



UMA ANÁLISE SOBRE OS SUBSÍDIOS DADOS POR LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO PARA A COMPREENSÃO DA REALIDADE DO FÓTON

An analysis of the elements provided by high school physics textbooks for understanding the reality of the photon

Fábio Marineli [fabio.marineli@ufla.br]
Departamento de Educação em Ciências Físicas e Matemática
Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Av. Doutor Sylvio Menicucci, 1001, Lavras, MG, Brasil

Resumo

Este trabalho traz uma análise de livros didáticos de física do ensino médio, especificamente sobre os subsídios dados por eles para uma compreensão acerca da realidade do fóton. Foi levado em consideração que é função do ensino de física fornecer instrumentos para um entendimento de entidades inobserváveis da ciência e das maneiras pelas quais é atribuída realidade a elas. Foram investigadas três coleções didáticas de física do PNLD 2018, as três mais distribuídas pelo programa. Selecionamos os trechos dos livros com menções à entidade pesquisada, que foram categorizados, descritos e analisados. Identificamos que nos materiais didáticos o principal modo pelo qual o fóton é tomado como real é por meio de inferências abduativas, mas de maneira pouco explícita e pouco explicada. Há ainda menções à comprovação ou verificação experimental do caráter corpuscular da luz, ou à existência de outras evidências da sua quantização, novamente sem maiores esclarecimentos. Assim, mesmo sendo indicada nas regras do PNLD 2018 a necessidade de que haja nos livros espaços para discussões em que elementos epistemológicos estejam presentes, a questão específica da realidade do fóton não é discutida de forma efetiva, nem são dados subsídios claros para sua compreensão.

Palavras-Chave: Fóton; Realidade; Livros Didáticos; PNLD.

Abstract

This paper presents an investigation of high school physics textbooks, specifically about the elements provided by them for an understanding of the reality of the photon. It is our assumption that the role of physics education is to provide tools for a comprehending of scientific unobservable entities and the ways in which reality is attributed to them. Three physics textbook collections were investigated, namely the three most distributed by the PNLD 2018 (Brazilian National Textbook Program). We selected excerpts from books with references to the researched entity, which were categorized, described, and analyzed. We identified that in the didactic materials the main way in which the photon is taken as real is through abductive inferences, but in a little explicit and little explained way. There are also references to the proof or experimental verification of the corpuscular character of light, or to the existence of other evidence of its quantization, again without further clarification. Thus, even though the PNLD 2018 rules indicate the need for books to have spaces for discussions in which epistemological elements are present, the specific question of the photon reality is not effectively discussed, nor are clear subsidies given for its understanding.

Keywords: Photon; Reality; Textbooks; PNLD.

INTRODUÇÃO

A física é uma área do conhecimento presente em mais de um nível educacional, cumprindo diferentes propósitos em cada um deles. Nos cursos superiores relacionados com ciências naturais ou tecnologia, ela é muitas vezes ensinada visando a formação de especialistas, que, pelo menos em parte, dominam seus conceitos. Já na educação básica, ela se submete (ou deveria se submeter) aos objetivos dessa etapa educacional, tornando-se recurso para outros fins, como um instrumento para uma formação relacionada à cidadania, por exemplo.

Apesar das diferenças em seu papel nos diferentes níveis educacionais, algo que permanece é a presença do livro didático como um instrumento de apoio à atividade docente (Moreira, 2000; Zwiebel, 2012; Artuso, Martino, Costa, & Lima, 2019), principalmente na esfera educacional pública, mesmo que de maneira limitada (Zambon & Terrazzan, 2017). A função dos livros nas aulas de física costuma ser referencial e instrumental¹ (Choppin, 2004), apresentando tanto os conteúdos a serem trabalhados com os estudantes, ou seja, uma organização curricular dos conhecimentos (Martins & Garcia, 2019), quanto indicando os tipos de atividades a serem desenvolvidas com os alunos.

Observando um quadro mais geral, não só o da física escolar, perceberemos que os livros didáticos têm grande peso no mercado editorial, especialmente no Brasil (Choppin, 2004). No ano de 2019, segundo dados do site do Sindicato Nacional dos Produtores de Livros (CBL & SNEL, 2020), dos mais de 395 milhões de livros produzidos no Brasil, 202 milhões eram didáticos, representando mais da metade do mercado. Isso indica a presença massiva desse tipo de livro, que é um artefato comum nas escolas brasileiras e componente da cultura escolar.

Grande parte das compras de livros didáticos é realizada pelo Governo Federal, que adquire obras para serem destinadas a estudantes e professores das escolas públicas por meio do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Esse programa é uma estratégia de apoio à política educacional implementada pelo Estado brasileiro, visando cumprir o preceito constitucional que indica ser dever do Estado a garantia de “*atendimento ao educando, em todas as etapas da educação básica, por meio de programas suplementares de material didático escolar, transporte, alimentação e assistência à saúde*” (Art. 208 da Constituição de 1988, com trecho alterado pela emenda constitucional nº 59, de 11 de novembro de 2009. Grifo nosso).

O PNLD é um programa de enormes proporções. Segundo dados do site do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação², do Ministério da Educação, nos últimos anos vêm sendo utilizados nele valores acima de um bilhão e cem milhões de reais anualmente, chegando a quase um bilhão e quatrocentos milhões de reais em 2018. Para o ensino médio, também em 2018, foram empenhados quase novecentos milhões de reais com materiais didáticos.

As obras aprovadas no PNLD passam por um processo de seleção, seguindo critérios definidos em edital, que incluem princípios e critérios pedagógicos, gerais e por área do conhecimento. Com isso, busca-se que os livros cumpram os objetivos das políticas educacionais em vigor. No entanto, não podemos perder de vista que existem múltiplos fatores de definem como será um livro didático, inclusive os interesses das editoras, que têm como foco maximizar suas vendas (Rosa & Megid Neto, 2016).

Sobre essas políticas educacionais, em relação ao ensino médio, as diretrizes e documentos oficiais do Brasil vêm indicando, há alguns anos, a necessidade de a escola servir efetivamente para a formação de um cidadão contemporâneo, contribuindo para o aprimoramento do educando como ser humano, para sua formação ética, para o desenvolvimento de sua autonomia intelectual e de seu pensamento crítico (Lei n. 9.394, 1996). Isso sinaliza um caminho a ser tomado pela física escolar, visando uma formação “*para o pleno exercício da cidadania a partir de [uma] alfabetização científico-tecnológica*” (MEC, 2015, p. 51), o que envolve, inclusive, certa compreensão dos processos de construção do conhecimento científico, por meio do uso de elementos da história e filosofia da ciência (MEC, 2006).

No geral, seja em que nível educacional for, aparece na literatura educacional e nos documentos oficiais a necessidade de um entendimento mais amplo sobre a física, abarcando as dimensões histórica,

¹ Choppin indica que os livros didáticos não possuem uma função única, apontando para quatro funções essenciais: “1. Função referencial: o livro [...] constitui o suporte privilegiado dos conteúdos educativos, o depositário dos conhecimentos, técnicas ou habilidades que um grupo social acredita que seja necessário transmitir às novas gerações. 2. Função instrumental: o livro didático põe em prática métodos de aprendizagem, propõe exercícios ou atividades [...] 3. Função ideológica e cultural [...] o livro didático se afirmou como um dos vetores essenciais da língua, da cultura e dos valores das classes dirigentes. Instrumento privilegiado de construção de identidade [...] 4. Função documental [...] um conjunto de documentos, textuais ou icônicos, cuja observação ou confrontação podem vir a desenvolver o espírito crítico do aluno” (Choppin, 2004, p. 553).

² <http://www.fnede.gov.br/index.php/programas/programas-do-livro/pnld/dados-estatisticos>

social e filosófica. Segundo Matthews (1995), isso permitiria, inclusive, o desenvolvimento do pensamento crítico, tornando as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas. Objetivos educacionais relacionados à formação para a cidadania, como indicados nas diretrizes oficiais do nosso país, implicam em proporcionar uma compreensão sobre a ciência que vá além de descrições dos produtos das investigações científicas. A ciência tem um papel importante na formação cidadã, sobretudo ao se adotar uma perspectiva de análise crítica sobre seus próprios conhecimentos e sobre a maneira pelas quais eles são constituídos, que, do contrário, pode levar os estudantes a uma visão distorcida desses aspectos (Cachapuz, Gil-Pérez, Carvalho, Praia, & Vilches, 2005) e limitar o acompanhamento dos debates contemporâneos sobre questões científicas e suas relações com problemas da sociedade.

Levando isso em consideração, o presente trabalho apresenta parte de uma investigação que buscou analisar uma questão de caráter epistemológico em livros didáticos: os subsídios dados pelas obras para um entendimento da realidade de entidades científicas que estão longe dos sentidos, mas que fazem parte da caracterização que a ciência faz sobre o mundo. Compreender os processos científicos de caracterização dessas entidades tem relação com uma compreensão acerca da constituição do próprio conhecimento científico, como ele surge, como é justificado etc.

Nos últimos anos, vários trabalhos apresentaram pesquisas que foram desenvolvidas em torno da temática dos livros didáticos de física do PNL D, analisando diferentes aspectos, tais como: o modo de utilização desses livros em escolas públicas de educação básica (Zambon & Terrazan, 2017); a forma de apresentação nos livros da pesquisa em física desenvolvida no Brasil (Pereira & Londero, 2019); a opinião de estudantes brasileiros de ensino médio sobre as características consideradas importantes em um livro didático (Artuso *et al.*, 2019); a ocorrência de analogias e metáforas em capítulos de física moderna nos livros indicados pelo guia do PNL D 2018 (Kopp & Almeida, 2019); o processo de escolha dos livros didáticos por professores de física (Martins & Garcia, 2019); a utilização de imagens associadas a tópicos de física moderna nos livros didáticos (Rosa, Biazus, & Darroz, 2020), entre outras. Em especial, cabe citar o trabalho de Lima, Souza, Ostermann e Cavalcanti (2018), que apresentou uma pesquisa sobre o fóton nos livros didáticos aprovados no PNL D 2015, identificando as interpretações filosóficas que os livros aderem ao tratar dessa entidade e se eles reconhecem a existência de diferentes interpretações, relacionando as exposições dos livros com narrativas de artigos originais.

O presente trabalho também faz parte do conjunto de investigações relativas a livros didáticos de física do PNL D, igualmente com foco no fóton, tratando especificamente dos subsídios dados para a compreensão de sua realidade em coleções didáticas de física.

QUESTÕES SOBRE A REALIDADE DE ENTIDADES NO ENSINO DE FÍSICA

Dentre as discussões que se dão sobre educação em ciências, uma questão que há décadas é considerada importante são os elementos relacionados à *epistemologia*. Nos anos 1980, surgiram de maneira mais proeminente as críticas em relação aos currículos não refletirem as noções contemporâneas a respeito da própria ciência que vinham das discussões filosóficas (Cleminson, 1990). Certas reflexões de natureza epistemológica sobre o conhecimento científico, bem como sua origem e desenvolvimento, passaram a ser considerados como conteúdos que deveriam estar na escola (Matthews, 1994).

Essa questão também está presente nas discussões e políticas nacionais. Um exemplo aparece no Edital do PNL D 2018, onde é dito que

“[...] é fundamental que, no âmbito escolar, a Física, como uma das Ciências da Natureza, seja apresentada de forma a se possibilitar uma compreensão global dessa ciência. Assim, deve-se valorizar não a sua estrutura conceitual, os conhecimentos físicos propriamente ditos, mas também os principais aspectos de sua história e das suas formas particulares de se constituir. Isso significa abrir espaços para discussões em que elementos da História e da Epistemologia da Física estejam presentes”. (MEC, 2015, p.54).

Assim, é mencionada a importância de uma compreensão global da física, abrindo espaço para abordagens em que estejam presentes questões históricas e epistemológicas. Isso tendo em vista a construção de uma visão sobre a ciência mais de acordo com as ideias contemporâneas.

Um dos aspectos a ser destacado ao se buscar compreender a ciência de maneira mais global diz respeito a um entendimento acerca da realidade do conhecimento produzido por ela, o que inclui a realidade de entidades inobserváveis como fótons, campos, elétrons e quarks, por exemplo. Essa questão faz parte das discussões em torno do realismo/antirrealismo científico (Matthews, 1994; Chibeni, 1996; Barra, 1998; Dutra, 1998; Silva, 1998; Tiercelin, 1999). Não vamos tratar aqui dessa discussão, apenas destacar, conforme indicado por Pereira e Gurgel (2020, p. 1298), que uma característica importante das posições realistas, que as distingue de concepções antirrealistas, é “a busca de conhecimento dos processos inobserváveis causais, i.e., a suposição de mecanismos que envolvem entidades inobserváveis com objetivo de explicar os fenômenos observáveis”.

Apesar de a temática do realismo representar uma rica e complexa discussão filosófica, é razoável considerar que no ensino de física, principalmente na escola básica, a questão da realidade deva ser tratada em termos menos complexos que os apresentados nas discussões em filosofia, ao menos buscando esclarecer os critérios usados para que algo não diretamente observável possa ser considerado real³.

Sobre esse ponto, Matthews indica que:

“Algo que é comum ocorrer nas aulas de ciências é uma criança perguntar: se ninguém viu átomos, como nós podemos construir imagens deles? Essa criança está levantando uma das mais interessantes questões da filosofia da ciência: a relação entre evidência e modelos, e entre modelos e realidade. Bons professores de ciências devem incentivar tais questionamentos e ser capazes de prover respostas satisfatórias ou sugestões para mais questões. Responder ‘eu não sei’ ou ‘porque está no livro’ é renunciar à oportunidade de introduzir os estudantes às ricas dimensões metodológicas da ciência”. (Matthews, 1994, p. 4, tradução nossa).

Para Ogborn and Martins (1996), um dos objetivos do ensino de física deveria ser o de fornecer meios para conceber e lidar com essas entidades, considerando a importância do entendimento delas para o entendimento da própria física. Tratá-las da mesma forma que os objetos do dia a dia, que podem ser diretamente apreendidos pelos sentidos, ou então considerá-las como meras abstrações, poderia distorcer o conhecimento físico e levar a problemas de aprendizagem ou na utilização de tais conhecimentos fora da sala de aula (Gilbert, Pietrocola, Zylbersztajn, & Franco, 2000). Nesse sentido, parte da aprendizagem da física envolve maneiras de conceber as entidades da ciência e os critérios que podem justificar sua existência em teorias e modelos.

Cabe destacar que o tipo de acesso mediado que temos às entidades científicas, que é diferente do acesso que temos aos objetos ordinários do cotidiano, se não for adequadamente trabalhado pode induzir à ideia de que a ciência não trata do “mundo real”. Soma-se a isso o fato de que, muitas vezes, a visão de mundo científica contradiz as crenças adquiridas nas vivências cotidianas. Estas últimas são pouco questionadas no geral pelas pessoas, visto que o mundo cotidiano é considerado como “a realidade” por excelência (Schutz, 1962; Berger & Luckmann, 2005). A relação entre o mundo da ciência e o mundo cotidiano, no que diz respeito à caracterização da realidade, parece ser um ponto delicado. Para Barra (1998, p.16), “o desafio consiste em decidir como o mundo descrito por nossas teorias científicas deve se relacionar com as nossas expectativas sobre a realidade do mundo da nossa experiência cotidiana” e uma educação científica não pode estar alheia a essa questão entre o mundo da ciência e o mundo cotidiano.

Como já dissemos, nosso foco de trabalho são as formas de tratamento da questão da realidade de entidades inobserváveis da ciência em livros. No presente manuscrito, abordaremos especificamente o fóton, analisando os modos pelos quais ele é caracterizado e tomado como real em diferentes coleções didáticas. Que subsídios são dados pelos livros para que estudantes compreendam a sua realidade?

Já desenvolvemos uma investigação semelhante tratando de uma coleção de livros didáticos de física do ensino superior (Marineli & Pietrocola, 2018). Nela procuramos analisar se na coleção de livros do Halliday (Halliday, Resnick, & Walker, 2009a, 2009b, 2009c, 2009d) havia respaldo para o esclarecimento da problemática relativa a como a ciência caracteriza a realidade do fóton, do quark e do elétron. Como resultado, identificamos que as justificativas usadas pela coleção para as entidades serem consideradas reais foram principalmente inferências abduativas, mas de maneira eventual e pouco explícita. Como esclarecimento, convém mencionar que inferências abduativas são um tipo de inferência em que o poder explicativo de uma

³ Diferentemente de nossa proposta, existem trabalhos que buscam fazer relações entre as discussões do realismo com o ensino de Física. Dentre eles, podemos citar: Matthews (1994), Barra (1998), Pietrocola (1999), Gilbert *et al.* (2000), Cobern and Loving (2008), Dion e Loures (2013), Silva (2013) e Noronha (2014).

hipótese parece fornecer bases para crermos em sua verdade⁴ (Chibeni, 1996). Além disso, na coleção em questão, as entidades são tratadas na maioria das vezes de forma operacional, principalmente em exercícios algébricos.

Consideramos que esse trabalho nos forneceu resultados importantes, que mereciam ser expandidos por meio de novas investigações, para entendermos como a realidade das entidades é trabalhada nos livros didáticos. Assim, realizamos nova pesquisa, dessa vez analisando a questão em coleções de livros voltadas ao ensino médio.

Além de analisar como essas coleções justificam a realidade das entidades, especialmente do fóton, também realizamos uma comparação dessas justificativas com aquelas que aparecem no livro do Halliday, identificando semelhanças e diferenças. No entanto, ressaltamos que essa comparação não significa nenhum tipo de sugestão ou entendimento de que os livros de ensino médio deveriam ser como os voltados ao ensino superior.

Cabe salientar, ainda, que não é nosso propósito fazer discussões acerca daquilo que artigos originais em física abordam sobre as entidades, nem explicitar processos históricos envolvidos na caracterização delas, mas tão somente como as coleções de livros analisadas as apresentam e as caracterizam como reais. No entanto, comentários sobre questões históricas são feitos de forma eventual, utilizando fontes secundárias.

OS LIVROS ANALISADOS

Para a análise de livros do ensino médio, foram escolhidas três coleção didáticas de física que fazem parte do PNDL 2018. Para essa definição, foram utilizadas informações do site do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, do Ministério da Educação (FNDE, 2018) e escolhidas as três obras mais distribuídas nas escolas brasileiras. Elas foram: *Física*, (Bonjorno *et al.*, 2016a, 2016b, 2016c), *Física aula por aula* (Barreto Filho & Silva, 2016a, 2016b, 2016c) e *Ser Protagonista* (Fukui, Molina, & Venê, 2016; Válio, Fukui, Ferdinian, Molina *et al.*, 2016; Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016).

No quadro abaixo consta o número de exemplares adquiridos pelo PNLD 2018, considerando cada livro da coleção separadamente.

Quadro 1 – exemplares das três obras analisadas adquiridos pelo PNLD 2018

Nome da coleção	Referência dos autores	Nº de exemplares adquiridos pelo PNLD 2018	Porcentagem do total de livros de física do PNLD 2018
<i>Física</i>	Bonjorno <i>et al.</i> (2016a, 2016b, 2016c)	1.560.037	20%
<i>Física aula por aula</i>	Barreto Filho e Silva (2016a, 2016b, 2016c)	998.464	12,8%
<i>Ser Protagonista</i>	Fukui <i>et al.</i> (2016); Válio, Fukui, Ferdinian, Molina <i>et al.</i> (2016); Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira <i>et al.</i> (2016)	788.288	10,1%

⁴ Para Peirce (citado por Chibeni, 1996, p.46), “o fato surpreendente, C, é observado. Mas se A fosse verdade, C seria um fato natural. Logo, há razões para suspeitar que A seja verdade”.

Essas coleções correspondem a quase 43% do total de livros de física adquiridos.

Todas elas são compostas por três livros cada, um para cada ano do ensino médio. São muito parecidas em relação aos assuntos tratados e a como os organizam. No primeiro volume o tema é *mecânica*, no segundo são tratadas *termologia, óptica e ondulatória* e no terceiro volume os temas são *eletromagnetismo e física moderna*.

FORMAS DE ANÁLISE DOS LIVROS

Para a pesquisa, inicialmente foram identificadas nos livros as menções à entidade analisada, realizando uma Análise de Conteúdo (Moraes, 1999), investigando se os trechos em que havia essas menções traziam alguma justificativa para sua realidade ou se havia a atribuição de alguma característica a ela. Assim, foi definida como unidade de análise trechos em que havia alusões no singular ou plural ao fóton. Tratamos apenas aquilo que estava no interior dos capítulos, deixando de fora sumário, prefácio, respostas a problemas, entre outros. Isso porque, buscávamos encontrar extratos que poderiam dar uma explicação completa sobre as questões em análise. A única exceção foi o glossário, quando ele existia.

A definição dos trechos utilizados como unidade de análise dependia, ainda, da parte do capítulo em que ele estava (o que era nossa unidade de contexto), sempre com a intenção de selecionar uma ideia completa. Quando no corpo do texto principal dos capítulos, os extratos selecionados eram subseções inteiras. Não as dividimos em partes menores considerando que formavam um todo de uma explicação ou caracterização. Pelo mesmo motivo, nas demais partes também buscamos analisar um trecho inteiro, seja um exercício, um box com informações, uma seção especial etc. Apenas foram desconsideradas as menções que apareciam em títulos, subtítulos ou legendas já que essas partes não necessariamente compunham uma ideia completa.

Foram definidas duas categorias *a priori* para a classificação dos trechos. São semelhantes às utilizadas em nosso trabalho anterior (Marineli & Pietrocola, 2018), tendo em vista que a questão analisada é a mesma e que isso permitiria uma comparação dos resultados obtidos com as duas análises.

Categoria 1 – Existência/caracterização. Diz respeito a extratos em que são feitas atribuições de existência ou caracterizações do fóton. Entraram aqui dois tipos de trechos: (i) aqueles em que se buscava explicar as razões para que alguma de suas propriedades ou ele próprio fosse considerado real e (ii) os trechos onde era realizada alguma caracterização dele.

Categoria 2 – Aplicação e outros. Refere-se aos locais em que o fóton é mencionado, mas sem explicar a razão para que lhe seja atribuída realidade e sem ser feita alguma caracterização. Na maior parte das ocorrências, a alusão a ele tinha relação com sua aplicação na apresentação de conceitos teóricos ou em exercícios. Em tais casos, ele era tratado como real, com características já estabelecidas.

Sobre a Categoria 1, a atribuição de existência e a caracterização ficaram juntas porque muitas vezes são elementos inseparáveis, já que nos livros determinada entidade é tratada como existente possuindo certas características. Assim, a apresentação da entidade e das suas propriedades por vezes aparecem juntas no material analisado.

O FÓTON NOS LIVROS ANALISADOS

Nos quadros 2 a 4, a seguir, é apresentado o resultado das categorizações realizadas, o que foi importante para identificar e selecionar os trechos que continham atribuições de existência ou caracterizações do fóton. Nos quadros são indicados esses trechos, categorizados, e apontadas as partes dos livros em que eles são encontrados.

O código utilizado para identificar os trechos foi o seguinte: o primeiro número sempre corresponde ao volume da coleção e o segundo ao capítulo. Os demais variam, dependendo da parte do livro. No caso dos trechos na parte principal dos capítulos, os próximos números correspondem à seção e à subseção em que eles estão; no caso dos exercícios, ao número do exercício que aparece no próprio capítulo; nas demais partes, foi identificado o volume, capítulo, seção/subseção em que elas se encontram ou apenas volume e capítulo nos casos em que havia apenas uma parte daquele tipo no capítulo.

Cabe ainda mencionar que nos casos das coleções de Bonjorno *et al.* e de Barreto Filho e Silva, as subseções não possuem numeração, apenas os capítulos e seções. No entanto, atribuímos nós mesmos números às subseções, em ordem crescente conforme apareciam nas seções. Já na coleção *Ser Protagonista*, apenas os capítulos possuíam numeração, as seções e subseções foram numeradas por nós, também em ordem crescente.

Exemplificando, para algum livro, nos referimos ao capítulo 12 do terceiro volume, seção 4, subseção 1 como 3.12.4.1 (volume 3, capítulo 12, seção 4, subseção 1). No caso de a seção não possuir subseções, ficaram apenas os três códigos iniciais, como, por exemplo, 2.8.1 (volume 2, capítulo 8, seção 1).

Quadro 2 - trechos do livro *Física* (Bonjorno *et al.*, 2016a, 2016b, 2016c) que mencionam as palavras fóton ou fótons, categorizados

Entidade	Parte do texto	Categoria 1	Categoria 2
Fóton	Parte principal (seções e subseções / corpo do texto)	2.8.1, 3.12.2, 3.12.3, 3.12.3.1	3.13.1, 3.13.3, 3.13.4, 3.13.4.5
	Exercícios resolvidos		3.12.1, 3.12.2, 3.12.3, 3.12.4
	Exercícios propostos		3.11.15, 3.12.1, 3.12.2, 3.12.3, 3.12.4, 3.12.6, 3.13.6, 3.13.7, 3.13.8
	Pense e responda	3.12.2	
	Pensando as ciências		3.10.3.3, 3.12.2
	Mais atividades		3.13.1, 3.13.4, 3.13.5
	TOTAL		5

Quadro 3 - trechos do livro *Física aula por aula* (Barreto Filho & Silva, 2016a, 2016b, 2016c) que mencionam as palavras fóton ou fótons, categorizados

Entidade	Parte do texto	Categoria 1	Categoria 2
Fóton	Parte principal (seções e subseções / corpo do texto)	2.9.6.3, 3.13.5, 3.14.4.1	3.14.3, 3.14.5
	Exercícios resolvidos		3.14.1, 3.14.2, 3.14.3
	Exercícios propostos		3.14.3, 3.14.6, 3.14.9, 3.14.10
	Lendo a Física	2.1.3	
	Exercícios complementares		3.15.4
	TOTAL		4

Quadro 4 - trechos do livro *Ser Protagonista* (Fukui *et al.*, 2016; Válio, Fukui, Ferdinian, Molina *et al.*, 2016; Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016) que mencionam as palavras fóton ou fótons, categorizados

Entidade	Parte do texto	Categoria 1	Categoria 2
Fóton	Abertura do capítulo - questões	3.8.2	
	Parte principal (seções e subseções / corpo do texto)	3.8.1.6, 3.8.2.2, 3.8.3	3.8.1.7, 3.8.2.5, 3.8.4.1, 3.8.4.2, 3.9.5.3
	Box – Conceito em questão	3.8.2.2	
	Exercícios resolvidos		3.8.12
	Exercícios propostos		3.2.30, 3.8.16, 3.8.17, 3.8.22, 3.8.23, 3.8.33, 3.8.43
	Integre o aprendizado		1.4.16, 3.8.60, 3.8.64
	Vestibular e Enem		3.7.7, 3.9.5, 3.9.6
	Ciência, tecnol. e sociedade	3.9	
	Laboratório		3.8
	Glossário	2: termo fóton, 3: termo fóton	
	TOTAL	8	20

É possível identificar pelos quadros que há um predomínio de extratos classificados na Categoria 2, que diz respeito a menções ao fóton sem explicações sobre sua realidade e sem ser feita alguma caracterização. No entanto, há um número razoável de trechos categorizados na Categoria 1, com alguns descritos na seção a seguir. Essa descrição é necessária para a compreensão de como o livro dá subsídios para a compreensão da realidade do fóton.

DESCRIÇÕES QUALITATIVAS SOBRE O FÓTON

Fóton na coleção *Física*

Na coleção de Bonjorno *et al.* (2016a, 2016b, 2016c), o fóton é citado pela primeira vez no segundo volume. O capítulo 8, intitulado *Conceitos fundamentais de Óptica*, tem sua primeira seção com o título *Afinal, o que é a luz?* e faz menções a episódios históricos relacionados a estudos sobre a luz, passando por ideias de Isaac Newton, Christian Huygens, Thomas Young e James Maxwell, para, por fim, se referir ao efeito fotoelétrico. O fóton aparece no seguinte trecho:

*“Quando parecia que a natureza da luz iria se confirmar como ondulatória de origem eletromagnética, um fenômeno que viria a ser chamado de **efeito fotoelétrico** fez com que os cientistas se debruçassem novamente sobre a teoria corpuscular.*

[...]

*Em 1905, foi publicado um artigo que era contrário à ideia da luz como onda. Albert Einstein (1879-1955) propôs uma explicação para o efeito fotoelétrico, ao considerar que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia denominados **fótons**, que se comportam como ‘partículas’ de luz. Interessante notar que essa partícula de luz apresentava valor energético em função da frequência da onda associada. Essa aparente contradição foi assimilada com o desenvolvimento da Mecânica Quântica, entre 1900 e 1925. Pela nova teoria a luz tem comportamento dual ou natureza dupla, ou seja, pode se comportar ora como*

partícula, ora como onda, e isso é perfeitamente aceitável no modelo quântico”. (Bonjorno *et al.*, 2016b, p. 127, grifos no original).

Nesse excerto é dito que o fóton foi considerado por Albert Einstein em sua proposta de explicação para o efeito fotoelétrico. É indicada uma inferência abduativa, que seria a seguinte: um fenômeno aparentemente sem explicação pela teoria ondulatória (que “*fez com que os cientistas se debruçassem novamente sobre a teoria corpuscular*”) foi observado – o efeito fotoelétrico; no entanto, se a energia da luz for concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados fótons, esse efeito poderia ser explicado; logo, há razões para acreditar que os fótons sejam reais. No entanto, esse raciocínio não é explicitado, tal como estamos fazendo, tão somente utilizado de maneira implícita no trecho. E não fica claro porque a explicação proposta para efeito fotoelétrico necessitaria da referida entidade, nem como Einstein chegou à sua proposta. Ou seja, o trecho não apresenta a construção teórica que levou ao que posteriormente foi denominado de fóton⁵.

Após o trecho indicado, o fóton não é mais mencionado no segundo volume e surge novamente apenas no terceiro. Nesse, no capítulo 10, que aborda *Ondas eletromagnéticas*, em uma parte *Pensando as ciências* que trata de lasers (parte 3.10.3.3), é dada uma explicação para os feixes coerentes utilizando o modelo atômico de Bohr junto com a ideia de fóton:

*“[...] quando uma quantidade de energia, sob a forma de calor, luz ou eletricidade, é aplicada ao átomo, o elétron pode passar de uma órbita para outra, ficando num estado com energia maior, chamado **estado excitado**. Esse estado, no entanto, é temporário. Em seguida, o elétron emite um fóton e volta para um nível de energia mais baixo (isso será estudado com mais detalhe na Unidade 4). Ocorrem assim dois processos básicos: o de absorção de um fóton por um sistema atômico, causando a transferência de um elétron de um nível de mais baixa energia para um nível de energia mais alta, e depois a emissão espontânea de um fóton por um sistema atômico, causando a transferência do elétron de volta para um nível de energia mais baixa”.* (Bonjorno *et al.*, 2016c, p. 193, grifo no original).

Nesse extrato o fóton é mencionado sem qualquer caracterização ou explicação adicional, apenas que as mudanças em níveis de energia de elétrons (e possivelmente os fótons em si) serão estudadas posteriormente no livro. O que, curiosamente, não acontece, uma vez que esse assunto – mudanças em níveis de energia – não aparece mais. Na sequência, o texto continua utilizando o fóton em suas explicações sobre o laser, ainda sem qualquer outra caracterização.

O fóton ser utilizado dessa forma no início do volume, sem explicações sobre o que ele seria, juntamente com a utilização da abdução no volume anterior, também sem explicações adicionais, é um indicativo de que um esclarecimento sobre sua realidade não é necessariamente uma questão para o livro.

Posteriormente, a seção 3.12.2 trata especificamente do efeito fotoelétrico. Após uma explicação do referido efeito, é dito que a física clássica não conseguia explicá-lo, por dois motivos: “*o fato de que a emissão dos elétrons dependia da frequência da radiação e não de sua intensidade*”⁶ (Bonjorno *et al.*, 2016c, p. 231), e que o tempo entre a incidência da radiação e a emissão dos elétrons era muito pequeno (ordem de nanossegundos), o que necessitaria de uma energia comparável àquela que incide sobre uma área contendo milhões de átomos. Na sequência é dito que uma explicação compatível com os dados experimentais foi dada por Einstein, publicada em 1905, e que essa explicação foi confirmada por experimentos realizados por Robert Millikan no ano seguinte⁷ (sem explicar que experimentos seriam esses, nem como isso se deu).

⁵ O excerto, ao afirmar que o efeito fotoelétrico levou os cientistas a se voltarem à teoria corpuscular traz, ainda, problemas históricos. Essa afirmação ignora a existência de explicações para o efeito fotoelétrico que não utilizavam fótons, como a de Philipp Lenard, além de representar mal o papel desse efeito para a aceitação da teoria quântica, que entre 1900 e 1915 foi apenas secundário. À época, aceitar a teoria de Einstein trazia o inconveniente de ter de abandonar a teoria eletromagnética da luz, uma das mais bem confirmadas teorias físicas, o que levou muitos físicos a ignorá-la ou a criticá-la. Para mais informações, ver Kragh (1992).

⁶ O modelo de Lenard, mencionado na nota anterior, trazia sim uma explicação para essa questão, considerando que a transmissão de energia não se dava diretamente da luz para o elétron, mas envolvia toda a estrutura atômica do cátodo. Uma descrição mais detalhada do modelo está em Kragh (1992).

⁷ O livro afirma que os experimentos de Millikan confirmaram a explicação de Einstein. Não fica claro o que seria a explicação de Einstein, se está sendo feita referência à equação do efeito fotoelétrico (que foi o que Millikan trabalhou) ou a explicação geral que incluía a hipótese do quantum de luz (algo que, à época, Millikan discordava) (Kragh, 1992). Além disso, os experimentos de Millikan foram realizados em 1916, não em 1906, como diz o livro.

*“Com base na ideia do quantum de Planck, Einstein estabeleceu⁸ que a energia da radiação incidente concentrava-se em ‘partículas’, que passaram a ser denominadas **fótons**. Ele sugeriu que cada fóton transporta um quantum de energia dado por $E = hf$. Ou seja, em lugar de se espalhar nas frentes de ondas, como estabelecia a teoria eletromagnética, a energia é transportada em pacotes discretos.*

O elétron absorve toda a energia transportada pelo fóton de uma só vez e, desde que a direção do movimento do elétron no interior do metal seja adequada, ele consegue vencer a barreira da superfície. A energia cinética máxima de saída do elétron é igual à energia do fóton menos a energia necessária para chegar à superfície e atravessá-la”. (Bonjorno et al., 2016c, p. 231, grifos no original).

Conforme o trecho, considerando a grande quantidade de energia necessária para ejetar um elétron do material em tão pouco tempo, a caracterização da luz como sendo formada por pacotes de energia – os fótons – permitiria a explicação do fenômeno: toda a energia estava concentrada em uma pequena partícula, que interagiria diretamente com um determinado elétron. Ou seja, o fóton é algo que deve ser considerado, uma vez que sua existência permitiria explicar o tempo de ejeção dos elétrons no efeito fotoelétrico. Novamente, há aqui uma inferência abdutiva, mesmo não estando explicitada.

Na seção 3.12.3, que trata do efeito Compton, aparece nova menção aos fótons. Inicialmente é dito que *“em 1923, Arthur Holly Compton (1892-1962), físico estadunidense, comprovou experimentalmente a natureza quântica dos raios X”* (Bonjorno et al., 2016c, p. 236). Após uma descrição do experimento de Compton, é dito que

“Após a colisão ou choque, verifica-se o grau de espalhamento do raio X [...] e dos elétrons fracamente ligados aos átomos de carbono. Compton compreendeu que ambos apresentaram comportamento semelhante ao que acontece quando ocorre a colisão de bolas de bilhar. Isso pode ser interpretado como uma indicação da natureza corpuscular do raio X. Após o choque, as bolas de bilhar continuam sendo as mesmas, mas no caso do experimento com os raios X, Compton descobriu que o comprimento de onda do raio X espalhado é maior que o do incidente”. (Bonjorno et al., 2016c, p. 236).

Após algumas explicações adicionais, na mesma página é dito que *“o **efeito Compton** confirma que os fótons se comportam como partículas”* (Bonjorno et al., 2016c, p. 236, grifo no original).

Há, nessa parte do livro, uma nova inferência abdutiva, também apresentada de maneira não muito clara: no espalhamento dos fótons de raios X e dos elétrons há um comportamento que é semelhante ao choque de bolas de bilhar; isso não seria passível de explicação considerando os raios X somente como ondas (o que não é dito diretamente); portanto, a melhor explicação para o fenômeno é considerar que existem fótons (já tratados como reais) e que eles se comportam como partículas. Além disso, o trecho que afirma que o referido efeito “confirma” que fótons se comportam como partícula traz uma ideia de que o experimento seria como uma “revelação” da natureza, não havendo margem para interpretações.

Na sequência, na subseção 3.12.3.1, é afirmado que

“Fenômenos como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton evidenciaram que as radiações têm comportamento corpuscular, uma vez que podem ser [explicados]⁹ com o conceito de fóton ao qual está incorporada uma quantidade de energia proporcional à frequência da fonte emissora. Assim, podemos afirmar que as

⁸ O trabalho de Einstein não representa continuação do trabalho de Planck, com Einstein dizendo inclusive que, em certos aspectos, representavam uma antítese. As fundações das teorias eram diferentes. No trabalho de 1905, Einstein não escreveu $E=hf$ ou $E=h\nu$, como escrevemos atualmente, mas $E=\beta\nu R/N$, apenas com constantes que aparecem na teoria de Wien, sem indicar que o valor da constante h é exatamente $\beta R/N$ (Rosa, 2004). Ainda sobre esse ponto, Kragh afirma que *“a base da argumentação de Einstein eram as leis da radiação do corpo negro, mas não era de forma alguma uma continuação da lei de Planck de 1900, e a famosa constante de Planck (h) nem mesmo entrou como uma variável independente no trabalho de Einstein. Ele não partiu da ‘revolucionária’ lei de radiação de Planck – celebrada retrospectivamente 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 era que Einstein em 1905 acreditava que a teoria de Planck não poderia concordar com a ideia de quanta de luz”* (Kragh, 1992, p. 354, tradução nossa). Sobre o mesmo assunto, ver ainda Mehra and Reichenberg (1982), seção 1.3.

⁹ Há aqui no trecho um aparente erro de concordância. Consta no trecho do livro a palavras “explicadas”, que substituímos por “explicados”. Isso porque, se mantida a palavras original, o trecho estaria indicando que as radiações estariam sendo explicadas pelo conceito de fóton. No entanto, o que estava sendo explicado no livro eram os efeitos fotoelétrico e Compton.

radiações eletromagnéticas consistem num conjunto discreto de pacotes de energia – corpúsculos ou fótons.

Por outro lado, fenômenos como difração e interferência, que ocorrem com essas radiações, são descritos teórica e experimentalmente por uma natureza ondulatória”. (Bonjorno et al., 2016c, p. 236).

Esse trecho do livro afirma explicitamente que os efeitos fotoelétrico e Compton evidenciam o comportamento corpuscular da luz uma vez que podem ser explicados com o conceito de fóton. Isso é algo que já vinha sendo apontado nos outros trechos citados, mas de maneira menos evidente. Essa ideia, assim como as anteriormente apresentadas, indica, ainda, uma posição *realista* sobre a ciência, uma vez que consideram mecanismos relacionados a uma entidade inobservável – no caso o fóton – para explicar aquilo que é observado (Pereira & Gurgel, 2020).

No geral, é possível identificar pelos excertos que no livro a existência do fóton é baseada em inferências abduativas, mesmo elas não sendo apresentadas de forma clara e explicada.

Fóton na coleção *Física aula por aula*

Na coleção de Barreto Filho e Silva (2016a, 2016b, 2016c), menções ao fóton aparecem pela primeira vez no segundo volume, em uma parte denominada *Lendo a Física*, já no primeiro capítulo (seção 2.1.3). Sob o título *Uma breve história da luz*, são apresentados trechos de um texto escrito por Marcelo Gleiser, publicado em um jornal, que faz um apanhado sobre concepções acerca da luz. Em determinado ponto, o texto menciona que Einstein publicou dois artigos em 1905, ambos relacionados à natureza da luz, que, conforme é dito, iriam “revolucionar nossa visão de mundo”. No texto encontramos o seguinte extrato:

“No primeiro artigo, Einstein sugere que a luz tem um comportamento dual, podendo não só ser interpretada como uma onda mas também como feita de partículas. Fachos de luz podem ser descritos como sendo compostos por corpúsculos – ou ‘quanta’ – mais tarde chamados de fótons”. (Gleiser, 2015, citado por Barreto Filho & Silva, 2016b, p. 20).

Na passagem, o fóton é apresentado como uma sugestão de Einstein acerca da luz, que possuiria um comportamento dual, cujos fachos poderiam ser descritos como compostos por corpúsculos. Não há nenhuma outra explicação para o fóton além da menção à sugestão de Einstein¹⁰.

Após mais algumas colocações sobre a teoria da relatividade, na mesma parte do capítulo há nova menção ao fóton:

“Essa é a famosa fórmula $E = mc^2$, que tem aplicação direta na luz: se fótons de luz têm energia suficiente (no caso, o extremo mais energético do espectro luminoso, os raios gama), podem se transformar em partículas de matéria como, por exemplo, elétrons. Luz e matéria são, de certa forma, dois lados da mesma moeda”. (Gleiser, 2015, citado por Barreto Filho & Silva, 2016b, p. 21).

Aqui já vemos que o fóton passou a ser considerado como real, uma vez que é diretamente mencionado como algo existente, mas novamente sem explicações adicionais sobre sua existência. No entanto, agora é apresentada outra propriedade dele: pode se transformar em partículas de matéria. Esse tipo de apresentação de características ou propriedades sem explicações adicionais se repete um pouco mais à frente no texto, onde é afirmado que fótons podem surgir como produto em uma colisão entre matéria e antimatéria.

Temos, então, que o livro escolhe um texto de divulgação científica para mencionar o fóton pela primeira vez, sem haver uma preocupação de caracterizar porque ele pode ser considerado real.

Ainda no mesmo volume, no capítulo 9, seção 6.3, em um trecho que trata especificamente do comportamento dual da luz (classificado como 2.9.6.3), é mencionado:

¹⁰ Cabe assinalar que a visão de Einstein sobre a luz em 1905 não era dual, como diz o trecho, mas clássica, com a radiação sendo composta por partículas. Sobre a relação entre o quantum de luz e as ondas, Einstein não diz nada em seu trabalho de 1905 (Rosa, 2004).

*“O fenômeno que se conhece hoje por efeito fotoelétrico corresponde à emissão de elétrons pela superfície de um metal quando este é atingido pela luz. O físico alemão Albert Einstein (1879-1955) desenvolveu estudos sobre o efeito fotoelétrico e formulou uma hipótese segundo a qual a luz seria constituída por partículas sem massa, atualmente denominadas **fótons**. Essa hipótese, que propunha um caráter corpuscular para a natureza da luz, foi verificada experimentalmente pelo físico americano Robert Millikan (1868-1953)”. (Barreto Filho & Silva, 2016b, p. 147, grifo no original).*

Agora o fóton é apresentado como uma hipótese de Einstein, vinda de estudos sobre o efeito fotoelétrico. É dito, ainda, que a hipótese foi, posteriormente, verificada experimentalmente por Millikan¹¹. No entanto, não aparece nenhum contexto do levantamento dessa hipótese ou sua relação com o efeito fotoelétrico, ou seja, não aparece a questão que Einstein estava tratando que o levou a ela. Aparece o livro não considera essa explicação importante, mas sim que ela teria sido verificada experimentalmente. Aparece que a evidência do caráter corpuscular da luz seria experimental, mas novamente sem explicações adicionais sobre o experimento realizado.

As próximas menções ao fóton são encontradas apenas no volume 3. No capítulo 13, que trata da *Teoria da Relatividade Restrita*, a seção 5 versa sobre *Massa e Energia* (trecho 3.13.5). Nele é apresentada a propriedade de os fótons não terem massa, mencionando que as únicas partículas que se movem com a velocidade da luz são aquelas com massa nula, que seriam os justamente os fótons. No segundo volume essa propriedade dos fótons – de não terem massa – já havia sido apresentada, como visto no trecho citado anteriormente. Dessa vez, a primeira em que o fóton é mencionado no terceiro volume, ele é novamente tratado como algo já conhecido, com características já dadas.

Mais à frente, na subseção 3.14.4.1 é apresentada a explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico. Antes dela é elucidado o fenômeno e dito que a explicação clássica para ele não era adequada e que *“sabia-se que a energia máxima dos elétrons emitidos era proporcional à frequência da radiação incidente e não à sua intensidade”*¹². (Barreto Filho & Silva, 2016c, p. 223).

Daí aparece o seguinte trecho:

*“[Einstein] aproveitou a hipótese dos **quanta**, formulada por Planck, e pôde, com isso, explicar completamente (quantitativa e qualitativamente) a emissão de elétrons por um material atingido por radiação eletromagnética, fenômeno chamado de efeito fotoelétrico. A ideia de Einstein era a de que os **quanta** de energia (que ele chamou fótons, daí o nome efeito fotoelétrico) penetravam a superfície do material, e uma parte da energia deles era transformada em energia cinética dos elétrons”*.¹³ (Barreto Filho & Silva, 2016c, p. 223, grifos no original).

O trecho afirma que Einstein aproveitou a hipótese dos quanta para explicar o efeito fotoelétrico. Ou seja, a ideia do fóton teria surgido como uma busca por uma explicação para o fenômeno, o que representa uma inferência abduativa: observa-se a ocorrência do (chamado posteriormente) efeito fotoelétrico, que, segundo o livro, não podia ser explicado adequadamente com os conhecimentos clássicos; no entanto, se a radiação eletromagnética for quantizada, o fenômeno pode ser explicado. Portanto, o *quantum* de energia (ou fóton) é considerado real. Apesar de haver nessa explicação uma inferência abduativa, assim como ocorre na coleção apresentada anteriormente, ela não aparece de forma explícita, necessitando certa decodificação da frase para ser percebida.

¹¹ Convém indicar que diferentemente do que é dito no trecho, os experimentos de Millikan apenas validaram a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, não verificaram o caráter corpuscular da luz (Santos, 2018). Conforme assinalado nos trabalhos de Kidd, Ardini and Anton (1989) e de Kragh (1992), a teoria de Einstein não era a única que chegava à equação do efeito fotoelétrico, sendo possível chegar a ela sem as hipóteses corpusculares.

¹² Apesar dessa afirmação do livro, segundo Kragh (1992), em 1905, ano em que Einstein publicou sua explicação sobre o efeito fotoelétrico, não havia evidência experimental que mostrava a relação entre a energia máxima dos elétrons emitidos e a frequência da radiação incidente. Essa relação era uma previsão teórica de Einstein. *“Historicamente, levou cerca de 10 anos, de 1906 a 1916, para chegar à conclusão de que a energia e a frequência estão de fato relacionadas como Einstein previu”* (Kragh, 1992, p. 357, tradução nossa).

¹³ Diferentemente do que é afirmado no trecho, Einstein não deu o nome “fóton” ao quantum de luz. Considera-se que esse nome veio de Gilbert N. Lewis, que em 1926 considerou a existência de uma entidade independente, como um “átomo hipotético”, chamando-a de fóton (Kidd, Ardini, & Anton, 1989; Kragh, 2014). Esse termo foi posteriormente utilizado como sinônimo do quantum de luz de Einstein. Para maiores discussões sobre o termo fóton, seus usos antes de G. N. Lewis, e a utilização específica dele significando o quantum de luz, ver Kragh (2014). Já sobre a afirmação de Einstein ter utilizado formulações teóricas de Planck, ver nota 8.

Fóton na coleção *Ser Protagonista*

O fóton aparece na coleção *Ser Protagonista* (Fukui *et al.*, 2016; Válio, Fukui, Ferdinian, Molina *et al.*, 2016; Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016) logo no primeiro volume, em um exercício, numa parte denominada *Integre o aprendizado*, no capítulo que trata de *Movimento Uniformemente Variado* (exercício 1.4.16). No exercício é apresentado um trecho sobre veleiros solares – espaçonaves com grandes velas e que se movimentam graças à ação da luz. “No caso dos veleiros solares, a propulsão é causada pela própria luz do Sol, cujos fótons se chocam contra a vela, que, conseqüentemente, empurra a espaçonave” (Fukui *et al.*, 2016, p. 77). Há nesse trecho uma alusão ao fóton sem qualquer explicação do que seria a entidade, tratando-o como componente da luz solar sem qualquer elucidação além disso.

O fóton é citado novamente no glossário do segundo volume da coleção, mas é no terceiro volume que ele é realmente discutido, com a maioria das menções a partir do capítulo 8. Antes disso são feitas alusões como a do primeiro volume.

Logo na abertura do oitavo capítulo, que tem por título *A Física do ‘muito pequeno*, é proposta a seguinte questão “Como é possível detectar a existência de átomos, prótons, nêutrons, elétrons, fótons ou outras partículas?” (Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016, p. 206). Essa pergunta traz a expectativa de que a questão será devidamente tratada no capítulo, o que não ocorre.

Na seção classificada como 3.8.1.6, o livro afirma que

“Em 1913, Bohr propôs um modelo atômico fundamentado nos espectros de emissão do hidrogênio. Seu modelo partia da compreensão e modificação do modelo de Rutherford, da utilização das propostas teóricas dos fótons de Einstein¹⁴ e da quantização de Planck (que serão apresentadas mais adiante), as quais consideram que a energia não é transferida em quantidades contínuas – ela se organiza e é transferida em ‘pacotes’. No caso das ondas eletromagnéticas, esses pacotes são chamados fótons”. (Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016, p. 211).

Nesse excerto é possível identificar uma caracterização dos processos de transferência de energia em átomos, que se daria em “pacotes”. No caso da energia eletromagnética, eles seriam os fótons. Aqui a proposta do fóton, como é mencionado, é utilizada para a proposição de um modelo atômico fundamentado nos espectros de emissão do hidrogênio, mesmo sem a entidade ter sido explicada ou caracterizada (é apenas dito que será apresentada adiante).

Na mesma subseção 3.8.1.6 é tratada a variação de energia de um elétron que muda de órbitas em um átomo.

*“A variação de energia desses saltos é dada por $\Delta E = E_{final} - E_{inicial} = \hbar \cdot f$ [...] [onde] \hbar é a constante de Planck e f é a frequência de cada fóton. A variação de energia ΔE corresponde à **energia do fóton**, de frequência f , que foi ganha ou perdida pelo elétron”.* (Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016, p. 211, grifo no original).

No trecho é introduzida como propriedade do fóton ele possuir frequência. No entanto, novamente, sem nenhuma explicação do como seria possível uma partícula ter uma propriedade que pertence a ondas.

Mais adiante, a subseção 3.8.2.2 trata do efeito fotoelétrico. Ele é caracterizado e é dito que a física clássica não permitia explicar os resultados experimentais obtidos sobre a relação entre o comprimento de onda da radiação incidente e a eletrização ou não da placa metálica (ver nota 6, onde mencionamos que uma afirmação como essa estava equivocada). Na sequência, aparece o seguinte trecho:

“Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) propôs uma explicação para o fenômeno – trabalho que lhe rendeu o prêmio Nobel. Assumindo a hipótese da quantização, Einstein sugeriu que a luz é formada por pequenos pacotes de energia, proporcionais à sua frequência. Quando incide sobre a placa, a luz transmite a ela energia necessária para liberar elétrons, tornando o metal carregado positivamente. Para se desprender da placa metálica, o elétron precisa de certa quantidade de energia, fornecida pelo fóton. A energia do fóton, porém, depende da frequência da

¹⁴ A hipótese do fóton não foi aceita de maneira simples por Bohr. Inclusive, diferentemente do que é dito no trecho, ela não foi levada em consideração para seu modelo atômico. Bohr rejeitou essa ideia por uma década após a proposição de seu modelo. Para mais informações, ver Kidd, Ardini and Anton (1989) e o Capítulo V da obra de Mehra and Rechenberg (1982).

luz incidente, e não de sua intensidade (como era previsto pelas teorias clássicas)¹⁵. Assim, apenas luz acima de determinada frequência é capaz de remover elétrons do metal”. (Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira et al., 2016, p. 214).

Nesse extrato aparece que Einstein “sugeri” que a luz é formada por pequenos pacotes de energia, proporcionais à sua frequência, para explicar o efeito fotoelétrico. Assim como nas coleções anteriormente analisadas, a existência do fóton é explicada por uma inferência abdutiva, ou seja, sua existência permitiria explicar o efeito fotoelétrico e, portanto, assume-se que ele é real. Como aparece, mais à frente, na mesma subseção:

*“Com essa abordagem, a radiação eletromagnética ganhou nova compreensão; além do caráter ondulatório, passou a incorporar um caráter corpuscular (já defendido por alguns estudiosos da Física clássica, como Isaac Newton). Ou seja, as ondas eletromagnéticas podem ser consideradas pequenos ‘pacotes de energia’ que se propagam. Os pacotes de energia, posteriormente chamados **fótons**, comportam-se como partículas e tem energia dada por $E = h.f$ (em que h é a constante de Planck e f é a frequência da onda). A teoria ondulatória previa que houvesse um intervalo de tempo entre a incidência de luz e a emissão dos elétrons. De acordo com essa teoria, quando a luz tem baixa intensidade, o elétron acumula energia vibracional durante um período de tempo antes de se desprender da placa. No entanto, esse intervalo de tempo nunca foi observado”. (Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira et al., 2016, p. 214, grifo no original).*

O extrato já generaliza o caráter corpuscular para toda a radiação eletromagnética, sendo que as ondas eletromagnéticas podem ser consideradas pequenos “pacotes de energia”, posteriormente chamados fótons. Apresenta, ainda, mais uma justificativa para essa consideração: que não era observado o intervalo de tempo, previsto pela teoria ondulatória, entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons. Portanto, sua explicação não deve estar correta e sim a que considera os fótons. Novamente, uma inferência abdutiva.

Na mesma página dos trechos citados, há um box chamado *Conceito em questão*, com o título *Um conceito radical: o fóton*. Nele encontramos o seguinte:

“A maioria dos cientistas, inclusive o próprio Planck, não aceitou de imediato que a luz pudesse ser tratada, ao mesmo tempo, como onda (teoria já amplamente aceita na época) e como partícula sem massa (caso dos fótons). O próprio Einstein chegou a tratar essa ideia como mero subsídio especulativo e momentâneo, já que a proposta era bastante revolucionária. Contudo, novas evidências da quantização da luz e da energia surgiram logo depois, de modo que a teoria fosse cada vez mais aceita. Ao final, a própria explicação para o efeito fotoelétrico proposta por Einstein reforçou a solução de Planck para o problema do corpo negro”.¹⁶ (Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira et al., 2016, p. 214).

O trecho aponta para a questão do status epistemológico do fóton, que inicialmente era um subsídio especulativo¹⁷, mas que foi sendo aceito devido a “novas evidências” e pelo fato de reforçar a solução de Planck para o problema do corpo negro. No entanto, não é mencionado quais seriam essas novas evidências. Parece que se sentiu falta de dar mais subsídio para a crença na realidade do fóton além da inferência abdutiva antes apresentada, mas apenas mencionar “evidências” deixou esse subsídio bastante limitado.

Após isso, no livro, o fóton é sempre tratado como algo real e bem definido, como na explicação dos Raios X (subseção 3.8.4.1) ou tratando do decaimento gama (subseção 3.8.4.2), entre outros locais.

SÍNTESE DOS RESULTADOS SOBRE O FÓTON

Em nenhuma das três coleções é encontrada uma caracterização epistemologicamente clara sobre a realidade do fóton. Muitas vezes ele é mencionado, e alguma de suas propriedades é indicada, sem maiores

¹⁵ Novamente, ver nota 6.

¹⁶ Sobre a questão da explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico reforçar a solução de Planck para o problema do corpo negro, ver nota 8.

¹⁷ Einstein inicialmente chamou o quantum de energia de ponto de vista heurístico (Kidd, Ardini, & Anton, 1989; Mehra & Rechenberg, 1982).

esclarecimentos (conforme os Quadros 2 a 4, Categoria 2), inclusive quando é utilizado como suporte para outras explicações antes mesmo de ele ter sido apresentado – como nas explicações sobre estado excitado de um átomo na coleção *Física* (Bonjorno *et al.*, 2016c) ou sobre a propulsão em veleiros solares e sobre o átomo de Bohr na *Ser Protagonista* (Fukui *et al.*, 2016; Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016).

É possível identificar que os livros adotam uma posição realista. E a realidade do fóton é justificada, de modo geral, por meio de inferências abduativas (Chibeni, 1996), mas de forma implícita. Ele é considerado real nos livros, pois sua existência permitiria a explicação do efeito fotoelétrico: segundo os livros, o efeito fotoelétrico não podia ser explicado adequadamente com a física clássica; no entanto, na hipótese de a luz ser “constituída” por fótons, ele poderia ser explicado; assim, o fóton passa a ser considerado real. Apesar de haver nessa justificativa uma abdução, ela não apareceu de forma declarada em nenhum dos livros, necessitando de certa decodificação da frase para ser constatada (com exceção do último trecho apresentado da coleção *Física*, que é mais evidente nesse ponto). Além disso, não fica claro nos materiais porque a realidade do fóton, como uma partícula, efetivamente permitiria explicar resultados experimentais como os obtidos com o efeito fotoelétrico.

Também aparecem nas coleções *Física* (Bonjorno *et al.*, 2016c) e *Física aula por aula* (Barreto Filho & Silva, 2016b) menções à “verificação experimental” do fóton, feita por Millikan, e na coleção *Ser Protagonista* (Válio, Fukui, Ferdinian, Oliveira *et al.*, 2016, p. 214) alusões a “novas evidências da quantização da luz e da energia”. No entanto, não é elucidado qual foi o experimento realizado por Millikan e nem quais seriam as novas evidências que surgiram. Ou seja, parece que com essas alegações está sendo buscado dar maior embasamento à existência do fóton, mas de uma forma que não contribuiu de fato para o entendimento de porque ele pode ser considerado real, já que não são explicadas. Além do fato, já mencionado na nota 11, de que os experimentos de Millikan validaram a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, não verificaram o caráter corpuscular da luz.

Na coleção *Física* também é feita referência ao efeito Compton, dizendo que Arthur Compton “*comprovou experimentalmente a natureza quântica dos raios X*” (Bonjorno *et al.*, 2016c, p. 236), ou seja, sua natureza corpuscular. No entanto, o que é apresentado é algo menos direto do que é dado a entender com essa frase, já que para a explicação do resultado do experimento também é necessária uma inferência abduativa, do mesmo modo que nas explicações do efeito fotoelétrico.

No geral, identificamos que a maioria das menções ao fóton não se preocupa em esclarecer a razão de ele ser considerado real. É afirmado que ele teve origem em hipóteses, mas sem explicação adequada do porquê elas foram necessárias, ou que ele é fundamentado em verificação experimental, também sem explicar qual experimento e os eventuais resultados obtidos. A exceção, como foi dito, está no emprego de inferências abduativas, utilizadas na explicação do efeito fotoelétrico, mas que também não são apresentadas de forma clara. Assim, há nos livros praticamente um desaparecimento das construções teóricas que dão/deram suporte para a caracterização da realidade do fóton, bem como algumas deturpações e anacronismos históricos (Forato, Pietrocola, & Martins, 2011), como uma reconstrução linear de episódios que levaram a ele.

Fazendo uma comparação entre as coleções de ensino médio aqui analisados com a coleção do Halliday, cuja análise realizamos em trabalho anterior (Marineli & Pietrocola, 2018), identificamos semelhanças na maneira com que o fóton é designado como necessário para explicar o efeito fotoelétrico, utilizando inferências abduativas; outra semelhança é que não há explicitação dessas inferências, apenas uso. A diferença está na complexidade das descrições e definições, que no Halliday é maior, além de nele se buscar deixar claro como a existência do fóton permite explicar os resultados experimentais, algo que não acontece nas obras didáticas para o ensino médio.

Sobre a necessidade do fóton para explicar resultados experimentais relacionados ao efeito fotoelétrico, cabe mencionar as considerações de Kragh (1992) quanto à introdução de postulados quânticos em livros didáticos. Esses, no geral, costumam fazer referência a resultados experimentais que seriam inexplicáveis sem a hipótese da quantização, como é o caso do efeito fotoelétrico, que aparece nos livros como sendo elucidado somente após Einstein ter aplicado à luz a hipótese de Planck sobre a quantização da energia, o que o levou ao fóton. Segundo os livros, como a teoria de Einstein estava de acordo com os resultados experimentais, e a teoria clássica não, ela foi rapidamente adotada pelos físicos. Em linhas gerais, isso é o que identificamos no Halliday e nos livros de ensino médio aqui analisados. Ainda segundo Kragh, essa é uma versão grosseiramente simplificada e com vários erros, mas que “*é utilizada como forma de persuadir os estudantes de que a quantização da energia é uma conclusão inevitável*” (1992, p. 351, tradução nossa). Seria um exemplo de quase-história (Whitaker, 1979).

Ainda comparando os livros de ensino médio com o Halliday, tratando agora de uma diferença identificada, no Halliday aparece uma preocupação em discutir ou até mesmo compatibilizar a mudança ontológica da luz, que vinha sendo descrita no livro como uma onda, mas que a partir de certo momento passou a ser caracterizada como sendo emitida e absorvida por meio de fótons. Assim, nele, essa compatibilização se deu com a luz sendo considerada uma entidade com comportamento corpuscular, mas que se propaga na forma de ondas de probabilidades. Nos livros de ensino médio analisados não aconteceu uma tentativa de compatibilização, apenas sendo mencionado na obra *Física* que há uma aparente contradição em relação a uma partícula possuir frequência, mas que isso foi “assimilado” com o desenvolvimento da Mecânica Quântica.

Por fim, consideramos importante mencionar que os livros aqui analisados possuem uma característica que é comum a outros livros didáticos de ciências, apontada há mais de duas décadas por McComas, Clough and Almazroa (1998), que é não apresentar adequadamente elementos do processo de construção do conhecimento científico e da natureza desses conhecimentos. Esse é um atributo, já indicado por Thomas Kuhn (2005), dos livros que formam cientistas, mas que aparece também nos de nível médio aqui estudados. No entanto, em certo sentido, julgamos que isso vai de encontro àquilo que é assinalado como necessário no edital do PNLD 2018 (MEC, 2015), por deixar de lado questões epistemológicas que são fundamentais para o entendimento da ciência. Conforme apontado por Ogborn and Martins (1996), certo nível de compreensão sobre o processo de construção do conhecimento científico, em especial acerca de entidades inobserváveis, como o fóton, bem como sobre as razões para serem tomadas como reais, é um aspecto essencial para o entendimento da própria física.

Desse modo, considerando a função referencial dos livros – como detentores de conhecimentos que um grupo social acredita que seja necessário ser transmitido às novas gerações (Choppin, 2004) –, parece haver uma dissociação, pelo menos em relação à questão analisada, entre, por um lado, aquilo que é considerado importante nos trabalhos na área de ensino de física e nos documentos oficiais e, por outro, aquilo que efetivamente aparece nos livros, evidenciando uma divergência sobre aspectos do que se considera que deva ser ensinado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho traz uma análise de livros didáticos de física do ensino médio, especificamente sobre os subsídios dados por eles para uma compreensão acerca da realidade do fóton. Foi levado em consideração que é função do ensino de física fornecer instrumentos para um entendimento de entidades inobserváveis da ciência e das maneiras pelas é atribuída realidade a elas (Matthews, 1994; Ogborn & Martins, 1996).

Foram investigadas três coleções didáticas de física do PNLD 2018, as três mais distribuídas pelo programa. Identificamos trechos dos livros com menções à entidade pesquisada, que foram categorizados, descritos e analisados, buscando compreender os modos pelos quais ela é caracterizada e tomada como real nas coleções.

No geral, nossa análise indica que nos livros não aparecem explicações epistemologicamente elucidativas dos motivos pelos quais o fóton é considerado real. Nas três coleções, sua realidade é estabelecida por meio da utilização de inferências abduativas, ou seja, o poder explicativo que se obtém ao considerar sua realidade forneceria as bases para acreditarmos nela. Contudo, cabe salientar que a explicitação desse tipo de inferência não foi feita nos livros analisados, mas apenas utilizada para explicar o efeito fotoelétrico (e o efeito Compton em uma das coleções). E de uma maneira que não fica realmente claro como a existência do fóton permitiria elucidar os fenômenos. Há ainda menções à comprovação ou verificação experimental do caráter corpuscular da luz ou à existência de outras evidências da sua quantização, novamente sem maiores esclarecimentos.

Dessa forma, é possível afirmar que não há nas coleções analisadas uma efetiva elucidação, ou oferecimento de subsídios claros, acerca dos critérios usados para atribuição de realidade ao fóton. A ausência de um tratamento mais explícito sobre esses critérios é um indicativo de que essa não parece ser uma preocupação nos livros. Assim, mesmo com as regras do PNLD apontando para a necessidade de abrir espaços para discussões em que estejam presentes elementos epistemológicos, a discussão específica acerca da realidade do fóton não é efetivamente tratada nos materiais investigados.

Fazendo uma comparação entre as coleções de ensino médio com a coleção do Halliday (Halliday *et al.*, 2009a, 2009b, 2009c, 2009d), que analisamos em trabalho anterior (Marineli & Pietrocola, 2018), é

possível identificar similaridade na justificativa da realidade do fóton – utilizando inferências abduativas –, com a diferença que nas coleções didáticas para o ensino médio praticamente desaparecem as construções teóricas que dão/deram base para sua determinação.

Cabe aqui explicitar um questionamento, já apresentado por Lima *et al.* (2018): faz sentido termos livros do ensino médio que seguem as mesmas orientações de livros do ensino superior? Os materiais não possuem os mesmos objetivos formativos e, portanto, não parece cabível apresentarem o mesmo tipo de tratamento didático, que omite controvérsias e elaborações teóricas e apresenta uma reconstrução linear de episódios históricos. Ainda mais considerando o que consta no próprio edital do PNLD 2018, que a “*área curricular [das ciências da natureza], no contexto escolar, tem por finalidade educacional formar os jovens para o pleno exercício da cidadania a partir de sua alfabetização científico-tecnológica*” (MEC, 2015, p. 51). O que não vai ser atingido com a adoção das mesmas perspectivas de livros que buscam formar cientistas.

Por fim, convém pontuar que mesmo que os livros didáticos não sejam utilizados como “manuais”, com os professores seguindo passo a passo todas as suas partes, seria interessante que questões epistemológicas como a aqui analisada fossem tratadas neles de maneira mais elucidativa, buscando servir como suporte para discussões dessa natureza que podem ocorrer nas salas de aula.

REFERÊNCIAS

- Artuso, A. R., Martino, L. H., Costa, H. V., & Lima, L. (2019). Livro didático de física – quais características os estudantes mais valorizam? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(4), e20180292. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0292>
- Barra, E. S. O. (1998). A realidade do mundo da ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. *Revista Ciência e Educação*, 5(1), 15-26. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73131998000100003>
- Barreto Filho, B., & Silva, C. X. (2016a). *Física aula por aula: mecânica, 1º ano* (3a ed.). São Paulo, SP: FTD, 3v.
- Barreto Filho, B., & Silva, C. X. (2016b). *Física aula por aula: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano* (3a ed.). São Paulo, SP: FTD, 3v.
- Barreto Filho, B., & Silva, C. X. (2016c). *Física aula por aula: eletromagnetismo, física moderna, 3º ano* (3a ed.). São Paulo, SP: FTD, 3v.
- Berger, P., & Luckmann, T. (2005). *A construção social da realidade: tratado de sociologia do conhecimento* (25a ed.). Petrópolis, RJ: Vozes.
- Bonjorno, A. A., Ramos, C. M., Prado, E. P., Bonjorno, V., Bonjorno, M. A., Casemiro, R., & Bonjorno, R. F. S. A. (2016a). *Física: mecânica, 1º ano* (3a ed.). São Paulo, SP: FTD, 3v.
- Bonjorno, A. A., Ramos, C. M., Prado, E. P., Bonjorno, V., Bonjorno, M. A., Casemiro, R., & Bonjorno, R. F. S. A. (2016b). *Física: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano* (3a ed.). São Paulo, SP: FTD, 3v.
- Bonjorno, A. A., Ramos, C. M., Prado, E. P., Bonjorno, V., Bonjorno, M. A., Casemiro, R., & Bonjorno, R. F. S. A. (2016c). *Física: eletromagnetismo, física moderna, 3º ano* (3a ed.). São Paulo, SP: FTD, 3v.
- Cachapuz, A., Gil-Pérez, D., Carvalho, A. M. P., Praia, J. & Vilches, A. (2005). Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: um requisito essencial para a renovação da educação científica. In A. Cachapuz, D. Gil-Pérez, A. M. P. Carvalho, J. Praia, & A. Vilches (Orgs.). *A necessária renovação do ensino das ciências* (pp. 37-70). São Paulo, SP: Cortez.
- CBL – Câmara Brasileiro do Livro; SNEL – Sindicato Nacional dos Produtores de Livros. (2020). *Produção e vendas do setor editorial brasileiro – ano base 2019*. 2020. Recuperado de https://snel.org.br/wp/wp-content/uploads/2020/06/Produ%C3%A7%C3%A3o_e_Vendas_2019_imprensa_.pdf
- Chibeni, S. S. (1996). A inferência abduativa e o realismo científico. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 6(1), 45-73. Recuperado de <http://www.unicamp.br/~chibeni/public/abdrea.pdf>

- Choppin, A. (2004). História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, 30(3), 549-566. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022004000300012>
- Cleminson, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 429-445. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270504>
- Cobern, W. W., & Loving, C. C. (2008). An essay for educators: epistemological realism really is common sense. *Science & Education*, 17(4), 425-447. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9095-5>
- Dion, S. M., & Loures, M. V. R. (2013). Debate realismo/antirrealismo em situações de ensino de física, à luz da interface entre história e filosofia da ciência. In C. C. Silva, & M. E. B. Prestes (Orgs.). *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp. 197-209). São Carlos, SP: Tipografia Editora Expressa.
- Dutra, L. H. A. (1998). *Introdução à teoria da ciência*. Florianópolis, SC: Editora da UFSC.
- FNDE, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. (2018). *Programas do livro, dados estatísticos, PNLD 2018*. Recuperado de <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/programas-do-livro/pnld/dados-estatisticos>
- Forato, T. C. M., Pietrocola, M., & Martins, R. A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27-59. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>
- Fukui, A., Molina, M. M., & Venê. (2016). *Ser Protagonista: física, 1º ano: ensino médio* (3a ed.). São Paulo, SP: SM, 3v.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000). Science and education: notions of reality, theory and model. In J. Gilbert & C. Boulter (Eds.). *Developing models in science education* (pp. 19-40). Amsterdam, Netherlands: Springer Netherlands.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2009a). *Fundamentos de física, vol. 1: mecânica* (8a ed.). Rio de Janeiro, RJ: LTC, 4v.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2009b). *Fundamentos de física, vol. 2: gravitação, ondas e termodinâmica* (8a ed.). Rio de Janeiro, RJ: LTC, 4v.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2009c). *Fundamentos de física, vol. 3: eletromagnetismo* (8a ed.). Rio de Janeiro, RJ: LTC, 4v.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2009d). *Fundamentos de física, vol. 4: óptica e física moderna* (8a ed.). Rio de Janeiro, RJ: LTC, 4v.
- Kopp, F. A., & Almeida, V. (2019). Analogias e metáforas no ensino de Física Moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36(1), 69-98. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p69>
- Kragh, H. (1992). A sense of history: history of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science & Education*, 1(4), 349-363. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00430962>
- Kragh, H. (2014). The names of physics: plasma, fission, photon. *The European Physical Journal H*, 39, 263-281. <https://doi.org/10.1140/epjh/e2014-50007-7>
- Kidd, R., Ardini, J., & Anton, A. (1989). Evolution of the modern photon. *American Journal of Physics*, 57(1), 27-35. Recuperado de <http://people.reed.edu/~wieting/mathematics547/PhotonHistory.pdf>
- Kuhn, T. (2005). *A Estrutura das revoluções científicas* (9a ed.). São Paulo, SP: Perspectiva.
- Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. (1996, 23 de dezembro). *Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional*. Diário Oficial de União. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm

- Lima, N. W., Souza, B. B., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. H. (2018). Um estudo metalinguístico sobre as interpretações do fóton nos livros didáticos de física aprovados no PNLDEM 2015: elementos para uma sociologia simétrica da educação em ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(1), 331-364. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018181331>
- Marineli, F., & Pietrocola, M. (2018). Uma análise sobre a realidade das entidades científicas em um livro de física do ensino superior. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(3), 232-257. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n3p232>
- Martins, A. A., & Garcia, N. M. D. (2019). Artefato da cultura escolar e mercadoria: a escolha do livro didático de física em análise. *Educar em Revista (Curitiba)*, 35(74), 173-192. <https://doi.org/10.1590/0104-4060.59291>
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The role of history and philosophy of science*. New York, United States of America: Routledge.
- Matthews, M. R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 12(3), 164-214. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In E. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 3-39). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- MEC – Ministério da Educação (2006). *Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Secretaria de Educação Básica. Brasília, DF: MEC/SEB. Recuperado de http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf
- MEC – Ministério da Educação (2015). *Edital de convocação 04/2015 – CGPLI: Edital de Convocação para o processo de inscrição e avaliação de obras didáticas para o programa nacional do livro didático PNLD 2018*. Secretaria de Educação Básica. Brasília, DF: MEC/SEB. Recuperado de <https://www.fnde.gov.br/index.php/centrais-de-conteudos/publicacoes/category/165-editais?download=10516:edital-consolidado-3a-alteracao-pnld-2018>
- Mehra, J., & Rechenberg, H. (1982). *The historical development of quantum theory*. New York, United States of America: Spinger-Verlag, v.1.
- Moraes, R. (1999). Análise de conteúdo. *Revista Educação (Porto Alegre)*, 22(37), 7-32. Recuperado de http://cliente.argo.com.br/~mgos/analise_de_conteudo_moraes.html
- Moreira, M. A. (2000). Ensino de física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(1), 94-99. Recuperado de <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22a13.pdf>
- Noronha, A. B. (2014). *Interpretando a relatividade especial: discutindo o debate realismo e antirrealismo científicos no ensino de ciências*. (Dissertação de mestrado). Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Ogborn, J., & Martins, I. (1996). Metaphorical understanding and scientific ideas. *International Journal of Science Education*, 18(6), 631-652. <https://doi.org/10.1080/0950069960180601>
- Pereira, F. P. C., & Gurgel, I. (2020). O ensino da Natureza da Ciência como forma de resistência aos movimentos anti-ciência: o realismo estrutural como contraponto ao relativismo epistêmico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(3), 1278-1319. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1278>
- Pereira, W. H. S., & Londero, L. (2019). A Física produzida no Brasil nas coleções didáticas do Programa Nacional do Livro Didático (2018-2020). *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 21, e12583. <https://doi.org/10.1590/1983-21172019210121>
- 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. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/604>
- Rosa, C. T. W., Biazus, M. O., & Darroz, L. M. (2020). Estudo envolvendo a função das imagens associadas a tópicos de física moderna nos livros didáticos do ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(1), 27-50. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n1p27>

- Rosa, M. D., & Megid Neto, J. (2016). Livro didático de ciências, Programa Nacional do Livro Didático e indústria cultural: alguns elementos para reflexão. *Revista da SBEnBIO*, 9, 1346-1357. Recuperado de https://sbenbio.org.br/publicacoes/anais/VI_Enebio/VI_Enebio_completo.pdf
- Rosa, P. S. (2004). *Louis de Broglie e as ondas de matéria*. (Dissertação de mestrado). Programa de pós-graduação em Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Recuperado de <http://www.ghc.usp.br/server/Teses/Pedro-Sergio-Rosa.pdf>
- Santos, C. A. (2018). Millikan e a questão do potencial de contato no experimento do efeito fotoelétrico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3), e3602. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0321>
- Schutz, A. (1962). On multiple realities. In A. Schutz. *Collected papers I. The problem of social reality* (pp. 207-259). The Hague, Netherlands: Martinus Nijhoff.
- Silva, M. R. (1998). Realismo e anti-realismo na ciência: aspectos introdutórios de uma discussão sobre a natureza das teorias. *Ciência & Educação (Bauru)*, 5(1), 7-13. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73131998000100002>
- Silva, M. R. (2013). Ensino de ciências: realismo, antirrealismo e a construção do conceito de oxigênio. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, 20(2), 481-497. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702013005000006>
- Tiercelin, C. (1999). Verbetes “Realisme”. In D. Lecourt. (Org.). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris, France: Puf.
- Válio, A. B. M., Fukui, A., Ferdinian, B., Molina, M. M., & Venê. (2016). *Ser protagonista: física, 2º ano: ensino médio* (3a ed.). São Paulo, SP: SM, 3v.
- Válio, A. B. M., Fukui, A., Ferdinian, B., Oliveira, G. A., Molina, M. M., & Venê. (2016). *Ser protagonista: física, 3º ano: ensino médio* (3a ed.) São Paulo, SP: SM, 3v.
- Whitaker, M. A. B. (1979). History and quasi-history in physics education: part I. *Physics Education*, 14(2), 108-112. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/14/2/009/pdf>
- Zambon, L. B., & Terrazan, E. A. (2017). Livros didáticos de física e sua (sub)utilização no ensino médio. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 19, e2668. <https://doi.org/10.1590/1983-21172017190114>
- Zwiebel, C. (2012). The Undergraduate introductory physics textbook and the future. *2012 AHS Capstone Projects*. Paper 22. Recuperado de http://digitalcommons.olin.edu/ahs_capstone_2012/22

Recebido em: 04.03.2021

Aceito em: 05.08.2021