



# Justificativas epistemológicas para o ensino da óptica geométrica no ensino médio a partir do realismo científico e do empirismo construtivo

Jair Lúcio Prados Ribeiro<sup>a</sup>, Gerson Mól<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

<sup>b</sup>Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

## ARTICLE INFO

**Received:** August 4, 2017

**Accepted:** August 10, 2017

**Available on-line:** October 23, 2017

**Keywords:** Realismo científico.

Empirismo construtivo.

Filosofia da ciência.

Óptica geométrica.

**E-mail:**

jairlucio@gmail.com

gmol@unb.br

ISSN 2007-9842

© 2017 Institute of Science Education.

All rights reserved

## ABSTRACT

A óptica geométrica é um conteúdo tradicional do ensino médio na atualidade. Desde o século XIX, entretanto, a teoria geométrica dos raios de luz foi suplantada pela teoria ondulatória e, posteriormente, pela teoria quântica. Essa situação coloca em xeque a importância do ensino da óptica geométrica no ensino médio. Apresenta-se nesse artigo um conjunto de justificativas epistemológicas para a continuidade do ensino desse tema, a partir do ideário de duas doutrinas da filosofia da ciência: o realismo científico e o empirismo construtivo. As principais ideias dessas escolas filosóficas são apresentadas e depois utilizadas na construção da nossa argumentação a favor da importância do ensino da óptica geométrica. Defende-se que as argumentações teóricas aqui elaboradas evidenciam a relevância do ensino da óptica geométrica e podem também auxiliar o trabalho do professor de ciências, pois induzem à reconceitualização das práticas pedagógicas e permitem novos *insights* sobre essas práticas. Destaca-se que as justificativas epistemológicas apresentadas nesse artigo buscam ir além do lugar-comum, no qual a presença de um conteúdo específico no currículo escolar é justificada apenas por sua ligação com o cotidiano do estudante. A argumentações correlacionam a importância do ensino do conteúdo em questão com noções epistemológicas como a verdade em ciência, o agnosticismo sobre as entidades postuladas por uma teoria científica e a adequação empírica de uma teoria.

Geometrical optics is a traditional high school content in the present time. Since the nineteenth century, however, the geometrical theory of light rays has been supplanted by the wave theory and, later, by the quantum theory. This situation calls into question the importance of teaching geometrical optics in secondary school. This article presents a set of epistemological justifications for the continuity of the teaching of this theme, based on the ideology of two doctrines of the philosophy of science: scientific realism and constructive empiricism. We present the main ideas of these philosophical schools and then used them to elaborate our argument in favor of the relevance of geometrical optics teaching. It is argued that the theoretical arguments elaborated here demonstrate the relevance of the teaching of geometrical optics and may also help the work of science teachers, since they induce reconceptualization of pedagogical practices and allow new insights about these practices. It is worth noting that the epistemological justifications presented in this article seek to go beyond the commonplace, in which the presence of a specific content in the school curriculum is justified only by its connection with the student's daily life. The arguments correlate the importance of teaching the content in question with epistemological notions such as truth in science, agnosticism about entities postulated by a scientific theory and the empirical adequacy of a theory.

## I. INTRODUÇÃO

Da mesma forma que ocorre em diversas nações, o currículo de física na educação básica brasileira contempla a apresentação de algumas noções de óptica geométrica, a fim de que o estudante possa adquirir um arcabouço que lhe permita interpretar os fenômenos da reflexão e refração luminosas, os quais são onipresentes em seu cotidiano. A abordagem tradicional, a qual pode ser verificada na quase totalidade dos livros didáticos de física dedicados a essa etapa escolar, envolve temas como a câmara escura, espelhos planos e esféricos, refração e reflexão total, dispersão da luz branca, lentes esféricas, instrumentos ópticos (lupa, microscópio, telescópio, etc.) e aspectos geométricos da visão humana (em especial, os problemas refrativos de visão, como a miopia e a hipermetropia). O conteúdo é por natureza extenso, não sendo raro, na nossa experiência pedagógica, que ao menos um semestre seja dedicado à sua exposição no ensino médio.

Entretanto, desde o século XIX, a óptica geométrica não é considerada como a teoria mais adequada para explicar a natureza da luz. Um conjunto de investigações, cuja origem pode ser buscada nos trabalhos de Christiaan Huygens no século XVII, permitiu o desenvolvimento formal de uma teoria ondulatória para a luz, culminando com a clássica fusão da óptica e do eletromagnetismo por James Clerk Maxwell na segunda metade do século XIX. A teoria eletromagnética de Maxwell estabeleceu a natureza da luz como uma onda eletromagnética (ao contrário, a óptica geométrica encara os fenômenos luminosos a partir do conceito de *raios de luz*). Nesse contexto, em meados do século XIX, quando o matemático e físico alemão Carl Friedrich Gauss demonstrou suas equações que descrevem o comportamento das lentes esféricas (as quais ainda são apresentadas para os estudantes de ensino médio na atualidade), utilizando a teoria geométrica dos raios de luz, seu trabalho foi considerado anacrônico por seus contemporâneos, por não incorporar o tratamento ondulatório para os fenômenos luminosos. O advento da teoria quântica no século XX, por fim, promoveu um novo (e mais radical) deslocamento conceitual, trazendo à tona a ideia da dualidade partícula-onda para a luz.

Tais avanços, a nosso ver, colocam em xeque a importância a relevância conferida ao ensino da óptica geométrica na educação básica. Pode-se, então, questionar o porquê da continuidade da apresentação desse arcabouço teórico em detalhe, na medida em que há teorias mais elaboradas, as quais permitem também explicar uma maior variedade de fenômenos luminosos. Até mesmo situações simples, tais como as cores observadas por reflexão em um simples *compact disc* (CD), não podem ser explicadas apenas por preceitos geométricos (Ribeiro, 2016), sendo necessário evocar o modelo ondulatório. Em correlação com tais limitações dos modelos geométricos, há diferentes propostas na literatura para se estudar a luz diretamente a partir do modelo ondulatório ou em contraste com o geométrico (e.g. Pereira e Guerra, 2011; Scarinci e Marineli, 2014; Cruz Silva, 2011).

É evidente que poderíamos, a princípio, defender tal abordagem geométrica ao evocar conceitos como a simplicidade matemática da teoria ou ainda a adequabilidade da mesma a um conjunto específico de fenômenos; por exemplo, as leis de Newton são adequadas ao estudo do movimento de objetos macroscópicos cotidianos, não sendo necessário aplicar as equações da relatividade, as quais também se revelam mais complexas em termos analíticos. Entretanto, ainda que defensável, tal estratégia não nos satisfaz *a priori*; assim, nosso objetivo nesse artigo é procurar apresentar outras justificativas epistemológicas para a continuidade do ensino da óptica geométrica, razão pela qual buscamos apoio em propostas da filosofia da ciência contemporânea para a construção da argumentação aqui exposta.

A discussão sobre a necessidade de se incorporar noções da filosofia da ciência em aulas de ciência não é novidade na literatura, conforme se pode inferir a partir da leitura do seminal texto de Matthews (1995) sobre o papel da história, filosofia e sociologia das ciências no ensino dessas disciplinas. Dessa forma, sua incorporação no currículo da graduação e pós-graduação em cursos de ciências já se encontra consolidada, de acordo com Silva (2010), com um variado rol de encontros acadêmicos regulares e diversos periódicos dedicados de forma específica ao tema. Ademais, as revistas e eventos de ensino de ciências também costumam abrir espaço para tais discussões. A filosofia da ciência, assim, é decisiva na construção do próprio conceito de ciência, tanto para estudantes quanto para os professores.

Enquanto disciplina acadêmica, a filosofia da ciência apresenta uma grande efervescência em seus debates, e novas visões e releituras estão constantemente emergindo. Para os fins da argumentação exposta nesse artigo, foram consideradas adequadas duas vertentes filosóficas relativamente recentes: o *realismo científico* e o *empirismo construtivo*. Tais escolas de pensamento podem ser interpretadas pelo leitor, a princípio, como antagônicas, mas frisamos que essa não é a nossa percepção, em consonância com a proposta pragmática de Ellis (1999). Esse autor defende uma tese que poderia ser, na visão do próprio autor, ser aceita por empiristas e realistas: “a ciência visa prover o melhor rol de explicações possíveis dos fenômenos naturais; e a aceitação de uma teoria científica envolver a crença de que ela pertence a esse rol” (Ellis, 1999, p.169). De tal modo, acreditamos que tais visões filosóficas sobre o papel da ciência podem ser interpretadas como complementares, em especial no tocante aos enfoques pedagógicos, como argumentaremos na quarta seção desse artigo.

O realismo científico, enquanto linha de pensamento na filosofia da ciência, surge a partir de estudos de vários pensadores, mas nossa abordagem se baseia principalmente no tratamento dado por Stathis Psillos ao tema no seu livro *Scientific realism: how science tracks truth* (Psillos, 1999). Já os fundamentos do empirismo construtivo advém especificamente dos trabalhos do filósofo holandês Bas Van Fraassen, sendo nossa fonte de consulta primária o livro *The scientific image* (Van Fraassen, 2007), no qual o autor apresenta parcela significativa de seu ideário, podendo tal obra ser considerada sua *magnum opus* filosófica. A primeira edição do livro de Van Fraassen ocorreu em 1980, enquanto a edição brasileira foi publicada apenas em 2007.

Como citado anteriormente, essas duas doutrinas apresentam tanto pontos em comum quanto discordâncias entre si, na medida em que a filosofia da ciência de Van Fraassen surge por vezes como contraponto e, por outras, como complementação ao realismo científico. Vale ressaltar ainda de antemão que tanto o realismo científico quanto o empirismo construtivo são teorias em desenvolvimento, cujos contornos do debate ainda não se encontram definidos, fato que pode ser verificado em obras específicas sobre tais temáticas (e.g. Psillos, 1999; Van Fraassen, 2007; KUKLA, 1998).

Tais referenciais, vale ressaltar, não são frequentes em pesquisas em ensino de ciências, embora tenham alçado maior relevância em anos recentes. Algumas menções breves ao realismo científico podem ser encontradas em Brockington e Pietrocola (2005), enquanto abordagens mais profunda, inspiradas por tais referenciais, são desenvolvidas por Silva (2013) acerca da construção de modelos para o oxigênio no ensino de química, por Barreto e Bejarano (2013) na elaboração de um estado da arte sobre modelos no ensino de química e por Braga e Toledo (2013), os quais também se dedicam à construção do conhecimento científico a partir de modelo. Frisamos assim que, a nosso ver, tais referenciais (realismo científico e empirismo construtivo) se apresentam nas pesquisas em ensino de ciências como relativas novidades, um fato que colabora para a relevância da discussão que apresentamos aqui. Em especial, não encontramos trabalhos que utilizassem tais referenciais como justificativa epistemológica para a abordagem de um conteúdo programático específico, na medida em que os autores supracitados se dedicam de forma mais veemente ao papel dessas vertentes filosóficas apenas nos aspectos relativos à construção de modelos científicos, enquanto nossa proposta busca ir além desse foco específico. Destacamos ainda que, apesar do artigo presente se dedicar de forma mais direta ao ensino da óptica geométrica, acreditamos que o arcabouço teórico apresentado poderia auxiliar na construção de justificativas epistemológicas para o ensino de outros temas das ciências naturais – quiçá, a sua totalidade, pois o ideário de tais propostas é bastante generalista.

Por ser esse um artigo apresentado em um congresso acadêmico<sup>1</sup>, cabe ainda elucidar a sua relação com as temáticas discutidas no evento. A nosso ver, a proposta aqui apresentada está relacionada com o papel das ciências (física, química e biologia) e da matemática nas investigações educativas, uma das linhas de pesquisa propostas para a conferência. O ensino dessas disciplinas, de forma inegável, possui suas idiosincrasias, sendo constante a necessidade de justificar o porquê da relevância de certos conteúdos programáticos estarem presentes nos currículos oficiais. Tal justificativa não serve apenas aos gestores escolares ou aos próprios professores, mas também – e talvez, principalmente – aos estudantes, cuja resistência às disciplinas científicas é notória, razão pela qual acreditamos ser

---

<sup>1</sup> III Conferencia de la Asociación Latinoamericana de Investigación en Educación en Ciencias, outubro de 2017.

relevante trazer à tona um novo conjunto de justificativas epistemológicas para o ensino do tópico (*i.e.* a óptica geométrica) aqui discutido.

## II. REALISMO CIENTÍFICO

De acordo com Musgrave (1985), tanto o realismo científico quanto o antirrealismo (vertente da qual o empirismo construtivo pode ser considerado um subconjunto) são questões antigas na filosofia da ciência, tomando diversas formas ao longo do tempo. Em termos historiográficos, entretanto, entendemos que o realismo científico na forma presente se apresenta como uma discussão acadêmica relativamente recente na filosofia da ciência. Embora suas ideias embrionárias possam ser rastreadas até os anos 1960, o pensamento realista só veio a ganhar real *momentum* nas discussões acadêmicas duas décadas mais tarde. Psillos (1999), nesse contexto, defende que a ascensão do realismo teve como principal objetivo a remoção das ressalvas que se poderia ter contra a confirmação efetiva das teorias científicas.

Tais ressalvas, por sua vez, advêm principalmente das conhecidas e relevantes posições assumidas por Karl Popper, Imre Lakatos, Thomas Kuhn e Paul Feyerabend acerca da possibilidade de tal confirmação, ou seja, sobre a possibilidade de uma afirmação científica ser verdadeira. Não é pretensão desse artigo apresentar o pensamento desses luminares da filosofia da ciência, mas vale destacar a contra-argumentação de Theocaris e Psimopoulos (1987) sobre o ideário desses pensadores (chamados “defensores das antíteses” no artigo dos autores gregos), a qual apresenta similaridades com as propostas que levaram à emergência do realismo científico:

Por razões conhecidas apenas por eles mesmos, os defensores das antíteses se recusam a reconhecer que seus ideais são flagrantemente autorrefutantes - eles se negam e se autodestroem. E se uma declaração envolve sua própria falsidade, então ela não tem significado: a proposição "não existe a verdade" se autocontradiz e, portanto, algumas verdades devem existir, afinal. Da mesma forma, a expressão "nada é certo, tudo é duvidoso" lança dúvida, principalmente, sobre si mesma, e assim devem existir coisas certas e indubitáveis. (Theocaris e Psimopoulos, 1987, p. 2)

Dessa forma, o realismo científico seria uma forma de se resgatar a confiança na objetividade da atividade científica e na validade das teorias científicas como representações verdadeiras da natureza. Gutting (1985) entende assim o realismo científico, no âmbito da teoria atômica:

Se nós temos razões para acreditar que todas as explicações de fatos empíricos singulares (em um dado domínio empírico) devem se apoiar nos conceitos da teoria atômica, então nós temos boas razões para acreditar na existência de átomos. (Gutting, 1985, p.121)

Já Van Fraassen (2007) assim define o realismo científico:

Um enunciado ingênuo dessa posição seria este: o retrato que a ciência nos dá do mundo é verdadeiro, fidedigno nos detalhes, e as entidades postuladas na ciência realmente existem; os avanços da ciência são descobertas, e não invenções. Esse enunciado é ingênuo demais: ele atribui ao realista científico as crenças de que as teorias de hoje são corretas. [...] Mas esse enunciado ingênuo possui um tom correto. Ele responde a duas questões principais: caracteriza uma teoria científica como um relato sobre o que realmente existe e a atividade científica como um empreendimento de descoberta, em vez de invenção. [...] A ciência visa dar-nos em suas teorias um relato literalmente verdadeiro de como o mundo é, e a aceitação de uma teoria científica envolve a crença de que ela é verdadeira. Esse é o enunciado correto do realismo científico. (Van Fraassen, 2007, p.24-27)

A partir do parágrafo supracitado, pode-se entender o realismo científico como a afirmação de que as teorias científicas são verdadeiras (ou quase verdadeiras), e as entidades postuladas pelas mesmas (ou entidades bastante similares) realmente existem. Giere (1999) entende que uma hipótese realista extrema seria considerar que a realidade é representada pelo modelo teórico em todos os aspectos, o que nos transparece como um evidente e intencional exagero.

Assim, o autor defende que uma hipótese mais adequada seria reivindicar a similaridade para a maioria dos aspectos do modelo teórico – daí o fato de se acreditar na teoria como *quase* verdadeira.

No tocante a uma teoria específica, pode haver entidades observáveis (ou seja, detectadas diretamente pelos sentidos humanos) postuladas por ela, assim como entidades inobserváveis (*e.g.* números, átomos, moléculas, ondas eletromagnéticas, campos, entre outras). O fato de uma entidade postulada ser observável não significa que ela deva existir: segundo Van Fraassen (2007, p.38), “um cavalo alado seria observável – é por isso que estamos tão certos de que não existe nenhum – e o número dezessete, não”. Assim, segundo Musgrave (1985), a adequação empírica e de verdade coincidem para as entidades observáveis, mas para aquelas não observáveis, a verdade necessitará de adequação empírica, mas não vice-versa, pois uma teoria pode ser empiricamente adequada e, ao mesmo tempo, ser falsa. Simon e Moraes (2007) assim correlacionam tais conceitos:

[...] para o realista, a possibilidade de uma teoria ser bem sucedida em suas explicações e em suas previsões acontece apenas se essa teoria corresponde, ao menos de maneira aproximada, ao mundo, tanto em suas consequências observáveis como em suas consequências inobserváveis. Seria inexplicável tal sucesso, caso a teoria se revelasse falsa. (SIMON e MORAES, 2007, p.143).

Assim, no âmbito da filosofia da ciência, o realismo científico pode ser entendido como uma resposta adequada para o grande sucesso empírico da ciência. Um precursor da abordagem realista, Grover Maxwell (1962), recorreu a esse argumento para defender o realismo científico: afinal, o inegável sucesso empírico (*e.g.* o impressionante grau de precisão verificado nos testes empíricos das previsões teóricas da mecânica quântica) das atividades científicas demanda uma explicação, e segundo esse autor:

A única explicação razoável do sucesso das teorias da qual estou ciente é que as teorias bem confirmadas são conjunções de enunciados genuínos bem confirmados e que as entidades às quais elas se referem provavelmente existem. (MAXWELL, 1962, p.18)

A partir de tal acepção, Putnam (1975) enunciou o intitulado *argumento do milagre* – chamado por Simon e Moraes (2007) também pelo quase metafísico termo *coincidência cósmica* - a favor da vertente realista: “o realismo [científico] é a única filosofia que não faz do sucesso científico um milagre” (PUTNAM, 1975, p. 73). Para Psillos (1999, p.185), portanto, essa argumentação faz dos realistas científicos notórios otimistas: “eles concluem que a ciência pode e consegue obter a verdade teórica não menos que ela pode e consegue obter a verdade observacional”. De acordo com Simon e Moraes (2007), o argumento do milagre veio então a ser reformulado e reforçado por autores posteriores, os quais destacaram, por exemplo, a confiabilidade preditiva de uma teoria (*i.e.* a previsão de fenômenos diferentes daqueles que a teoria a princípio havia sido elaborada para explicar) como um argumento a favor do realismo científico.

Psillos (1999) relata que o realismo científico se apoia na coexistência de três pressupostos: 1) o pressuposto *metafísico* estabelece que o mundo tem uma estrutura natural definida e independente da mente; 2) o pressuposto *semântico* considera as teorias científicas de forma literal, encarando-as como descrições verdadeiras no seu domínio pretendido; e 3) o pressuposto *epistemológico* considera as teorias científicas bem-sucedidas, especialmente na capacidade de fazer previsões que se revelam confirmadas, como aproximadamente verdadeiras, fazendo com que as entidades postuladas por tais teorias (ou entidades bastante similares às postuladas) realmente existam.

### III. EMPIRISMO CONSTRUTIVO

Van Fraassen constrói sua teoria, *a priori*, como uma contraposição ao realismo científico, muito embora o autor não chegue a negar todos os pressupostos realistas. Assim, defendemos que, na realidade, ele desenvolve uma concepção alternativa ao realismo científico, quiçá complementar, a qual é denominada *empirismo construtivo*. De

acordo com o próprio autor, tal nomenclatura foi escolhida por não haver ainda, à época da sua elaboração, uma denominação adequada para essa vertente de pensamento (VAN FRAASSEN, 2007, p. 24).

Giere (1999) entende que a principal mensagem de Van Fraassen em *The scientific image* – ou seja, seu principal argumento a favor do empirismo – é que o realismo é desnecessário. Assim, a ciência *per se* pode ser discutida a partir de um entendimento empírico das suas hipóteses. Em conformidade com essa visão, Van Fraassen encara seu próprio posicionamento filosófico perante a ciência como antirrealista, a seguir:

[...] o antirrealismo é a posição segundo a qual o objetivo da ciência pode bem ser atendido sem fazer tal relato verdadeiro, e a aceitação de uma teoria pode, de modo apropriado, envolver algo a menos (ou diferente) que a crença de que ela é verdadeira. [...] Há dois tipos de antirrealistas: o primeiro afirma que a ciência é verdadeira ou isso procura, interpretada apropriadamente (e não literalmente). A segunda afirma que a linguagem da ciência deveria ser literalmente interpretada, mas que suas teorias não precisam ser verdadeiras para serem boas. O antirrealismo que defendo pertence a esse segundo tipo. (VAN FRAASSEN, 2007, p.30-31)

A partir do trecho supracitado, percebe-se que o filósofo holandês não nega a interpretação literal das teorias científicas (*i.e.* o pressuposto semântico), fato também realçado por Psillos (1999) em sua crítica sobre o empirismo construtivo. Entretanto, Van Fraassen discorda da necessidade de se acreditar nas teorias como verdadeiras a partir dessa literalidade de interpretação. Segundo o autor:

Depois de decidir que a linguagem da ciência deve ser compreendida literalmente, ainda podemos dizer que não é preciso acreditar que as boas teorias sejam verdadeiras, nem, *ipso facto*, acreditar que as entidades que elas postulam sejam reais. (Van Fraassen, 2007, p.33)

Musgrave (1985) destaca que Van Fraassen não chega a ser um “antirrealista radical” (fato admitido pelo próprio Van Fraassen), na medida em que ele não nega completamente a possibilidade das teorias científicas terem algum valor de verdade, ou seja, não as reduz a meros instrumentos de análise da natureza. Ao contrário, segundo esse autor, Van Fraassen aceita uma “construção literal da linguagem da ciência, na qual as afirmações aparentes da ciência são realmente afirmações, capazes de serem verdadeiras ou falsas (MUSGRAVE, 1985, p.10). Já Giere (1999), por sua vez, considera o empirismo construtivo muito mais restritivo que o realismo científico, residindo na especificação dos aspectos observáveis a diferença entre as duas teorias.

O principal contra-argumento de Van Fraassen às teses realistas diz respeito ao pressuposto epistemológico. De forma específica, o autor recrimina a necessidade de se acreditar na existência física das entidades inobserváveis postuladas por uma teoria. Assim, Van Fraassen defende o *agnosticismo* em relação às descrições teóricas particulares do mundo oferecidas por uma teoria. Já no tocante ao argumento do milagre ou da coincidência cósmica, por vezes o centro das teses realistas, Van Fraassen (2007) oferece uma explicação diferente para o sucesso da ciência, como contraponto às alegações de realismo:

[...] alego que o sucesso das teorias científicas comuns não é nenhum milagre. Não é nem mesmo surpreendente para a mente científica (darwinista). Pois toda teoria científica nasce em uma vida de competição feroz, uma selva de dentes e garras ensanguentadas. Apenas as teorias bem-sucedidas sobrevivem – aquelas que, de fato, agarram as reais regularidades da natureza. (Van Fraassen, 2007, p.81)

Ainda na sua definição sobre o empirismo construtivo, o filósofo estabelece a sua visão sobre o papel das teorias científicas:

A ciência visa dar-nos teorias que sejam empiricamente adequadas; e a aceitação de uma teoria envolve, como crença, apenas aquela de que ela é empiricamente adequada. Esse é o enunciado da posição antirrealista que defendo; vou denominá-la empirismo construtivo. [...] Por ora, vou dar apenas uma explicação preliminar de que uma teoria é empiricamente adequada exatamente se é

verdadeiro o que ela diz sobre as coisas observáveis e eventos no mundo – exatamente, se ela “salva os fenômenos”. (Van Fraassen, 2007, p.33-34)

No excerto acima, percebe-se a ênfase dada por Van Fraassen à adequação empírica das teorias como essenciais para a caracterização de uma teoria como científica. Uma teoria é válida se tem correlação com os testes empíricos, e quanto mais elaborados esses testes forem, melhor será a teoria. Assim, a experimentação adquire um caráter de destaque na atividade científica, como visto nos trechos a seguir:

[...] de um ponto de vista empirista, a construção de teorias não pode ser a atividade científica suprema, pelo menos não no sentido hierárquico de que tudo mais está subordinado a isso. [...] A real importância da teoria para o cientista profissional é que ela é um dos elementos da elaboração de experimentos. (Van Fraassen, 2007, p.131- 136)

O empirismo sempre foi um dos condutores principais no estudo da natureza. Mas ele requer que as teorias apenas apresentem um relato verdadeiro do que é observável, tomando outras estruturas [inobserváveis] postuladas para tal fim. [...] Assim, de um ponto de vista empirista, para servirem aos objetivos da ciência, os postulados não precisam ser verdadeiros, a não ser no que dizem sobre o que é real e empiricamente atestável. (Van Fraassen, 2007, p.18-19)

Entendemos como crucial esse ponto de vista de Van Fraassen: a necessidade de casamento entre a teoria e os dados empíricos observáveis é a característica mais importante do seu discurso: “a tese do empirismo construtivo, de que o que importa na ciência é a adequação empírica, e não as questões sobre a verdade” (Van Fraassen, 2007, p. 116). Assim, as estruturas postuladas podem ser verdadeiras ou não - tal preocupação é irrelevante para o autor - mas sua coerência com as medições experimentais deve estar sempre presente.

#### IV. ALGUMAS JUSTIFICATIVAS EPISTEMOLÓGICAS PARA O ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Retornando para o “chão de fábrica”, ou seja, o cotidiano da sala de aula, como as ideologias do realismo científico e do empirismo construtivo poderiam funcionar como suportes epistemológicos? Antes da elaboração de algumas respostas a essa, devemos estabelecer uma condição de contorno importante, ou seja, buscar um afastamento das amarras que o aparente antagonismo que permeia o debate entre as duas escolas pode trazer. A nosso ver, a sistemática escolar demanda uma postura mais flexível em termos da filosofia da ciência que aquela apresentada nos debates acadêmicos, pois para a discussão de alguns temas, a ideologia realista pode se revelar mais adequada, enquanto para outros, o empirismo construtivo é mais funcional. Parafraseando o cineasta Woody Allen: *whatever works*<sup>2</sup>.

Um meio-termo que vemos como possível está na proposta pragmática estabelecida por Ellis (1999), conforme exposto na introdução. Na visão desse autor, devemos acreditar que o objetivo da ciência está em fornecer o melhor conjunto possíveis de explicações para os fenômenos naturais. Aceitar uma teoria, portanto, é acreditar que ela pertence a esse conjunto. Tal tese é adequada tanto para os realistas (a melhor explicação possível, se existir, é necessariamente verdadeira) quanto para os empiristas (a melhor explicação possível é apenas aquela que é empiricamente adequada). Por acreditarmos na conveniência pedagógica dessa tese pragmática (afinal, estabelecer definitivamente para um estudante de ensino médio qual das propostas está correta nos parece inviável e de pouco valor didático), as justificativas que aqui apresentamos têm sua origem ora em uma ideologia, ora em outra. Iniciaremos com as justificativas apoiadas no realismo científico.

A princípio, elaborar justificativas epistemológicas para o ensino da óptica geométrica a partir de preceitos realistas nos pareceu uma tarefa impraticável - um raio de luz, afinal de contas, não tem existência física *per se*. Todavia, a

---

<sup>2</sup> *Whatever Works* (título em português: *Tudo pode dar certo*) é o título de um filme de 2009 do diretor norte-americano Woody Allen. A alusão à obra é ainda mais significativa quando levamos em conta que o personagem principal da película, interpretado pelo ator Larry David, é um físico aposentado.

teoria geométrica é perfeitamente viável como uma *aproximação* da teoria ondulatória ou mesmo da teoria quântica, da mesma forma que a mecânica newtoniana é uma aproximação da relatividade geral. Ou seja, em condições onde o comportamento ondulatório pode ser desconsiderado (por exemplo, na ausência de difração), as frentes de onda da luz podem ser aproximadas por superfícies planas, levando à validade da teoria geométrica nessas condições. Assim, de acordo com uma ideologia realista, análises geométricas do comportamento da luz ao se refletir em espelhos, por exemplo, apresentariam um caráter de objetividade e a óptica geométrica poderia, nesse contexto, ser interpretada como uma representação verdadeira da natureza.

Outra possibilidade de justificação emerge a partir da defesa de Giere (1999), para quem a teoria não precisa apresentar similaridade com todos os aspectos dos fenômenos naturais, e sim para a maioria deles. A teoria, nesse contexto, é *quase* verdadeira. Ora, esse parece ser justamente o caso da óptica geométrica: análises onde a luz é encarada como um conjunto de raios retilíneos apresentam grande verossimilhança com as situações reais onde fenômenos refletivos ou refrativos estão presentes. A palavra-chave nessa argumentação é *quase*: novamente, a teoria pode ser vista como uma representação da realidade, e podemos crer na existência das entidades postuladas por ela – no caso, os raios de luz – ou em entidades muito similares – no caso, um conjunto de frente de ondas planas.

O ensino da óptica geométrica se justifica também pelo seu grande sucesso empírico. A noção de raio de luz remonta à clássica obra *Dioptrice* de Johannes Kepler (1611). No caso, o astrônomo a utilizou para explicar o funcionamento de telescópios refrativos. A formação de imagens por espelhos e lentes de formatos variados também pode ser explicada com grande precisão a partir de traçados geométricos. No caso particular dos espelhos, a ausência da dispersão cromática (cuja ocorrência é típica em fenômenos refrativos) permite que mesmo sistemas complexos, tais como espelhos cilíndricos ou elípticos, assim como as aberrantes imagens formadas por tais sistemas, possam ser analisados puramente por métodos geométricos. Em termos epistemológicos, o sucesso da teoria em tais aplicações a aproxima das teses realistas.

Pode-se argumentar ainda, em termos do realismo científico, acerca da confiabilidade preditiva da óptica geométrica. Periódicos voltados ao ensino de física apresentam com frequência novas atividades experimentais nessa área, os quais não poderiam ser imaginados pelos pensadores que idealizaram a teoria geométrica, porque por vezes a tecnologia não estava disponível ou nem mesmo concebida em termos teóricos. Cita-se, por exemplo, a diversidade de experimentos simples em óptica geométrica (muitos dos quais podem ser realizados em sala de aula por custos irrisórios), os quais podem ser conduzidos com o auxílio de apontadores de luz *laser*. Esses instrumentos só se tornaram populares a partir de meados da década de 1990, mais de dois séculos após a publicação do livro *Opticks* por Isaac Newton (1730). Não obstante, a trajetória da luz emitida por tais apontadores pode ser descrita a partir dos mesmos enunciados que o físico inglês utilizou nessa obra para a explicação da reflexão e refração. Tal confiabilidade nas previsões teóricas reforça outro postulado do realismo científico: a atividade científica seria uma *descoberta* das leis naturais – no caso, o comportamento da luz em condições de aproximação adequadas (em particular, sua trajetória retilínea) teria sido descoberto e, posteriormente, adequadamente descrito por Kepler, Newton e Gauss, entre outros pensadores.

Em contraponto – e também em complemento - consideramos uma tarefa menos árdua justificar a relevância do ensino da óptica geométrica a partir da ideologia do empirismo construtivo. Em particular, Van Fraassen defende uma postura agnóstica em relação às entidades inobserváveis postuladas por uma teoria, contanto que haja adequação empírica da mesma. Ora, raios de luz são, por definição, entidades inobserváveis (frisa-se que os fótons e as ondas eletromagnéticas, entidades fundamentais na compreensão do modelo quântico dual para a luz, também o são). Entretanto, as imagens produzidas por reflexão e refração em elementos ópticos diversos (lentes, espelhos, prismas, etc.) são observáveis, e os modelos da óptica geométrica pressupõem a necessidade de raios de luz para explicar tais imagens. Nesse aspecto, as teorias que formam o escopo da óptica geométrica são muito bem sucedidas, pois ainda que permaneçamos agnósticos quanto à existência física dos raios de luz, podemos aplicar tal conceito em diversas situações empíricas, com resultados condizentes com a observação visual direta.



De forma mais específica, acreditamos que a discussão sobre a consideração da existência ou não dos raios de luz (ou de outras entidades postuladas por teorias diversas, tais como átomos, elétrons, campos magnéticos, etc.) uma importante intervenção no processo de ensino e aprendizagem em ciências. Afinal, um raio de luz parece ser observável – um feixe de *laser* cruzando o céu noturno, por exemplo – mas, na verdade, nunca o percebemos (no caso citado, o que está sendo visto são partículas de poeira nas quais a luz do feixe de *laser* refletiu). Assim, um dos objetivos de aprendizagem em óptica geométrica que o professor deveria ter em mente seria a possibilidade de demonstrar ao estudante que a adequação empírica da teoria é o seu aspecto mais relevante, dando às entidades postuladas na mesma um papel auxiliar, quase instrumental, para a compreensão da realidade.

A adequação empírica de uma teoria, nos moldes defendidos por Van Fraassen, também se adequam à manutenção da apresentação das bases teóricas da óptica geométrica na educação básica. Segundo nosso entendimento sobre o empirismo construtivo, ainda que os modelos da óptica geométrica tenham sido substituídos por teorias mais abrangentes, fazendo com que o conceito de raio de luz tenha se tornado anacrônico em pelo menos dois séculos, tais modelos permanecem empiricamente adequados à explicação de uma grande gama de fenômenos cotidianos (formação de imagens em espelhos e lentes, miragens, problemas refrativos da visão, comportamento de instrumentos ópticos, entre outros), fato que, a nosso ver, ajuda a justificar o ensino dessa teoria.

A insistência de Van Fraassen na validade de uma teoria quando esta apresenta correlação com os testes empíricos termina, a nosso ver, por conferir um caráter de destaque na atividade científica para a experimentação. O mesmo, portanto, deve se verificar em aulas de ensino de ciências. O trabalho pedagógico em óptica geométrica mediado pela experimentação, do mesmo modo, ganha nova justificação e deve ser ainda mais valorizado. Vale mencionar que as práticas didáticas experimentais em óptica geométrica são um objeto contínuo de estudo no ensino de ciências, conforme as revisões bibliográficas elaboradas por Ribeiro e Verdeaux (2012) e Ribeiro e Carneiro (2016) permitem evidenciar.

Uma abordagem pedagógica que estabeleça uma comparação entre os modelos geométricos e aqueles posteriores (ondulatório e quântico) também encontra apoio nas ideias de Van Fraassen, em particular na “seleção natural das teorias” que o autor propõe. Apresentar aos alunos o “ocaso” da óptica geométrica em contraponto à ascensão da teoria ondulatória, a partir de relatos históricos, seria uma possibilidade. Novamente, tal prática didática exigiria, naturalmente, a apresentação dos conceitos da óptica geométrica (em conjunto ou separadamente ao tratamento ondulatório), justificando mais uma vez a relevância da sua abordagem.

## V. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Silva (2010) relata que a filosofia da ciência lida com algumas questões centrais, entre as quais podem ser destacadas a construção das teorias científicas, a aceitação dessas teorias, a existência das entidades postuladas pelos cientistas em suas explicações de fenômenos e a noção de verdade em ciência. É relevante destacar que o presente artigo lida diretamente com essas questões, adotando o ensino da óptica geométrica como pano de fundo para trazê-las à luz. Assim, acreditamos que nosso trabalho para oferecer alguma contribuição para tais discussões, na medida em que incorporamos o pensamento filosófico na interpretação de uma atividade prática, permitindo uma ponderação acerca do potencial das ideologias filosóficas aqui discutidas na interpretação do cotidiano da sala de aula. Assim, consideramos relevante que a filosofia da ciência continue a ser trabalhada em cursos de graduação e pós-graduação na área de ensino de ciências, para que os estudantes (e futuros profissionais) possam se munir de subsídios para refletir sobre sua prática profissional.

Nesse contexto, acreditamos que argumentações teóricas que venham a auxiliar na reconceituação da prática pedagógica podem auxiliar o trabalho do professor de ciências. Afinal, um lugar-comum na retórica sobre a presença de um conteúdo específico no currículo escolar é a sua ligação com o cotidiano dos estudantes. Não desconsideramos a importância de tal ideia, mas acreditamos que esse não deve ser o único argumento que justifique a relevância do estudo de uma temática, pelo risco do argumento se tornar repetitivo e passar, portanto, a ser desconsiderado em uma

discussão. Apresentar um novo conjunto de justificativas epistemológicas para a necessidade ou relevância do ensino de um tema auxilia, a nosso ver, a pensar “fora da caixa” em tais discussões curriculares.

Nossa construção de justificativas para o ensino da óptica geométrica, por sua vez, se apoiou em referenciais pouco conhecidos entre os pesquisadores em ensino de ciências, conforme a pouca presença na literatura acadêmica voltada ao tema permite inferir. Acreditamos, nesse contexto, que nosso artigo ajuda então o leitor a atualizar - e por vezes, confrontar - o pensamento de autores mais tradicionais da filosofia da ciência, apresentando alguns conceitos que não se revelam tão canônicos quanto a falseabilidade popperiana ou os paradigmas kuhnianos, mas que podem permitir novos *insights*, justamente pelos aspectos inovadores trazidos pelo realismo científico e pelo empirismo construtivo em questões como a verdade em ciência e a adequação empírica das teorias.

Admitimos correr certo risco na construção de nossa argumentação ao utilizar referenciais que, por vezes, se revelam antagonísticos. Frisamos, todavia, que o artigo de Silva (2013) segue a mesma técnica argumentativa de interpretação de um evento histórico (a construção do conceito de oxigênio) a partir desses dois referenciais. Portanto, não consideramos tal escolha de referenciais como uma fragilidade do artigo, ao contrário, acreditamos ter evidenciado que questões ligadas ao ensino da óptica geométrica estão relacionadas com ambas as vertentes filosóficas escolhidas.

Como não poderia deixar de ser, nosso artigo apresenta algumas limitações, em particular o fato de não termos abordado alguns aspectos relevantes do debate entre realismo científico e empirismo construtivo, tais como o isomorfismo entre os modelos teóricos e os modelos de dados, a distinção entre entidades observáveis e inobserváveis como uma característica antropocêntrica, os limites da observabilidade, a significância ontológica dos inobserváveis (aquilo que os humanos não são capazes de observar pode existir) e os processos pelos quais a comunidade científica escolhe entre duas teorias que se revelem empiricamente adequadas para a explicação de um mesmo fenômeno. A inclusão de tais aspectos poderia enriquecer nosso texto, mas ao mesmo tempo poderia torná-lo hermético. O dilema entre o que incluir e o que deixar de lado é tradicional em qualquer área de pesquisa, e reforçamos que o mesmo ocorre nesse artigo.

Também não foi objeto de discussão nesse artigo a proposição de qual das vertentes filosóficas adotadas como referenciais é “correta” – mesmo porque tal resposta ainda não se encontra elaborada no âmbito da filosofia da ciência. Giere (1999, p.199), entretanto, defende que o realismo é a vertente dominante nas ciências que possuem uma “sólida tradição teórica”, e poderíamos nos questionar se essa seria a postura epistemológica mais coerente para abordagens sobre temas da ciência no ensino médio. Ao mesmo tempo, o autor acredita que as ciências sociais e mesmo a física quântica possuem fortes vertentes empíricas no seu âmago, deixando a questão em aberto.

Por fim, embora nossa defesa tenha sido específica para a óptica geométrica, consideramos como possibilidade de trabalhos futuros a expansão de análises a partir dos referenciais aqui adotados para outros conteúdos programáticos, em particular aqueles que apresentem a característica de terem sido “ultrapassados” por teorias mais modernas, como, por exemplo, o uso do modelo atômico de Dalton para explicar a condução térmica em metais devido aos “choques” entre as moléculas. Outra possibilidade seria voltar tais referenciais filosóficos contra os próprios referenciais tradicionais em ensino de ciências: por exemplo, devemos acreditar nos subsunçores (conceito fundamental da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel) como entidades que realmente existem ou como conjecturas empiricamente adequadas às nossas pesquisas? Admitimos não termos elaborado ainda uma resposta para esse último questionamento, mas na medida em que as propostas do realismo científico e do empirismo construtivo visam a ciência como um todo, e não apenas as ciências naturais, esse seria um interessante – quiçá frutífero - caminho de pesquisa a se trilhar no futuro.

## REFERÊNCIAS

Barreto, U. & Bejarano, N. (2013). O estado da arte sobre modelos a partir da filosofia da ciência e suas implicações para o ensino de química. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. 8p.

- Braga, M. & Toledo, C. (2013) Modelos e modelagem na sala de aula: refletindo sobre o processo de construção do conhecimento científico. *Enseñanza de las ciencias* 31 (extra), p. 485-490.
- Brockington, G. & Pietrocola, M. (2005). O ensino de Física Moderna necessita ser real? Anais do XVI SNEF - Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, p.1-5.
- Cruz Silva, B. (2011). O modelo vibracional da luz de Huygens e o ensino de Física: Equívocos, desafios e possibilidades. *Latin American Journal of Physics Education* 5 (2), p.467-474.
- Ellis, B. (1999) What science aims to do. In: Papineau, D. (ed.) *The philosophy of science* (Oxford readings in philosophy). New York: Oxford University Press. 1ª ed., p.166-193.
- Franklin, A. (1999) *Can that be right? Essays on experiment, evidence and science*. Norwell: Kluwer Academic Publishers. 1ª ed., p.149-162.
- Giere, R. (1999) *Science without laws*. Chicago: University of Chicago Press. 1ª ed.
- Gutting, G. (1985) Scientific realism versus constructive empiricism: a dialogue. In: Churchland, P. & Hooker, C. (1985) *Images of science: essays on Realism and Empiricism, with a reply from Bas C. Van Fraassen*. Chicago: University of Chicago Press. 1ª ed., p.118-131.
- Kepler, J. (1611) *Dioptrice seu demonstratio eorum quae visui & visibilibus propter Conspicilla ita pridem inventa accidunt*. Augsburg: Augustae Vindelicorum. 1ª ed., 128p. Disponível em <https://archive.org/details/DioptriceByJohannesKeplerAkaIoannisKepleri>. Acesso em 19/05/2017.
- Kukla, A. (1998) *Studies in scientific realism*. New York: Oxford University Press. 1ª ed., p. 129-142.
- Matthews, M. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 12 (3), p.164-214.
- Maxwell, G. (1962) The ontological status of theoretical entities. In: McGrew, T., Alspector-Kelly, M. & Allhoff, F. (2009) *Philosophy of science: an historical anthology*. New York: Wiley-Blackwell. 1ª ed., p. 450-456.
- Musgrave, A. (1985) Realism versus constructive empiricism. In: Churchland, P. & Hooker, C. (1985) *Images of science: essays on Realism and Empiricism, with a reply from Bas C. Van Fraassen*. Chicago: University of Chicago Press. 1ª ed., p.197-221.
- Newton, I. (1730) *Opticks: or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. Londres: William Innys. 4ª ed., 224 p.
- Pereira, J. & Guerra, A. (2011) Controvérsia entre o modelo corpuscular e ondulatório da luz: um caminho para o ensino da óptica no nível médio. Atas do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física - SNEF. 10p.
- Psillos, S. (1999) *Scientific realism: how science tracks truth* (trad. Marques, L.). New York: Routledge. 1ª ed., p. XVII-99. Disponível em [criticanarede.com/realismocientifico.html](http://criticanarede.com/realismocientifico.html). Acesso: 05/07/2016.
- Putnam, H. (1975) *Mathematics, Matter and Method: Philosophical Papers, vol.1*. London: Cambridge University Press. 1ª ed., p.75.
- Ribeiro, J. & Carneiro, M. (2016). A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33 (2), p.355-398.

- Ribeiro, J. & Verdeaux, M. (2012). Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34 (4), p.4403-1.
- Ribeiro, J. (2016). Symmetry breaking: a compact disc reflected in a mirror. *Physics Education*, 51 (6), 063006.
- Scarinci, A. & Marineli, F. (2014). O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36 (1), 1309.
- Silva, M. (2010). Um passeio pelas principais correntes da filosofia da ciência. *ComCiência* (120), 4p.
- Silva, M. (2013) Ensino de ciências: realismo, antirrealismo e a construção do conceito de oxigênio. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 20 (2), p.481-497.
- Simon, S. & Moraes, A. (2007). O empirismo construtivo de Bas C. Van Fraassen e o problema da explicação científica. *Philosophos* 12 (2), p.131-169.
- Van Fraassen, B. (2007). *A imagem científica*. São Paulo: Editora UNESP. 1ª ed., 374p.