar episódios históricos é o foco em (1) identificar os compromissos disciplinares, crenças, conhecimentos prévios e expectativas que influenciaram o trabalho dos cientistas em momento particular da História, e (2) refletir, com os estudantes, sobre a racionalidade e objetividade do conhecimento científico, concentrando-se em discussões sobre como o conhecimento científico é produzido, e nas bases utilizadas para justifica-lo. Há ainda o objetivo/vantagem adicional de (3) apresentar aos estudantes não só a explicação que “venceu” a disputa científica⁷ e se tornou conhecimento aceito, mas destacar o processo por meio do qual essa seleção ocorreu.

Por fim, para abordar controvérsias explicativas históricas segundo a IME considera-se importante destacar seis elementos: (1) delimitar o episódio histórico abordado, (2) apresentar o contexto científico da época na qual as explicações em questão foram propostas, (3) destacar as explicações potenciais envolvidas (duas ou mais explicações concorrentes), (4) apontar virtudes explicativas específicas *daquele contexto* para avaliar e justificar as explicações científicas, (5) reconhecer as crenças de fundo nas quais cada uma dessas explicações potenciais se baseia, e (6) identificar aspectos da NdC relevantes para serem discutidos no contexto em questão. O quadro 1, a seguir, sintetiza esses tópicos.

Quadro1. Esquematização da abordagem de episódios históricos baseada na IME.

Episódio	Nome do episódio
Contexto científico	Eventos históricos e concepções (teóricas e metodológicas) relevantes para entender o contexto no qual o episódio histórico sob estudo ocorreu.
Explicação potencial 1	Uma das explicações propostas para abordar o problema em questão.
Explicação potencial 2	Explicação concorrente para abordar o problema em questão.
Crenças de fundo de cada uma das explicações envolvidas.	<ul style="list-style-type: none"> • Quais teorias são consideradas válidas para abordar este domínio de conhecimento. • Quais metodologias são consideradas confiáveis para a aquisição e interpretação de evidências. • Fatores sociais/culturais que possam influenciar a avaliação das explicações.
Virtudes explicativas	Critérios utilizados para avaliar qual a melhor entre as explicações consideradas.
Natureza da Ciência	Aspectos da NdC e/ou História da Ciência considerados pertinentes de abordar por meio desse episódio histórico no contexto educacional em questão.

EPISÓDIO HISTÓRICO ILUSTRATIVO: O EFEITO FOTOELÉTRICO

Nesta seção é apresentado um resumo histórico da disputa entre explicações concorrentes para explicar o efeito fotoelétrico durante as primeiras décadas do século XX. Tal discussão fundamenta-se na perspectiva da IME apresentada nas seções anteriores. É pertinente, no entanto, ressaltar que este não se propõe a ser um estudo historiográfico sobre esse episódio, já bem documentado por historiadores da ciência (e.g., Jammer, 1966; Kragh, 1992; Niaz et al., 2010). Utilizam-se resultados do detalhado estudo histórico que Kragh (1992) realizou sobre esse tema para ilustrar como elementos da natureza da ciência podem ser abordados por meio do estudo de explicações científicas segundo a abordagem da IME.

O efeito fotoelétrico é a liberação de elétrons da superfície de um metal quando um feixe de luz incide sobre ela segundo determinadas circunstâncias. A explicação desse fenômeno tem desempenhado

⁷ Neste texto, a expressão “vencer a disputa”, e suas variações, será utilizada para designar, de modo resumido, a explicação adotada pela maior parte da comunidade científica em questão.

papel importante na apresentação de livros didáticos sobre a quantização da energia (Kragh, 1992). Kragh (1992) aponta que, com poucas exceções, a estrutura dessa abordagem é a seguinte: próximo a 1900 a compreensão do efeito fotoelétrico causou uma crise, porque a teoria Ótica Clássica não era capaz de explicar sua ocorrência. Então, em 1905, Einstein brilhantemente resolveu a crise ao aplicar a hipótese de Planck da quantização de energia – que levou ele a conceber a luz como um feixe de quanta de energia, posteriormente chamados de fótons. Como a teoria de Einstein estava em acordo com os experimentos realizados na época, e a teoria clássica não, ela foi rapidamente adotada pelos físicos.

É bem ilustrado na literatura que essa versão da história do efeito fotoelétrico é grosseiramente simplificada, contendo muitos mitos ou erros (Kragh, 1992, 2000). Entre os mitos que geralmente entram na apresentação desta “quase-história” (Whitaker, 1979) estão os seguintes: (1) A teoria de Einstein de 1905 se basear e ser uma extensão natural da teoria de Planck de 1900; (2) o trabalho de Einstein ser uma teoria do efeito fotoelétrico; (3) o núcleo da teoria de Einstein ser a explicação de experimentos que provaram que a energia cinética dos elétrons emitidos depende linearmente da frequência da luz, mas é independente de sua intensidade; (4) esse fato experimental ser inexplicável sem a hipótese do fóton; (5) a explicação de Einstein ser prontamente aceita por não haver alternativa clássica a ela; e (6) experimentos realizados por Millikan em 1916 comprovarem definitivamente a teoria de Einstein. Como Kragh (1992) discute, *todas essas afirmações são representações equivocadas da história real.*

Contexto científico da época

É apresentado a seguir um recorte (naturalmente resumido) do contexto científico no qual este episódio histórico se insere, durante a primeira década do século XX. Começaremos com os experimentos realizados por Philipp Lenard⁸ em 1902. O físico alemão tinha observado empiricamente que a corrente fotoelétrica era proporcional à intensidade da luz incidente no cátodo, mas independente de seu comprimento de onda. Ele também verificou que, ao contrário da corrente elétrica, a energia cinética máxima dos elétrons emitidos não dependia da intensidade da luz incidente. Essa independência da energia máxima dos elétrons com a intensidade luminosa da luz constituía uma anomalia para a Física Clássica? De acordo com a física clássica, a intensidade luminosa de um feixe de luz está relacionada à sua energia. Se for assumido que o Efeito Fotoelétrico envolve a transferência de energia da luz para o elétron, então seria esperado, de acordo com o princípio da conservação da energia, um aumento da energia cinética dos elétrons quanto maior for a intensidade da luz incidente. A partir disso, é comum ser apontado que a teoria clássica era incapaz de explicar por que luz de alta intensidade e baixa frequência não era capaz de liberar um único elétron. Mas esse argumento é falho, porque a observação só é inconsistente com a teoria clássica se for assumido que o mecanismo envolvido é a transmissão de energia da luz para o elétron. Tal consideração não era feita pela maioria dos físicos por volta de 1905.

Além disso, já em 1902 Lenard reconheceu que havia uma inconsistência, mas entre (a) a noção clássica da luz, (b) os resultados experimentais obtidos por ele e (c) a hipótese de que o efeito fotoelétrico é um processo de transmissão de energia. Se qualquer uma dessas premissas é descartada, o problema desaparece (Kragh, 1992). São apresentadas na sequência as explicações potenciais propostas por Lenard e Einstein para resolver essa questão. Cada uma delas vai abrir mão de uma hipótese distinta para resolver a incoerência entre as três ideias citadas. Discute-se então as crenças de fundo nas quais cada uma dessas explicações se baseava, e como elas foram avaliadas pela comunidade científica da época.

Explicação potencial 1: hipótese gatilho de Lenard

Lenard considerou que a premissa (c) estava errada, e que o efeito fotoelétrico deveria ser explicado por um tipo diferente de mecanismo. Logicamente, ele poderia também ter duvidado da validade de (a), de (b), ou qualquer combinação das três, mas isto levaria apenas a mais problemas. Pelo conhecimento que se tinha na época, era natural considerar que a hipótese (c) era a mais fraca delas. Como alternativa, Lenard propôs o que ficou conhecido como hipótese “gatilho” (*trigger*). Segundo ela, a distribuição de energia dos elétrons emitidos não é determinada pela luz incidente, mas pela estrutura interna dos átomos do cátodo. Adotando um modelo atômico simples, ele assumiu que os átomos do metal fossem constituídos de muitos elétrons, cada um com uma velocidade específica e associada a uma frequência característica. Um raio de luz monocromática incidente poderia, então, disparar (*trigger*) o elétron cuja frequência estivesse em ressonância com a frequência da luz. Havendo um limite máximo para a velocidade dos elétrons no átomo, a energia máxima do elétron emitidos dependeria do metal catódico e da composição espectral da luz, de acordo com as observações. Essa explicação se baseava na crença de fundo de que o efeito fotoelétrico não envolvia trocas de energia, e na validade da teoria ondulatória da luz –

⁸ Lenard foi laureado com o prêmio Nobel de Física de 1905 por suas pesquisas com raios catódicos.

amplamente aceita na época. Ela também tinha certo suporte e afinidade com as visões correntes sobre a estrutura do átomo. Além disso, para seus defensores essa explicação tinha as virtudes de estar de acordo com a teoria ondulatória vigente na época, concordar com as observações experimentais realizadas até então e não possuir hipóteses *ad hoc*.

Explicação potencial 2: Einstein e o quantum

Um dos, agora, célebres artigos de Einstein de 1905 apresenta sua explicação para o efeito fotoelétrico. O artigo de Einstein propôs uma nova abordagem para a luz. Ele considerou que a luz consistia de – ou poderia frutiferamente ser considerada composta por – quanta de luz (Kragh, 1992). Na cuidadosa argumentação teórica dele, o efeito fotoelétrico foi apenas um componente, e não era central. Como apenas três das dezessete páginas do artigo lidavam com o efeito fotoelétrico, é um erro se referir ao artigo como uma “teoria sobre o efeito fotoelétrico”. Ao abordar os três aspectos que geravam inconsistência apontados por Lenard, Einstein optou por rejeitar a hipótese (a) – a noção clássica da luz. Entre as principais crenças de fundo nas quais a explicação de Einstein se baseou estavam as leis de radiação de corpo negro. Mas ele não foi de modo algum uma continuação da lei de Planck de 1900. Ele não parte da “revolucionária” lei de radiação de Planck – retrospectivamente celebrada como o nascimento da teoria quântica –, mas da lei não-quântica de Wilhelm Wien de 1896, que é válida apenas para altas frequências. A razão foi que Einstein, em 1905, acreditava que a teoria de Planck não seria compatível com a ideia do quanta de luz proposto por ele (Kragh, 1992). O grande ponto controverso, e posteriormente considerado revolucionário, da explicação de Einstein foi atribuir um comportamento corpuscular para a luz incidente no cátodo fotoelétrico. A hipótese do quanta de luz com energia $E = hv$ foi introduzida teoricamente, e não como resposta a experimentos. Ao conceber o efeito fotoelétrico como um processo de troca de energia, Einstein deduziu a famosa equação $E_m = hv - P$, onde P é a função trabalho do metal do cátodo. Essa (agora famosa) equação não existia até então, nem mesmo como uma regra empírica. O trabalho de Einstein não poderia ser uma resposta teórica para uma anomalia experimental, simplesmente porque tal anomalia não existia na época. Por conta disso, a dedução de Einstein foi uma *previsão*. Até então, não parecia relevante investigar a relação entre a energia máxima dos elétrons emitidos e a frequência da luz incidente, de modo que Lenard e os demais físicos da época não estudaram essa relação.

A década de 1900: Lenard “vence” a disputa

No embate entre as duas explicações, teve grande peso o conservadorismo epistêmico. A princípio, a teoria de Einstein não foi considerada uma alternativa séria pela comunidade de físicos. A razão não é que Einstein tenha sido um gênio (embora ele fosse) e os outros físicos fossem conservadores abraçados a uma visão de mundo antiga (embora alguns fossem). Os físicos, incluindo Einstein, perceberam que havia um alto preço a pagar para aceitar a teoria: abandonar a concepção eletromagnética da luz, uma das mais impressionantes e bem-sucedidas teorias da Física. A maioria dos físicos não desejava pagar esse preço, e não ficaram impressionados pela previsão de Einstein. Vale destacar que nos primeiros anos após sua publicação, a previsão de Einstein ainda não possuía suporte experimental. E mesmo se ela tivesse sido verificada, isto poderia não contar como um experimento crucial. Embora uma dependência linear de E_m com v não siga da hipótese gatilho de Lenard, também não a contradiz.

A radicalidade do fato de a teoria de Einstein ser incompatível com a bem-estabelecida teoria ondulatória da luz fez a maioria dos físicos ignorá-la, ou criticá-la como especulativa e mal fundamentada. A (frequentemente citada) avaliação de Planck na qual ele, junto com Nernst, Rubens e Warburg, propõem que Einstein se torne membro da academia prussiana em 1913 exemplifica a atitude geral: “que ele [Einstein] possa às vezes ter errado o alvo nas suas especulações como, por exemplo, em sua hipótese dos quanta de luz, não pode realmente ser usado demais contra ele, já que não é possível introduzir ideias realmente novas nas Ciências mais exatas sem às vezes correr um risco” (Kirsten & Körber, 1975 como citado em Kragh, 1992, nossa tradução). Por conta desses fatores, a hipótese gatilho de Lenard passou a ser preferida pela maior parte dos físicos, sendo considerada a melhor explicação naquele contexto. A opinião do físico alemão Rudolf Ladenburg de que a hipótese de Lenard pertencia às “verdades amplamente aceitas da Física”, em 1909, foi muito compartilhada por certo tempo (Kragh, 1992).

A década de 1910: Teoria versus Lei

Como a hipótese gatilho “venceu” os primeiros anos do debate, os primeiros experimentos investigando a relação entre a energia máxima do elétron e a frequência da onda incidente não foram conduzidos para testar a lei de Einstein, mas ocorreram segundo o quadro da teoria de Lenard. Levou cerca de 10 anos, de 1906 a 1916, para se chegar à conclusão de que energia e frequência são de fato relacionadas como Einstein previu. Por muitos anos, os dados experimentais mostraram uma disparidade

confusa, que não podia ser tomada como suporte para a lei de Einstein. Muitos físicos experimentais (e.g., Erich Ladenburg, Abraham Joffé, Frederick A. Lindemann, Arthur L. Hughes, Karl Compton e Peter Pringsheim) obtiveram resultados diversos ao tentarem medir a relação entre E_m e v . Foi apenas com a famosa série de experimentos de Robert Millikan, em 1916, que um consenso foi alcançado, e a lei de Einstein foi definitivamente verificada.

No entanto, todos esses experimentos, incluindo os de Millikan, foram fenomenológicos. Eles buscavam estabelecer a curva correta (E_m , v), e não a teoria correta. Os experimentos de Millikan *não* foram uma confirmação da teoria⁹ de Einstein. A confirmação de uma lei (equação) não pode ser identificada com a confirmação de uma teoria. Além disso, o que é mais importante nesse contexto, Millikan não defendia a aceitação da teoria dos quanta de luz. Pelo contrário, como Richardson e Compton tinham feito em 1913 e Hughes em 1914, Millikan utilizou a oportunidade para descartar a “hipótese ousada, para não dizer irresponsável, de Einstein” (Millikan, 1916, p. 355, nossa tradução). Em 1917, no seu livro *The Electron*, ele reafirmou que a explicação de Einstein do efeito fotoelétrico em termos do quanta de luz era “insustentável” e “errada” (1917). Na época, a maior parte dos físicos estava de acordo.

A hipótese do gatilho foi se tornando gradualmente desacreditada, e desapareceu por volta de 1912. Mas a razão não é que a alternativa de Einstein a superou, o que só ocorreu muito tempo depois, e ela também não foi refutada diretamente, porque a teoria vaga e qualitativa de Lenard não era facilmente refutável. A hipótese gatilho foi abandonada por conta do surgimento de novos modelos atômicos, e por que experimentos sobre a ionização fotoelétrica de gases (realizados pelo próprio Lenard e Carl Ramsauer em 1911) mostraram que a ionização era sempre seguida por uma absorção de energia luminosa, o que contradizia a ideia de interação não energética. No entanto, o abandono da hipótese de Lenard não implicou na aceitação da teoria de Einstein. Existiam muitos modos não-Einsteinianos (i.e., sem fóton) de explicar o Efeito Fotoelétrico, e por um tempo eles foram considerados mais promissores que a alternativa radical de Einstein. Os advogados de tais teorias clássicas, ou semi-clássicas, incluíam físicos proeminentes como J. J. Thomson, Arnold Sommerfeld, Hendrik A. Lorentz, Pieter Debye e Max Planck. E as teorias clássicas para o efeito fotoelétrico de Sommerfeld, Planck e Thomson também incluíam uma relação linear entre E_m e v . Outro a fazer isso foi Owen Richardson, que inclusive propôs em 1912 uma teoria para o efeito fotoelétrico a partir da qual ele deduziu exatamente a mesma equação que Einstein tinha obtido em 1905. O conteúdo dessas teorias não será apresentado aqui, mas todas elas concebiam o efeito fotoelétrico como um tipo de fenômeno de ressonância, onde movimentos próprios dos elétrons atômicos eram liberados por uma onda de luz incidente. Essas teorias focaram na estrutura atômica como a chave para entender o efeito fotoelétrico, e consideravam que a energia cinética dos elétrons emitidos não era transferida a partir da luz, mas era pré-existente dentro dos átomos. Por conta disso, apesar de suas particularidades, elas estavam inseridas na tradição de Lenard (Kragh, 1992).

Como essas interpretações não-Einsteinianas mostram, foi perfeitamente possível derivar a *lei* de Einstein sem usar a *teoria* de Einstein. Em geral, é importante distinguir teorias de equações (leis), entre outras razões porque é usualmente a lei que é testada empiricamente, e não a teoria. Se a mesma lei pode ser obtida a partir de diferentes teorias, concordar com as medidas não significa que qualquer uma das teorias em particular seja confirmada. Esse é um exemplo da tese de que *as teorias não são determinadas pelas evidências observacionais disponíveis* (Duhem, 1991; Quine, 1951). Quando surgiu evidência experimental de uma relação linear por volta de 1912, Richardson notou com satisfação que uma confirmação da lei de Einstein não significa uma confirmação da “restritiva e duvidosa hipótese utilizada por Einstein” (Stuewer, 1970, p. 259, nossa tradução).

Quando a hipótese de Einstein é aceita

Por várias razões, especialmente pela aceitação do modelo quântico do átomo de Bohr, as teorias “não Einsteinianas” foram sendo abandonadas a partir de 1914, o que deixou a teoria de Einstein como a única a oferecer uma explicação para o efeito fotoelétrico. Em tal situação a atitude racional a se tomar, supostamente, seria aceitar a teoria de Einstein – porque uma teoria controversa parece melhor do que nenhuma teoria. Mas não foi isso o que aconteceu. Durante o período de 1914 até por volta de 1922, muitos físicos estavam dispostos a seguir sem uma explicação teórica para o efeito fotoelétrico. A estratégia preferida foi aceitar a lei de Einstein, considerando-a como uma lei fenomenológica, e não como uma consequência da teoria de Einstein do quanta de luz (Kragh, 1992).

⁹ Adotamos as definições de lei e teoria utilizadas por Lederman (2006). Segundo o autor, leis são afirmações ou descrições de relações entre fenômenos e observáveis. A lei de Boyle, que relaciona a pressão de um gás com seu volume a uma temperatura constante, é um exemplo. Teorias, por outro lado, são explicações inferidas de fenômenos observáveis (e.g., a teoria cinética molecular proporciona uma explicação para o que é observado e descrito pela lei de Boyle).

Ainda em 1923, Millikan não tinha aceitado a hipótese do quantum de luz. Ao se pronunciar naquele ano, ele cuidadosamente distinguiu entre a teoria de Einstein e sua lei, e afirmou que apenas a última tinha sido experimentalmente provada. Por um bom tempo, ele considerou que o efeito fotoelétrico ainda não havia sido explicado teoricamente (Millikan, 1917). Essa atitude cautelosa só mudou quando a teoria de Einstein e o conceito de fóton se tornaram partes autorizadas da Física Quântica. A partir daí, Millikan se tornou celebrado como aquele que tinha descoberto experimentalmente o que Einstein havia teorizado (o fóton), e muito rapidamente o mito foi estabelecido de que os experimentos de Millikan confirmaram a teoria de Einstein. Millikan pareceu acreditar ele mesmo no mito, e esquecer sua resistência inicial contra o fóton. Em sua autobiografia de 1950, por exemplo, afirmou que já em 1915 ele havia percebido que os seus experimentos “simplesmente e irrefutavelmente” provaram a verdade da teoria de Einstein do quanta de luz (Millikan, 1950).

Síntese do episódio

A discussão de episódios históricos pode ser direcionada de diversas formas diferentes, dependendo dos objetivos pedagógicos adotados (estejam eles explícitos ou não). Entre os objetivos que guiaram a escrita deste resumo específico pode-se destacar: ser breve, explicitar o confronto entre explicações concorrentes, discutir sobre os pontos de discordância entre as explicações envolvidas, e abordar as crenças de fundo que levaram os membros de ambos os lados a adotar sua posição. Também buscou-se explicitar como os conceitos da IME podem aparecer na prática, e como aspectos relevantes da NdC podem ser abordados segundo essa perspectiva. O quadro 2, a seguir, sintetiza essa abordagem do episódio. Entre os aspectos da NdC abordados destaca-se: o importante e complexo papel da comunidade científica para a aceitação de um conhecimento científico; a indeterminação das teorias científicas pelas evidências disponíveis; a distinção entre leis e teorias científicas; e problematizar a quase-história sobre esse episódio que pode ser encontrada em livros didáticos e materiais instrucionais. Esses pontos podem ser discutidos sem um uso explícito da IME. No entanto, acreditamos que na abordagem de episódios históricos como esse, a IME pode fornecer uma orientação de como as discussões podem ser organizadas e conduzidas por professores de ciências e alunos de cursos de formação de professores que não sejam especialistas no tema.

Quadro2.

Explicação do efeito fotoelétrico como um caso de Inferência à Melhor Explicação.

Episódio	Explicação do efeito fotoelétrico
Contexto científico	Descoberta do efeito fotoelétrico e experimentos de Lenard.
Explicação potencial 1	Hipótese gatilho de Lenard.
Explicação potencial 2	Teoria corpuscular dos quanta de luz de Einstein.
Crenças de fundo da explicação 1	<ul style="list-style-type: none"> • Validade da teoria eletromagnética clássica (caráter ondulatório da luz); • Efeito fotoelétrico não envolve transmissão de energia entre a luz incidente e os elétrons emitidos.
Crenças de fundo da explicação 2	<ul style="list-style-type: none"> • Efeito fotoelétrico envolve transmissão de energia entre a luz incidente e os elétrons emitidos; • Concepção corpuscular da luz.
Virtudes explicativas	<ul style="list-style-type: none"> • Conservadorismo epistêmico; • Correspondência entre explicações, resultados experimentais e crenças de fundo aceitas.
Natureza da Ciência	<ul style="list-style-type: none"> • Problematizar quase-história presente em livros didáticos; • Problematizar o papel da comunidade científica na avaliação do conhecimento científico; • Distinguir lei de teoria; • Indeterminação das teorias científicas pelas evidências disponíveis; • Influência de interesses pessoais na avaliação das teorias (aceitação de Millikan da explicação de Einstein).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito a explicações, o foco do ensino de Ciências tipicamente se concentra mais em compartilhar explicações corretas – ou seja, as vencedoras das controvérsias explicativas históricas – do que em entender o processo que levou essas explicações a serem aceitas. Porém, é desejável que os estudantes entendam não só as explicações que a Ciência produz, mas também o processo por meio do qual essas explicações são criadas, confrontadas e selecionadas. Tentando contribuir para essa questão, este trabalho introduz a IME e seu potencial para ser utilizada como heurística para abordar episódios da História da Ciência no ensino de ciência. Nessa perspectiva entende-se que o processo de validação do conhecimento, como outras práticas científicas, muda com o tempo e local em que se desenvolve. Dessa forma, estudar como essas práticas se modificam e se estabelecem permite entender não apenas o processo de construção da ciência, mas os limites e possibilidades do conhecimento científico (Jardim & Guerra, 2017).

Essa abordagem consiste, basicamente, em explorar o confronto (historicamente situado) entre pontos de vista distintos. Por conta disso, ela se aproxima, em alguma medida, de aplicar ao estudo de episódios históricos o que tem sido feito na Educação em Ciências em trabalhos sobre argumentação científica. Um exemplo são os trabalhos que adaptam o modelo argumentativo de Toulmin (e.g., Nascimento & Vieira, 2008; Sadler & Donnelly, 2006). No entanto, o foco principal de trabalhos sobre argumentação (como os citados) está em conectar as hipóteses produzidas com as evidências disponíveis, por meio de justificativas racionais. Por conta disso, um importante diferencial da IME é o foco em problematizar os critérios utilizados para avaliar as hipóteses propostas, e as crenças nas quais cada posição se baseia. Essa característica ganha destaque no contexto atual de *fake news* e pós-verdade, no qual proporcionar clareza sobre a produção e validação de hipóteses ganha relevância enquanto demanda do ensino de Ciências.

Com base no que foi apresentado neste artigo, entende-se que usar a IME para abordar episódios históricos também possui o mérito de permitir discutir elementos da NdC sem adotar postura dogmática em defesa da Ciência – defesa autoritária do conhecimento científico – nem favorecer um relativismo no qual conhecimento científico e opinião sejam igualmente válidos – considerar que a Ciência não possui qualquer autoridade. Os cientistas são humanos e falíveis, o conhecimento científico é provisório, a Ciência é influenciada por perspectivas culturais, sociais, contextuais, filosóficas, religiosas, e seu desenvolvimento não é linear nem cumulativo. Mas há boas razões para a ciência ter alcançado o status que possui em nossa sociedade. Refletir sobre essas questões pode melhorar a compreensão dos estudantes sobre esse vasto, rico e complexo campo de conhecimento. A história da Ciência fornece um cenário rico para abordar essas questões, e estudar episódios históricos a partir de um enfoque em explicações se apresenta como uma possibilidade.

A principal contribuição deste trabalho para o ensino está em fornecer aos professores interessados um meio para abordar episódios da história da ciência que evite os extremos de posições estruturalistas e relativistas, mas sua implementação depende muito do(s) episódio(s) histórico(s) considerado(s), das fontes históricas disponíveis e dos objetivos pedagógicos almejados. É pertinente reforçar que o uso de fontes históricas pode requerer um amplo domínio do contexto da época e do pensamento dos cientistas envolvidos, além de um amplo conhecimento técnico específico. Aos professores interessados em utilizar essa perspectiva, se faz necessário estar vigilante sobre as próprias crenças de fundo ao abordar um episódio histórico. Para que um confronto explicativo autêntico seja apresentado, cada explicação apresentada deve parecer plausível e defensável. Uma abordagem rica a partir da IME deve conter, necessariamente, o confronto entre mais de uma explicação potencial e as crenças de fundo nas quais cada um dos lados se baseia, apresentadas de forma autêntica e independente de qual tenha vencido a disputa. Este artigo é parte de uma pesquisa que investiga o impacto de usar a IME em contextos como a educação básica e a formação de professores.

Para concluir, vale ressaltar que é ingênuo achar que apenas uma abordagem como essa seja suficiente para superar toda a dificuldade envolvida na complexa tarefa de incluir a História no ensino de Ciências. Entre os fatores que dificultam seu uso, pode-se citar: a falta de materiais didáticos adequados para abordar HFC; necessidade de um *framework* instrucional que dê suporte para a HFC; e um ensino tradicional resistente a propostas de reformulação, voltado para cobrir grandes quantidades de conteúdo e atender a avaliações externas (Henke & Höttecke, 2015). Esse é um problema complexo, que envolve questões políticas e precisa ser atacado por muitas frentes.

REFERÊNCIAS

- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and about Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains. *Science and Education*, 22(9), 2087–2107. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. (2000). The influence of history of science courses on students' conceptions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057–1095. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200012\)37:10<1057::AID-TEA3>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200012)37:10<1057::AID-TEA3>3.0.CO;2-C)
- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Paixão, M. F., Acevedo, P., Oliva, J. M., & Manassero, M. A. (2005). Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000100001>
- Achinstein, P. (2001). *The book of evidence*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Alameh, S., & Abd-El-Khalick, F. (2018). Towards a Philosophically Guided Schema for Studying Scientific Explanation in Science Education. *Science and Education*, 27(9–10), 831–861. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-0021-9>
- Alters, B. J. (1997). Whose Nature of Science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39–55. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199701\)34:1<39::AID-TEA4>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199701)34:1<39::AID-TEA4>3.0.CO;2-P)
- Bagdonas, A., Zanetic, J., & Gurgel, I. (2014). Controvérsias sobre a natureza da ciência como enfoque curricular para o ensino da física: o ensino de história da cosmologia por meio de um jogo didático. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(2), 242–260.
- Batista, C. A. dos S., & Peduzzi, L. O. Q. (2019). Concepções epistemológicas de Larry Laudan: uma ampla revisão bibliográfica nos principais periódicos brasileiros do ensino de ciências e ensino de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 24(2), 38–55. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n2p38>
- Batista, G. L. de F., & Drummond, J. M. H. F. (2015). Fontes primárias no ensino de física: considerações e exemplos de propostas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 663–702. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2013.0625>
- Bhakhthavatsalam, S. (2019). The Value of False Theories in Science Education. *Science and Education*, 28(1–2), 5–23. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00028-2>
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science and Education*, 95(4), 639–669. <https://doi.org/10.1002/sce.20449>
- Brewer, W. F., Chinn, C. A., & Samarapungavan, A. (2000). Explanation in scientists and children. In F. C. Keil & R. A. Wilson (Orgs.), *Explanation and cognition* (pp. 119–136). Cambridge, United States of America: MIT Press.
- Burke, P. (2005). *O que é história cultural?* Rio de Janeiro, RJ: Zahar.
- Casali, J. P., & Gonçalves, J. P. (2018). Pós-estruturalismo: algumas considerações sobre esse movimento do pensamento. *Revista Espaço de Diálogo e Desconexão*, 10(2), 84–92. <https://doi.org/10.32760/1984-1736/redd/2018.v10i2.11344>
- Chalmers, A. F. (1993). *O que é Ciência a final?* São Paulo, SP: Editora Brasiliense.
- Clough, M. P. (2011). The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education. *Science and Education*, 20(7), 701–717. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9310-7>
- Damasio, F., & Peduzzi, L. O. Q. (2015). O pior inimigo da Ciência: Procurando esclarecer questões polêmicas da epistemologia de Paul Feyerabend na Formação de Professores. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 20(1), 97. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v20n1p97>
- Dascal, M. (1979). Conversational Relevance. In A. Margalit (Org.), *Meaning and Use* (pp. 153–174). Dordrecht, Holanda: Reidel.
- Day, T., & Kincaid, H. (1994). Putting Inference to the Best Explanation in its place. *Synthese*, 98(2), 271–295. <https://doi.org/10.1007/BF01063944>
- Douven, I. (2017). Abduction. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University. Retirado de: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/abduction/>

- Duarte, T. R. (2005). O fracasso do Programa Forte de Sociologia. *Revista Três Pontos*, 2(1), 13–18.
- Duhem, P. M. M. (1991). *The aim and structure of physical theory* (Vol. 13). Princeton, United States of America: Princeton University Press.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Eflin, J. T., Glennan, S., & Reisch, G. (1999). The nature of science: A perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107–116. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-2736\(199901\)36:1<107::aid-tea7>3.0.co;2-3](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-2736(199901)36:1<107::aid-tea7>3.0.co;2-3)
- El-Hani, C. N. (2007). Notas sobre o ensino de História e Filosofia da Ciência na educação científica de nível superior. *A Pesquisa Em Ensino de Ciências No Brasil*, 1, 293–315.
- Feyerabend, P. (1977). *Contra o Método*. Rio de Janeiro, RJ: Livraria Francisco Alves.
- Gauch, H. G. J. (2012). *Scientific method in brief*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Gingras, Y. (2001). What did mathematics do to physics? *History of Science*, 39(4), 383–416. <https://doi.org/10.1177/007327530103900401>
- Harman, G. H. (1965). The Inference To the Best. *Philosophical Review*, 74(1), 88–95. <https://doi.org/10.2307/2183532>
- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2016). Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1), 3–32. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135–175. <https://doi.org/10.1086/287002>
- Henke, A., & Höttecke, D. (2015). Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. *Science and Education*, 24(4), 349–385. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9737-3>
- Höttecke, D., Henke, A., & Riess, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science and Education*, 21(9), 1233–1261. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9330-3>
- Jammer, M. (1966). *The conceptual development of quantum mechanics*. Nova York, United States of America: McGraw-Hill Book Company.
- Jardim, W. T., & Guerra, A. (2017). Experimentos Históricos e o Ensino de Física: Agregando Reflexões a Partir Da Revisão Bibliográfica Da Área E Da História Cultural Da Ciência. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 22(3), 244–263. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2017v22n3p244>
- Jímenez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2007). Argumentation in science education: an overview. In S. Erduran & M. P. Jímenez-Aleixandre (Org.), *Argumentation in science education* (pp. 3–28). Nova York, United States of America: Springer.
- Junges, A. L. (2008). *Inferência à melhor explicação*. Intuitio, 1(1), 82–97. Recuperado de: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/intuitio/article/view/3672>
- Junges, A. L., & Massoni, N. T. (2018). O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(2), 455–491. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018182455>
- Kitcher, P. (1981). Explanatory unification. *Philosophy of Science*, 40(4), 503–531. <https://doi.org/10.5840/eps20053184>
- Kragh, H. (1992). A sense of history: History of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science and Education*, 1(4), 349–363. <https://doi.org/10.1007/BF00430962>
- Kragh, H. (2000). Max Planck: the reluctant revolutionary. *Physics World*, 13(12), 31–36. <https://doi.org/10.1088/2058-7058/13/12/34>
- Kuhn, T. (1998). *A Estrutura das Revoluções Científicas* (5a. ed.). São Paulo, SP: Perspectiva.
- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica: Vol. I*. Madrid, Espanha: Alianza Editorial.

- Laudan, L. (1978). *Progress and its problems*. Berkeley, United States of America: University of California Press.
- Lederman, N. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: do they really influence teacher behavior? *Science Education*, 71(4), 721–734. <https://doi.org/10.1002/sce.3730710509>
- Lederman, N. (2006). Nature of science: Past, present, and future. In S. Abell & N. G. Lederman (Orgs.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–879). Nova Jersey, United States of America: Lawrence Erlbaum.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lipton, P. (2004). *Inference to the best explanation* (2nd ed.). Abingdon, United Kingdom: Routledge.
- Lycan, W. G. (2002). Explanation and epistemology. In P. Moser (Ed.), *The Oxford handbook of epistemology* (pp. 408–433). Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Lynch, M. (2001). Is a science peace process necessary? In J. A. Labinger & H. Collins (Org.) *The One Culture* (pp. 48–60). Chicago, United States of America: University of Chicago Press. <https://10.7208/chicago/9780226467245.003.0004>
- Martins, A. F. P. (2007). História e Filosofia da Ciência no Ensino: Há muitas pedras nesse caminho ... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 112–131. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- Matthews, M. R. (1992). *History, Philosophy, and Science Teaching- The Present Rapprochement*. 1(1), 11–47. <https://doi.org/10.1007/BF00430208>
- Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3), 164–214. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- McCain, K. (2015). Explanation and the Nature of Scientific Knowledge. *Science and Education*, 24(7–8), 827–854. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9775-5>
- McMullin, M. (1992). *The inference that makes science*. Milwaukee, United States of America: Marquette University Press.
- Mcneill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting Students' Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153–191. <https://doi.org/10.1207/s15327809jls1502>
- Medeiros, A., & Monteiro, M. A. (2002). A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria Copernica nos livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(1), 28–52. <https://doi.org/10.5007/%x>
- Mendonça, A. L. de O., & Videira, A. A. P. (2007). Progresso científico e incomensurabilidade em Thomas Kuhn. *Scientiae Studia*, 5(2), 169–183. <https://doi.org/10.1590/s1678-31662007000200003>
- Millikan, R. A. (1916). A Direct Photoelectric Determination of Planck's "h". *Physical Review*, 7(3), 355–388. <https://doi.org/10.1103/physrev.7.355>
- Millikan, R. A. (1917). *The Electron*. Chicago, United States of America: University of Chicago Press.
- Millikan, R. A. (1950). *The Autobiography of Robert A. Millikan*. Nova Jersey, United States of America: Prentice-Hall.
- Nascimento, S. S. do, & Vieira, R. D. (2008). Contribuições e limites do padrão de argumento de Toulmin aplicado em situações argumentativas de sala de aula de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8(2), 1–20. Recuperado de: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4018>
- Niaz, M., Klassen, S., McMillan, B., & Metz, D. (2010). Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Science Education*, 94(5), 903–931. <https://doi.org/10.1002/sce.20389>
- Nola, R., & Irzik, G. (2005). *Philosophy, Science, Education and Culture* (Vol. 28). Springer. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3729-5>
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S., & Phillips, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89(4), 535–563.

<https://doi.org/10.1002/sce.20063>

- Passmore, J. (1962). Explanation in everyday life, in science, and in history. *History and Theory*, 2(2), 16–34.
- Pietrocola, M. (1999). Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 4(3), 213–227.
- Popper, K. R. (1962). *Conjectures and refutations*. Nova York, United States of America: Basic Books.
- Praia, J., Pérez, D. G., & Vilches, A. (2007). O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania. *Ciência. Ciência & Educação (Bauru)*, 13(2), 141–156. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132007000200001>
- Quine, W. V. O. (1951). Two Dogmas of Empiricism. *The Philosophical Review*, 60, 20–43. <https://doi.org/10.2307/2181906>
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2015). Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa : a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 8(1), 132–146.
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). Potencialidades e limitações de um Módulo de Ensino: Uma discussão histórico-filosófica dos estudos de Gray e Du Fay. *Investigações em Ensino de Ciências*, 20(2), 138–160. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v20n2p138>
- Reis, P., & Galvão, C. (2005). Controvérsias sócio-científicas e prática pedagógica de jovens professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 131–160.
- Rodrigues Junior, E., Luna, F. J., Linhares, M. P., & Hygino, C. B. (2015). Implicações didáticas de história da ciência no ensino de Física: uma revisão de literatura através da análise textual discursiva. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 769–808. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p769>
- Rodrigues, R. F., & Pereira, A. P. de. (2018). Explicações no ensino de ciências: revisando o conceito a partir de três distinções básicas. *Ciência & Educação (Bauru)*, 24(1), 43–56. <https://doi.org/10.1590/1516-731320180010004>
- Rudge, D. W., Cassidy, D. P., Fulford, J. M., & Howe, E. M. (2014). Changes Observed in Views of Nature of Science During a Historically Based Unit. *Science and Education*, 23(9), 1879–1909. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9572-3>
- Sadler, T. D., & Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, 28(12), 1463–1488. <https://doi.org/10.1080/09500690600708717>
- Sales, L. S. (2003). Estruturalismo - história, definições, problemas. *Revista de Ciências Humanas*, 33, 159–188. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- Salmon, W. C. (1984). *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton, United States of America: Princeton University Press.
- Sandoval, W. A. Millwood, K. A. (2005). The Quality of Students' Use of Evidence in Written Scientific Explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23–55. <https://doi.org/10.1207/s1532690xci2301>
- Slezak, P. (1994). Sociology of scientific knowledge and scientific education: Part I. *Science & Education*, 3(3), 265–294. <https://doi.org/10.1007/BF00540157>
- Strevens, M. (2006). Scientific Explanation. In D. M. Borchert (Ed.), *Encyclopedia of Philosophy* (2a ed.). Macmillan. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1001966>
- Stuewer, R. H. (1970). Non-Einsteinian Interpretations of the Photoelectric Effect. In *Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Volume V. Historical and Philosophical Perspectives of Science* (Vol. 5, pp. 246–263).
- Thagard, P. (2004). Causal inference in legal decision making: explanatory coherence vs. bayesian networks. *Applied Artificial Intelligence*, 18(3–4), 231–249. <https://doi.org/10.1080/08839510490279861>
- Thagard, P. (2014). Explanatory Identities and Conceptual Change. *Science and Education*, 23(7), 1531–1548. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9682-1>
- Thagard, P. R. (1978). The Best Explanation: Criteria for Theory Choice. *The Journal of Philosophy*, 75(2), 76–92. Recuperado de: <http://links.jstor.org/sici?sici=0022->

[362X%28197802%2975%3A2%3C76%3ATBECFT%3E2.0.CO%3B2-T](#)

Van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Oxford, United Kingdom: Clarendon Press.

Vasconcelos, J. A. (2014). História e Pós-estruturalismo. In M. Rago & R. Gimenes (Orgs.), *Narrar o passado, repensar a história* (pp. 105–121). Campinas, SP: Unicamp.

Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A., Acevedo-Díaz, J. A., & Acevedo-Romero, P. (2008). Consensos sobre a Natureza da Ciência: A Ciência e a Tecnologia na Sociedade. *Química Nova na Escola*, 27, 34–50. Recuperado de: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc27/07-ibero-6.pdf>

Whitaker, M. A. B. (1979). History and quasi-history in physics education. I. *Physics Education*, 12(2), 108–112. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/14/2/009>

Wilkenfeld, D. A., & Lombrozo, T. (2015). Inference to the Best Explanation (IBE) Versus Explaining for the Best Inference (EBI). *Science and Education*, 24(9–10), 1059–1077. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9784-4>

Williams, C. T., & Rudge, D. W. (2016). Emphasizing the History of Genetics in an Explicit and Reflective Approach to Teaching the Nature of Science: A Pilot Study. *Science and Education*, 25(3–4), 407–427. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9821-y>

Recebido em: 26.02.2020

Aceito em: 07.12.2020