

## **Visões deformadas sobre a natureza da ciência no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física**

**Ricardo Capiberibe Nunes e Wellington Pereira de Queirós**

Programa de pós-graduação em Ensino de ciências do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Brasil. E-mails: [capiberibe@gmail.com](mailto:capiberibe@gmail.com), [wellington\\_fis@yahoo.com.br](mailto:wellington_fis@yahoo.com.br).

**Resumo:** O livro didático é um dos mais importantes recursos didáticos utilizados pelos professores. É uma fonte que auxilia o docente no planejamento e execução das aulas. Apesar de sua importância para a educação básica, alguns pesquisadores evidenciaram a presença de erros conceituais crassos, imagens caricatas e distorcidas sobre a natureza da ciência, que acabam por dificultar a alfabetização científica dos alunos. Neste trabalho, analisamos o conteúdo de Teoria da Relatividade Especial em doze livros didáticos de física aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018 do Ministério da Educação a fim de verificar a presença de imagens deformadas do trabalho científico. A análise revelou três deformações: visão aproblemática e ahistórica; visão individualista e elitista da ciência; uma imagem descontextualizada, socialmente neutra. Tais deformações operam como barreiras epistemológicas e revelam que a qualidade dos livros didáticos ainda está longe de ser satisfatória.

**Palavras chave:** livros didáticos de física, teoria da relatividade especial, imagens deformadas da ciência.

**Title:** Deformed visions on the nature of science in the special relativity content in physics textbooks.

**Abstract:** The textbook is one of the most important pedagogical tools for teachers and students. It is a source that assists the teacher in the planning and execution of the classes and serves as the main bibliographical reference for the students. Despite their importance for basic education, some researchers have evidenced the presence of gross conceptual errors, caricature and distorted images about the nature of science, which end up hampering students' scientific literacy. In this work, we analyze the content of Theory of Special Relativity in ten textbooks of physics approved by the National Plan of the Didactic Book (PNLD) of 2018 of the Ministry of Education in order to verify the presence of deformed images of the scientific work. The analysis revealed three deformations: unproblematic and ahistorical vision; individualistic and elitist vision of science; a decontextualized, socially neutral image. Such deformations operate as epistemological barriers and reveal that the quality of textbooks is still far from satisfactory.

**Keywords:** textbooks, special theory of relativity, deformed images of the science.

## **Introdução**

Durante o exercício da prática pedagógica, o professor faz uso de vários recursos, como mídias audiovisuais, computadores, jogos, experimentações e demonstrações, entre outros. Apesar de todas as ferramentas que surgiram para maximizar o processo de ensino, o livro didático ainda é o recurso mais próximo do professor (Pagliarini, 2007; Rosa, 2010; Silva e Pagliarini, 2008). Segundo Thomas Kuhn, o livro didático é a ferramenta mais importante no processo de iniciação de novos pesquisadores (Kuhn, 2017). O médico e epistemólogo alemão Ludwick Fleck também prioriza o livro didático como ferramenta para introduzir o aluno ao coletivo de pensamento da comunidade científica (Fleck, 1986). Houve até quem dissesse que os livros didáticos impressos estavam com seus dias contados:

“As editoras didáticas estão no fim. Com o advento do livro digital, não há mais condições delas existirem. Os novos aplicativos como o iBook Autor da Apple é uma ferramenta que dá aos autores condições deles produzirem seu próprio livro digital com qualidade superior aos das editoras (...). Na minha opinião, as grandes editoras didáticas irão desaparecer e serão substituídas pelos autores empreendedores e por uma nova geração de garotos que nascerão, literalmente, nas garagens” (Saraiva, 2013).

A despeito de seus opositores, o livro didático impresso mantém seu prestígio. Segundo dados oficiais do PNLD, em 2019, foram investidos 1.102.025.652,17 (bilhões) de reais na aquisição de 126.099.033 livros didáticos que beneficiaram 147.857 escolas e 35.177.899 alunos. Silva e Pagliarini (2008, p. 03) enfatizam que o livro didático “ainda funciona como uma fonte segura de conhecimento, tanto para professores e alunos, sendo para ambos a referência principal fora da sala de aula”. Essa percepção também é compartilhada por outros pesquisadores como Basso e Terrazzan (2015), Megid Neto (2008, 2011), Mendes (2017), Garcia (2013, 2015, 2016) e Terrazzan (2012, 2015).

Tendo em vista o compromisso com a educação de qualidade e o retorno do investimento feito com dinheiro público, o Ministério da Educação (MEC) instituiu o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), que visa avaliar e aprovar o material produzido pelas editoras, para disponibilizar para apreciação dos professores. Entretanto, ficam as seguintes questões: Será que os livros didáticos aprovados pelo MEC são de qualidade? Possuem erros conceituais? Disseminam uma visão ingênua e empirista-indutivista de ciência?

O trabalho de Langhi e Nardi (2007) apresentou uma reflexão de erros conceituais em astronomia presentes em livros didáticos de ciência a partir de uma ampla revisão de literatura. Silva e Pagliarini (2008) apontaram a existência de diversos mitos históricos, uma imagem caricata da história da ciência e concepções distorcidas sobre a natureza da ciência. Trabalhos mais recentes, apontam que há uma progressão na qualidade dos livros didáticos (Britto, 2011; El-Hani, Roque e Rocha, 2011; Rosa, 2017), porém qualquer material, por melhor que seja, está sujeito a erros e distorções. Por essa razão neste trabalho propomos analisar as possíveis imagens deformadas do trabalho científico no conteúdo da Teoria da Relatividade Especial nos doze livros didáticos brasileiros aprovados pelo PNLD-2018.

Trata-se de um assunto que foi inserido há pouco tempo no currículo de Física e que ainda é cercado de mitos e equívocos históricos e conceituais (Martins, 2015).

### *Importância da natureza da ciência na educação científica*

O que é ciência? Essa é uma questão que até hoje não apresenta uma resposta única e consensual, sendo que até se discute se podemos ou não chamar os sábios da antiguidade de "cientistas". A própria palavra ciência, no sentido empregado hoje, foi cunhada no século XIX para designar o campo de conhecimento composto pelas filosofias natural, matemática e empírica (Henry, 1998). Por isso, segundo Cunningham (2000), é anacrônico empregar esta terminologia para se referir aos estudiosos da natureza de séculos anteriores como Newton e Galileu, o termo mais adequado seria "filósofos naturais". Por outro lado, o historiador da ciência Edward Grant (2009), defende que existia uma prática científica legítima entre os filósofos naturais e por isso chamá-los de cientista não é anacrônico. A questão se torna ainda mais controversa entre os estudiosos quando se tenta estabelecer uma delimitação do que é ciência (Chalmers, 2017).

Compreender as diversas visões do que é ciência, é mais do que uma questão de importância epistemológica, é uma das três componentes culturais da alfabetização científica na visão de Bauer (1994). Assim, a importância do ensino da Natureza da ciência (NdC) no ensino de ciências já vem sendo discutido na literatura e sendo empregada por alguns educadores apresentando resultados positivos (Abd El-Khalick e Lederman, 2000; Bell, Abd-El-Khalick, Lederman, McComas e Matthews, 2001; El-Hani, 2006; Forato, Pietrocola e Martins, 2008; Gil, Fernández, Carrascosa, Cachapuz e Praia, 2001; Holton, 2003; Lederman, 2007; Matthews, 1994; McComas, Almazroa e Clough, 1998; Medeiros e Bezerra Filho, 2000).

O próprio Ministério da Educação (MEC) no Brasil reconheceu a importância da NdC quando publicou os parâmetros curriculares nacionais (PCN) e o texto complementar (PCN+) enfatizando que a ciência deve ser vista não como um conhecimento autônomo e isolado (Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, 2002a, 2002b). O ensino deve evitar uma perspectiva radicalmente internalista (Beltran; Saito; Trindade, 2014), discutir a ciência como uma construção coletiva e interagir com outras áreas do saber (perspectiva externalista) (*Ibid*). Portanto, o ensino de ciências deve estimular a interdisciplinaridade e multidisciplinaridade (Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, 2002a, 2002b). Goldfarb (1994) também defende que a compreensão da NdC pode oferecer discussões que contribuam para a desmistificação do conhecimento científico e para facilitar a sua construção. Outras vantagens que a NdC pode promover para o ensino a formação de professores são:

"[1] A compreensão da ciência como uma atividade humana, historicamente construída, imersa no contexto cultural de cada época e de cada povo, e não como uma construção puramente racional, desenvolvida por um suposto "método científico" único e universal a

partir apenas de observações, experimentos, deduções e induções logicamente fundados. [2]. Entender a ciência se desenvolvendo em um contexto cultural de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas revela uma ciência parcial e falível, contestável, influenciada também por fatores extra científicos. [3] Conhecer sobre as ciências e não apenas os conteúdos científicos, mas também alguns de seus pressupostos e limites de validade, permite criticar o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências, além de promover o pensamento reflexivo e crítico. [4] Possibilitar certo conhecimento metodológico como um antídoto à interpretação empírico-indutivista da ciência permite refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica". (Forato, Pietrecolla e Martins, 2011, p. 32-33)

No que concerne ao uso da NdC na educação em ciências, há pelo menos dois tipos de abordagens: implícitas e explícitas. (Abd-El-Khalick e Lederman, 2000; Lederman, 1992). Segundo Queirós (2012, p.46) "as implícitas são quando se tenta abordar a natureza do conhecimento científico, sem fazer uma abordagem de forma direta dos aspectos epistemológicos da produção do conhecimento científico". Já uma abordagem, é dita explícita quando há o uso direto da História da ciência ou da epistemologia na abordagem de temas científicos. (Abd-El-Khalick e Lederman, 2000) sendo que as explícitas são as que têm apresentado os melhores resultados para o processo de aprendizagem sobre a construção do conhecimento científico (Ibid, 2010).

As diferentes visões sobre a ciência foram estudadas por Bagdonas e Silva (2013) que propuseram uma classificação baseada em dois extremos: a tendência positivista e a tendência construtivista. Os autores esclarecem que esta classificação enseja ser didática e por isso pode parecer ser "de forma bastante resumida, correndo o risco de parecerem caricaturas exageradas" (Ibid, 2013, p. 217). Veja a Tabela 1.

Ainda sobre esta dicotomia positivismo e construtivismo, é importante esclarecer que:

"(...) Os termos "positivista" e "construtivista" estão entre aspas, pois tratam de uma simplificação com fins didáticos. Tanto autores mais próximos da tendência "positivista" (como Francis Bacon, Auguste Comte ou Karl Popper) quanto os mais próximos da tendência "construtivista" (como Thomas Kuhn, Paul Feyerabend ou Bruno Latour) não adotariam, em geral, esse tipo de postura" (Ibid, 2013, p. 217)

Uma outra possibilidade de classificação das diferentes visões sobre a natureza da ciência consiste em separá-la pelos aspectos "consensuais" entre os vários filósofos da ciência ou por agrupa-los por sua semelhança familiar (family resemblance) (Moura, 2014). Entre os defensores da tendências de aspectos consensuais da ciência podemos citar El-Hani (2006), Gil Perez et al (2001), McComas (1996), McComas et al (1998) e Pumfrey (1991). Estes pesquisadores acreditam que os professores devem enfatizar o ensino nos pontos de convergência das diferentes epistemologias da ciência. Os aspectos consensuais podem ser resumidos em cinco tópicos abrangentes:

“[1] A ciência é mutável, dinâmica e tem como objetivo buscar explicar os fenômenos naturais (...) [2] Não existe um método científico universal (...) [3] A teoria não é consequência da observação/experimento e vice-versa. [4] A ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político etc., no qual ela é construída (...) [5] Os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros para fazer ciência” (Moura, 2014, p. 34-35).

<b>Questão</b>	<b>Tendência “positivista”</b>	<b>Tendência “construtivista”</b>
Realidade	Modelos representam a realidade	Modelos são criações humanas
Verdade	A ciência é constituída de verdades atemporais	Não existe verdade, tudo é relativo
Razão	A ciência é neutra, objetiva e racional	Conhecimento é opinião, a ciência contém elementos irracionais
Experimento	A ciência parte de experimentos ou da observação	Toda observação é interpretada à luz de teorias prévias
Método	O método científico é universal e atemporal	Não existe um método científico
Demarcação	O método científico caracteriza o que pode ser considerado científico	É impossível dizer “o que é ciência”, essa é uma definição arbitrária de cada sociedade.
Valor	A ciência é superior e mais confiável do que outras formas de conhecimento	Todas as formas de conhecimento são equivalentes

Tabela 1.- Visões extremas sobre a natureza da ciência (Fonte: Bagdonas e Silva, 2013, p. 217).

Já os defensores da tendência de semelhança familiar, tais como Eflin, Glennan e Reisch (1999) e Irzik e Nola (2011), criticam a ideia de aspectos consensuais sobre a natureza da ciência, pois acreditam que ela seja insuficiente para capturar a ciência em sua totalidade. Os autores afirmam que dada a riqueza e complexidade da ciência, é impossível a um conjunto estático de regras ou aspectos, e que essa visão não captura as particularidades entre duas disciplinas científicas distintas como a química (tendência experimental) e a astronomia (tendência teórica) (Irzik e Nola, 2011). Como solução, estes autores propõe uma classificação baseada na semelhança familiar que é caracterizada por quatro conceitos:

“Atividades. Para os autores, observar e experimentar são tipicamente atividades da ciência. Porém, a prática de observar, embora comum em quase todas as áreas da ciência, pode ser diferente para cada uma delas. Irzik e Nola citam como exemplo o caso das observações na astronomia e na arqueologia (...). Objetivos e valores. A segunda categoria proposta por Irzik e Nola para trabalhar a natureza da ciência por meio do conceito de semelhança familiar refere-se aos propósitos e valores da ciência. Segundo eles, podemos encontrar na literatura uma grande variedade de conceitos abordando as finalidades da ciência, tais como aqueles defendidos por Kuhn e Popper (...) Metodologias e regras metodológicas. Não é possível fazer ciência sem adotar métodos e regras metodológicas, ou melhor, o conhecimento científico não é construído de forma aleatória, todavia

emprega certos parâmetros, alguns comuns a todas as áreas da ciência. Consoante Irzik e Nola, é evidente que não há uma metodologia única a ser seguida, como destacam os adeptos da visão consensual quando abordam a recusa de um método científico universal. No entanto, a ciência estaria repleta de regras, algumas alvos de controvérsias, outras aceitas e consideradas importantes, tais como: construir hipóteses/teorias/modelos que são altamente testáveis; evitar fazer revisões ad hoc de teorias; rejeitar teorias inconsistentes; aceitar uma teoria apenas se ela puder explicar todos os sucessos de suas predecessoras; entre outras. Os autores esclarecem que nem todas as áreas da ciência utilizam idênticas metodologias e regras metodológicas; há diferenças significativas (...) Produtos. A ciência, com suas atividades, busca cumprir seus objetivos a partir de suas metodologias próprias. Isto gera produtos, que podem ser hipóteses, leis, teorias, modelos, dados experimentais etc. Em suas fases finais, os produtos tornam-se conhecimento ou uma crença racional. Assim como para as categorias anteriores, Irzik e Nola salientam que nem todas as áreas da ciência têm os mesmos produtos (...)" (Moura, 2014, p. 35-36).

Estas são algumas maneiras de se classificar as perspectivas de natureza da ciência, embora não sejam as únicas. Cada tendência tenta definir o que é ciência e as críticas que elas fazem as suas concorrentes apenas enfatiza como é difícil responder de forma objetiva e consensual a pergunta: o que é ciência afinal? Assim, de acordo com Moura (2014, p.44) escolher uma das perspectivas, aspectos consensuais, ou, da semelhança familiar vai depender da perspectiva ideológica e epistemológica do pesquisador, do que simplesmente julgá-las de forma imprópria qual é a mais correta.

### **Breve histórico da Teoria da Relatividade Especial**

Os estudos sobre a origem histórica da teoria da relatividade indicam que os embriões da relatividade foram gestados em problemas envolvendo eletromagnetismo e que depois foram ampliados para a mecânica dos corpos rígidos (Darrigol, 1994, 1995, 1996, 2003, 2004, 2005; Holton, 1967-1968, 1969; Martins, 2015; Miller, 1997; Whittaker, 1953). Como bem observou o físico teórico Logunov (2004), toda a relatividade e a geometria de espaço-tempo estava escondida na teoria eletromagnética de Maxwell. Por isso convém analisar o desenvolvimento histórico do eletromagnetismo no século XIX.

Em 1864, Maxwell, baseado nas pesquisas de Faraday e Ampère, escreveu o trabalho intitulado Teoria Dinâmica do Campo Eletromagnético. Esses trabalhos tiveram alguma relevância entre os cientistas ingleses, mas em quase toda Europa era a eletrodinâmica de Weber que predominava (Darrigol, 2000). A exclusão da eletrodinâmica de Maxwell, segundo os críticos (Darrigol, 2003), devia-se a exigência de formas mais sofisticadas de matemática, mas essas críticas apenas refletem a tendência da comunidade científica em resistirem as mudanças de paradigmas, como explica Kuhn:

“Por si mesmas não podem e não irão falsificar essa teoria filosófica, pois os defensores desta farão o mesmo que os cientistas fazem

quando confrontados com anomalias: conceberão numerosas articulações e modificações ad hoc de sua teoria, a fim de eliminar qualquer conflito aparente” (Kuhn, 2017, p. 160).

Maxwell estruturou seu trabalho considerando que os fenômenos elétricos e magnéticos eram devido a transformações do éter. Nesse sentido, surgia o conceito a existência de ondas eletromagnéticas, o éter lumífero se tornaria mais abrangente, um éter eletromagnético e as previsões de Maxwell, se provadas, evidenciaram a sua existência (Martins, 2005, 2015). Ao que tudo indica, Maxwell considerava que o princípio da relatividade deveria ser válido também no eletromagnetismo já que defendia que somente movimentos relativos eram importantes (Maxwell, 1925).

Em 1879, Maxwell propõe uma ideia para medir a velocidade da Terra em relação ao éter. Se a luz é uma onda do éter, significa que a sua velocidade medida em um referencial em repouso não depende da velocidade do movimento da fonte. A mesma coisa acontece com o som e essa é a causa do efeito Doppler-Fizeau. Porém, se o ar estiver se movimentando, então o som será arrastado pelo movimento do meio e sua velocidade irá mudar (Maxwell, 1925).

Maxwell conjecturou que o movimento da Terra em relação ao éter poderia produzir uma espécie de vento de éter e separando a luz em dois feixes, um no sentido do vento de éter e o outro no sentido contrário, quando esses raios se encontrarem haverá uma interferência, pois o vento de éter criaria uma defasagem. Medindo essa interferência seria possível medir a velocidade de translação da Terra em relação ao éter, por falta de recursos, Maxwell não pode testar essa hipótese, tal tarefa foi realizada pelo físico estadunidense Albert Abraham Michelson (1852-1931), financiado por Graham Bell (Martins, 2015).

Em 1881, Michelson realizou a sua primeira experiência interferométrica para testar o efeito previsto por Maxwell, porém o resultado obtido não estava de acordo com o resultado esperado. Michelson julgou que o problema era a sensibilidade de seu aparelho e pensou em desistir de tal empreitada, mas recuou depois dos apelos de seus colegas. Michelson, ao revisar os experimentos sobre o éter, descobriu que ninguém havia repetido a experiência de Fizeau, portanto era admissível que Fizeau pudesse ter cometido algum erro experimental (Hirose, 1976; Martins, 2015).

Em 1886, Michelson em parceria com químico Edward Williams Morley (1838-1923) desenvolveram um aparelho muito mais sensível, e resolveram refazer a experiência de Fizeau. Os resultados obtidos eram favoráveis a teoria de Fresnel, e dado a sensibilidade do aparelho, não havia, portanto, dúvidas da validade da experiência de Fizeau. Em 1887, Michelson e Morley repetiram a experiência de 1881, porém os novos dados obtidos não permitiam detectar nenhum efeito do vento de éter. Martins expõe a situação delicada em que se encontravam:

“Como se pode ver pela descrição aqui apresentada, a situação era bastante confusa, em torno de 1900. As duas mais importantes teorias do éter – a de Fresnel e a de Stokes – permitiam explicar uma parte dos resultados experimentais, mas ambas tinham problemas. A teoria de Fresnel só não explicava, sozinha, o experimento de Michelson e

Morley de 1887; porém, se admitíssemos a contração dos objetos, ela se tornaria compatível com aquele experimento. Essa foi a direção em que alguns importantes pesquisadores – como Lorentz e Poincaré – desenvolveram seus trabalhos”. (Martins, 2015, p. 85)

Em 1889, o pesquisador George Francis FitzGerald (1851-1901) e, independentemente em 1892, o pesquisador Hendrick Lorentz propuseram que se os braços do interferômetro de Michelson e Morley se contraísse na direção do movimento, seria possível explicar os resultados da experiência. Lorentz tentou justificar essa hipótese conjecturando que a contração poderia ocorrer devido ao choque das moléculas com o éter. Porém, o engenheiro de minas e matemático Jules Henri Poincaré (1854-1912), criticou a abordagem de Lorentz e FitzGerald, pois era uma hipótese ad hoc (Poincaré, 1984).

“Na época, não havia nenhum motivo físico para imaginar que o movimento dos corpos através do éter deveria mudar suas dimensões. Tanto FitzGerald quanto Lorentz estavam, provavelmente, se guiando simplesmente pela ideia de que alguma coisa poderia estar cancelando o efeito do vento do éter, e imaginaram então esse efeito de contração” (Martins, 2015, p. 80-81).

Em 1895, Lorentz vai propor uma teoria eletromagnética de primeira ordem, para explicar os resultados da experiência de Michelson e Morley. O trabalho do Lorentz, embora fosse condizente com os resultados experimentais, apresentava alguns problemas. Lorentz assumiu que as Transformações de Clássicas eram as verdadeiras transformações de coordenadas, sendo o ponto de partida de sua análise. A Transformação do Tempo, chamada pelo autor de Tempo Local, é muito diferente da Transformação Clássica do Tempo,  $t' = t$ , segundo Lorentz era apenas um truque matemático que ajudava na obtenção das transformações de primeira ordem do Campo Elétrico (E) e do Campo Magnético (B) coerentes com os resultados experimentais (Goldberg, 1967, 1969; Martins, 2015; Miller, 1986, 1997; Whittaker, 1953).

O trabalho de Lorentz era uma ampliação de um trabalho escrito por Larmor em 1893 intitulado *A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium*. Neste trabalho considerava a possibilidade de abandonar o conceito de Espaço Absoluto para os fenômenos ópticos e eletromagnéticos (Larmor, 1893).

Em 1895, Poincaré publicou um trabalho discutindo a publicação de 1893 de Larmor e enunciou o Princípio da Relatividade nas seguintes palavras (*apud* Martins, 2015, p. 104): “é impossível medir o movimento absoluto da matéria, ou melhor, o movimento relativo da matéria em relação ao éter. Só se pode evidenciar o movimento da matéria em relação à matéria”. Poincaré estava convencido que qualquer experiência que tentasse medir o movimento da Terra em relação ao Éter não teria sucesso, pois o Princípio da Relatividade era uma lei exata e não apenas válida para efeitos de primeira ordem em  $v/c$  como Lorentz havia demonstrado (Poincaré, 1984).

Em 1900, Larmor publicou um livro chamado *Aether and Matter*. Larmor inicia seu livro com uma introdução sobre as questões fundamentais da óptica, o eletromagnetismo, o movimento da matéria e o éter, tópicos que



estavam em debate por vários pesquisadores. A proposta do livro é discutir os fenômenos ópticos, eletromagnéticos e a estrutura atômica e molecular da matéria e como estas interagem com o Éter. A Sessão III do livro, Larmor se dedica a discutir o movimento relativo, começando sobre as teorias que incluem efeitos de primeira e segunda ordem em  $v/c$  e as implicações nas experiências com interferômetros. É então que o autor apresenta pela a transformação exata das coordenadas de espaço e tempo (c.f. Larmor, 1900, p. 174)

Embora Larmor tenha sido o primeiro pesquisador a apresentar as transformações do espaço-tempo, ele não conseguiu obter as transformações exatas para o Campo Elétrico e o Campo Magnético. O conjunto completo de transformações só seria obtido em 1904 por Lorentz. A nova teoria de Lorentz partia de uma única premissa: que a velocidade do sistema fosse inferior a velocidade da luz no vácuo (Lorentz, 1958). Portanto, não era mais uma teoria ad hoc (Martins, 2015). As transformações obtidas por Lorentz mostravam que era impossível medir o movimento da Terra em relação ao Éter usando fenômenos de natureza óptica ou eletromagnética. Os resultados negativos da experiência de Michelson-Morley eram devido a contração dos corpos na direção longitudinal do movimento através do éter (Lorentz, 1958).

Em 1905, Poincaré escreveu seu trabalho mais importante sobre o assunto: *Sobre a Dinâmica do Elétron*. Uma versão resumida desse trabalho foi publicada em junho de 1905 em um periódico francês, e uma versão mais longa saiu em um periódico italiano no ano de 1906. Foi nesse trabalho que Poincaré batizou o conjunto de transformadas do espaço, tempo e dos campos elétrico e magnético de Transformações de Lorentz (Martins, 2015; Poincaré, 1905, 1906).

O trabalho de Poincaré corrigia a transformada de Lorentz da densidade de carga e provava a sua covariância (validade para todos os referenciais inerciais), mostrava que as transformações de Lorentz formavam um grupo matemático gerado por quatro elementos e interpretou esse resultado como um indicativo de que o espaço possuiria uma quarta dimensão: o tempo (Poincaré, 1905, 1906)

Ainda nesse trabalho, Poincaré analisou os diversos modelos de elétron e provou que somente o modelo de Lorentz era compatível com o Princípio da Relatividade. Por fim, ele tentou estender o princípio da relatividade para a gravitação obtendo os quadrivetores de momento e fazendo a previsão de ondas gravitacionais (Poincaré, 1906), resultados muitas vezes atribuídos a outros pesquisadores como Hermann Minkowsky e Albert Einstein (Martins, 2015; Miller, 1986; Walter, 2007, 2011, 2014).

Em 1905, Albert Einstein publicou um artigo intitulado "Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento" no *Annalen der Physik*. Muitos físicos, autores de livros e jornalistas atribuem a este artigo o mérito de ter introduzido a Teoria da Relatividade Especial, um dos pilares da física moderna e contemporânea. Esta atribuição é incorreta, como veremos no decorrer desta análise, pois já existia uma teoria para eletrodinâmica dos corpos em movimento onde contribuíram diversos pesquisadores como Voigt, Larmor, Lorentz, Fitzgerald, Poincaré, entre outros (Keswani, 1965;

Logunov, 2004; Martins, 2015; Whittaker, 1953). Nesta ocasião, os seguintes resultados já eram conhecidos (Martins, 2015, p. 225):

- O princípio da relatividade;
- As transformações de Lorentz para o espaço e tempo, de onde pode ser deduzida toda a cinemática relativística;
- As transformações das grandezas eletromagnéticas;
- A maior parte da dinâmica relativística;
- A equação da variação da massa do elétron com a velocidade;
- A relação entre o fluxo de energia e a densidade de momentum;
- A relação entre a massa e energia, em alguns casos específicos (sem formulação geral).

É importante salientar que “esses resultados não foram obtidos de forma rápida e nem foram o resultado da “genialidade” de uma única pessoa. Foram construídos gradualmente por um conjunto de pesquisadores”. (Martins, 2015, p.225)

Então qual foi a contribuição do Einstein? As principais contribuições do trabalho de Einstein eram de natureza epistemológica (Cassirer, 1923; Martins, 2015). Segundo Martins (2015), as três principais contribuições do trabalho de Einstein foram: uma dedução simplificada dos fenômenos relativísticos por meio de dois postulados, a rejeição do éter e uma posição radicalmente empirista sobre a natureza da ciência.

Observe que propostas de rejeição do éter não era exatamente uma novidade. Poincaré (1984) já havia se perguntado se o éter realmente existia, enquanto Bucherer e Cohn já militavam pela rejeição do éter (Darrigol, 1996). Além disso, diferente do que se costuma dizer, nem Einstein e nem qualquer outro pesquisador provaram que não existia o Éter.

Como então, se provou que a Einstein estava certo e os eventos e os defensores do éter estavam errados? Bem, para dizer a verdade, isso nunca foi feito. Não houve nenhum experimento que tenha mostrado que o éter não existia. Não houve nenhuma previsão feita por Einstein (dentro da relatividade especial) que tenha levado a resultados em contradição com a teoria de Lorentz e Poincaré. Não pode ser feita uma experiência crucial para distinguir a teoria de Lorentz-Poincaré da relatividade de Einstein. Não se pode decidir cientificamente qual delas é correta. Pode-se dizer que, em vez de serem duas teorias diferentes, o que esses autores produziram foram duas interpretações diferentes da mesma teoria física. A principal diferença entre as duas abordagens é a aceitação ou negação do éter. Para Lorentz e Poincaré, o éter era aceito como um conceito útil, capaz de propiciar uma compreensão dos fenômenos, embora fosse impossível detectá-lo. Para Einstein, o éter era um conceito inútil, porque não pode ser detectado. Einstein, em 1905, adotou a posição de que aquilo que não pode ser detectado deveria ser excluído da física (Martins, 2015, p. 247-248).

Costuma-se dizer que a falta de evidências favoráveis ao éter e a posição filosófica do Einstein eram superiores e suficientes para validarem a sua

interpretação da relatividade. Essa é uma questão delicada. Alguns historiadores da ciência como Holton (1967-1968, 1969), Goldberg (1967, 1969, 1970), Miller (1986, 1997) e Hirose (1969) defendem que o programa de Poincaré e Lorentz era diferente do programa de Einstein, pois enquanto Einstein buscou uma teoria geral do movimento, Poincaré e Lorentz estavam preocupados em construir uma teoria do elétron compatível com a hipótese do éter. Outro grupo de historiadores como Keswani (1965, 1966), Mehra (2001) Darrigol (1995, 1996, 2003) defendem que o trabalho de Poincaré e Lorentz é, em certo sentido, uma antecipação das ideias de Einstein. Os trabalhos de Einstein sintetizaram as principais ideias da eletrodinâmica e tornaram mais claro e objetivo o caminho que a relatividade deveria ser conduzida.

Um outro grupo de historiadores representados Giannetto (1999), Brown (2017), Martins (2005, 2015) defendem que a teoria da relatividade é um mérito compartilhado entre vários cientistas, com destaque à Poincaré, Lorentz, Einstein e Minkowski. Segundo estes autores existe uma teoria da relatividade e duas abordagens (ou interpretações): uma fornecida por Lorentz e Poincaré e outra por Einstein e Minkowski. Segundo esses autores a abordagem de Einstein acabou tendo maior relevância que a abordagem de Lorentz e Poincaré devido a sua simplicidade, justificando essa posição citando autores da época como Laue (1911) e Cassirer (1923).

Não poderíamos deixar de mencionar outros pesquisadores que compararam o programa de Lorentz, Poincaré e Einstein. Zahar (1973a, 1973b) usando a epistemologia de Lakatos dos programas de pesquisa, analisou a progressão e a degeneração do programa de Lorentz e defendeu que o programa de Einstein, embora semelhante ao de Lorentz, foi mais bem sucedido devido ao seu poder heurístico e intuitivo, uma característica ausente no seu concorrente. Feyerabend (1974) criticou a análise de Zahar e defendeu que os dois programas era incomensuráveis. Peter Galison (2003), seguindo a tendência dos estudos sociais da ciência, propôs uma análise do desenvolvimento da Teoria da Relatividade a partir do contexto social. Para Galison as semelhanças entre o programa de Poincaré e Einstein não são coincidências ou fruto de um plágio, mas resultado de um contexto social semelhante que os dois pesquisadores se encontravam. Tanto Poincaré como Einstein trabalhavam com problemas de coordenação do tempo e por isso se viram em volta de perguntas semelhantes.

### **Aspectos sociais na gênese da Teoria da Relatividade Especial**

Como mencionamos ao final da seção anterior, Peter Galison lançou luz aos aspectos sociais na gênese da relatividade. Um estudo sócio histórico realizado pelo historiador Edward Palmer Thompson (2016) sobre a concepção do tempo antes e depois da revolução industrial e do advento do relógio mecânico, indica um caráter social e não inato do tempo. Thompson mostrou que a percepção do tempo dos ingleses sofreu alterações significativas depois da emergência do capitalismo industrial. O autor também apreciou o tempo em diferentes culturas, que usam diferentes formas de medida do tempo, para defender sua tese. O historiador da ciência George Whitrow (1983) também empreendeu uma estudo histórico sobre o tempo e cujos resultados convergem com os de Thompson. Whitrow vai ainda mais além, mostrando que a medida do tempo se tornou o

problema central do século XIX para que os navegantes pudessem estabelecer cálculos precisos de longitude. Ginoux e Gerini (2013) destacam que no final do século XIX a longitude desempenhava um papel central nas ciências e na política. França e Inglaterra empreenderam uma “guerra” pela longitude zero e mesmo com a vitória dos ingleses, só depois de duas décadas que a França passaria a aceitar o Meridiano de Greenwich como horário mundial. Nesse período, Henri Poincaré estava à frente do Bureau das Longitudes e entre suas atribuições estava a medida da geodésica, o cálculo da longitude e o uso do telégrafo sem fio. Tanto Galison (2003) como Ginoux e Gerini (2013) defendem que esses problemas levaram a Poincaré as meditações sobre a ontologia do espaço e do tempo que posteriormente levariam ao desenvolvimento da relatividade.

Já Albert Einstein se encontrava como funcionário do escritório de patentes em Berna, na Suíça. Nesse período, a Suíça começou a estabelecer redes de coordenação de relógios para os seus trens (a fama dos relógios suíços e sua precisão surgem nesse período) e Einstein lidava com patentes de distribuição de sinais para a sincronização de relógios (Galison, 2003). Embora a finalidade fosse diferente daquela em que se encontrava Poincaré, a essência era a mesma: desenvolver técnicas envolvendo sinais e pulsos elétricos para coordenar o tempo; estas questões sociais e políticas da Europa sobre o tempo impulsionaram o desenvolvimento da relatividade. Poincaré e Einstein, dois homens capacitados e criativos, foram provocados por estes problemas e como resposta iniciaram a gênese de uma nova física-matemática que culminou na criação da teoria da relatividade (Galison, 2003).

### **Referencial teórico-metodológico**

Gil-Perez et al (2001) procuraram caracterizar o que seria uma visão aceitável do trabalho científico a partir dos pontos de convergência entre os filósofos modernos da ciência, tais como Popper, Kuhn, Lakatos, Toulmin, Laudan, Bung e Giere. O trabalho destes pesquisadores culminou em dois resultados: as cinco características fundamentais do trabalho científico e sete imagens deformadas sobre a ciência, que devem ser evitadas, embora comuns na concepção de professores de ciências. Na presente pesquisa utilizamos essas sete imagens deformadas para analisar as possíveis visões deformadas de visão de ciência expressa no conteúdo de relatividade dos livros didáticos de Física. Na Tabela 2, apresentamos e descrevemos cada uma destas imagens.

Gil-Perez et al (2001) detectaram que alguns professores portam estas visões e acabam transmitindo aos alunos, o que criam barreiras epistemológicas que comprometem o entendimento dos alunos sobre a natureza do trabalho científico. Esta pesquisa intentou em verificar se tais imagens persistem nos livros didáticos. Para se fazer essa análise, foram escolhidos os 12 livros de Física aprovados pelo PNLD-2018 do MEC. Este material foi disponibilizado para apreciação no guia de livros didáticos (Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, 2017) para os professores das redes públicas de ensino.

CATEGORIA	IMAGEM DEFORMADA	BREVE DESCRIÇÃO
1	Concepção empírico-indutivista e ateórica.	É uma concepção que defende o papel "neutro" da observação e da experimentação, que nega ideias apriorísticas e ignora a importância das hipóteses e teorias como orientadoras da investigação científica.
2	Visão rígida, algorítmica, exata e infalível do trabalho científico.	A ciência é tratada como um produto de um suposto "método científico" universal, que é compreendido como uma sequência de etapas a serem seguidas mecanicamente, e que conduzem a verdade. Ignora-se o carácter especulativo, tentativo e criativo da produção do conhecimento científico
3	Visão aproblemática e ahistórica (dogmática e fechada).	Transmissão dos conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas e também omitindo as limitações do conhecimento científico atual e outras perspectivas.
4	Visão exclusivamente analítica.	Trata-se da fragmentação do conhecimento científico em carácter limitado e simplificador, trata esses fragmentos como autônomos e independentes. Salienta-se que o extremo oposto, uma visão holística da ciência, também seria uma distorção.
5	Visão acumulativa e linear dos conhecimentos científicos.	Essa deformação encara o desenvolvimento científico como fruto de um crescimento linear, puramente acumulativo, ignorando os complexos processos de crises e revoluções.
6	Visão individualista e elitista da ciência	Os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo.
7	Imagem descontextualizada, socialmente neutra da ciência.	Ignora as complexas relações entre ciência, tecnologia, sociedade (CTS) e proporciona uma visão dos cientistas como seres "acima do bem e do mal".

Tabela 2. – Imagens deformadas segundo Gil-Perez e colaboradores (2001). (Fonte: Autoral).

Analizamos apenas os volumes que contém o conteúdo de relatividade especial. Para cada obra associamos um código, a saber: [A] Física 3: Eletricidade, Física Moderna (Biscuola, Bôas e Doca, 2016); [B] Física: Eletromagnetismo, Física Moderna (Guimarães, Piqueira, Carron); [C] Física 3: Interação e Tecnologia (Gonçalves Filho, Toscano, 2016); [D] Física 3: Eletromagnetismo, Física Moderna (Bonjorno, Bonjorno, Bonjorno, Ramos,

Prado, Casemiro, 2016); [E] Compreendendo a Física: Eletromagnetismo e Física Moderna (Gaspar, 2017); [F] Física para o Ensino Médio 3: Eletricidade, Física Moderna (Kamamoto e Fuke, 2017); [G] Física em Contextos 3 (Pietrocola, Pogibin, Andrade, Romero, 2016); [H] Física por Aula 3: Eletromagnetismo – Física Moderna (Barreto Filho, Silva, 2016); [I] Conexões com a Física 3: Eletricidade – Física do Século XXI (Martini, Spinelli, Reis, Sant'anna, 2016); [J] Física, ciência e Tecnologia 3: Eletromagnetismo, Física Moderna (Torres, Ferraro, Soares, Pentead, 2016); [K] Física 3: contexto & aplicações (Máximo, Alvarenga, Guimarães, 2016); [L] Ser Protagonista – Física 3 (Válio et al., 2016). Os outros volumes dos livros mencionados não possuíam o conteúdo de relatividade, por isso não analisamos.

### Resultado e discussões

Cada obra traz pelo menos um capítulo dedicado a Teoria da Relatividade, à exceção da obra C, que discute relatividade especial e física quântica em um único capítulo. A análise foi feita por meio da leitura desse material. Constatamos a presença de três deformações de imagem científica (categorias 3, 6 e 7) que foram elencadas na Tabela 1. Assim dispomos simplificada a análise dos livros na Tabela 3.

CATEGORIA	1	2	3	4	5	6	7	
LIVROS	A		X			X	X	
	B		X			X	X	
	C			X			X	
	D					X	X	
	E					X	X	
	F					X	X	
	G						X	
	H						X	
	I			X			X	X
	J			X			X	X
	K						X	X
	L			X				X

Tabela 3.- Ficha de análise e a frequência das categorias de imagens deformadas encontradas nas obras didáticas analisadas. (Fonte: Autoral).

A seguir descrevemos cada uma das categorias, fazendo quando conveniente citações de trabalhos históricos-filosóficos sobre a teoria da relatividade. Além disso, expomos fragmentos textuais dos livros para sustentar a análise.

#### *Categoria 3 - Visão aproblemática e ahistórica (dogmática e fechada).*

Essa deformação está presente em seis das doze obras (A, B, C, I, J e L). As experiências realizadas no final do século XIX para detectar o movimento da Terra em relação ao éter, em especial a experiência interferométrica de Michelson e Morley de 1887, foram essenciais para fundamentar as bases teóricas da Teoria da Relatividade Especial (Martins, 2015). Os livros mencionam a existência de dificuldades, mas sem problematizar, como

podemos ver nas seguintes passagens que abrem os capítulos sobre teoria da relatividade:

“Entre o final do século XIX e o princípio do século XX, vários fatos importantes não estavam explicados. Como vimos, alguns foram esclarecidos pela Física Quântica. Entretanto, outras questões continuavam sem respostas. Estas só foram dadas por outra teoria: a Teoria da Relatividade, de Einstein” ([A]: Biscuola, Bôas, Doca, 2016, p.268).

“Em 1905, aparentemente sem ter conhecimento da maior parte dos trabalhos já realizados sobre a incompatibilidade entre o eletromagnetismo e a relatividade de Galileu-Newton, Albert Einstein apresentou uma teoria que além de resolver esse conflito, revolucionou os conceitos de espaço e tempo, como eram até então concebidos. Chamou-a de teoria da relatividade restrita, uma vez que tratava apenas de referenciais inerciais, mas é também conhecida como teoria especial da relatividade” ([J]: Torres et al., 2016, p. 187)

Em todos os livros que constatamos essa imagem deformada, em nenhuma dentro do capítulo (ou seção) reservada para discutir Teoria da Relatividade há uma discussão sobre quais eram os problemas que levaram à criação da relatividade e porque eles exigiam um abandono do paradigma newtoniano. Como mostra Kuhn (2017) qualquer modelo ou teoria apresenta anomalias, porém a tendência dos pesquisadores não é abandonar o paradigma. Somente quando há um agravamento das anomalias e a ciência normal entra em um período de ciência extraordinária ou crise é que novos paradigmas são propostos.

#### *Categoria 6 - Visão individualista e elitista da ciência.*

Essa deformação ocorre em oito das doze obras analisadas, A, B, D, E, F, I, J e K, e acontecem em três variantes, a saber:

(a) Apesar de alguns livros destacarem a construção coletiva da Teoria da Relatividade, empregam adjetivação excessiva aos pesquisadores, referindo-se a eles como “gênios” ou criadores de trabalhos “brilhantes” e “revolucionários”, não no sentido Kuhniano, pois ignoram o processo de crise e ruptura, mas no sentido de algo extraordinário, e que desprezaram o papel social e coletivo no processo de construção da teoria da relatividade restrita. Essa distorção ocorre nas obras A, D, E, F, J e K. A citação abaixo ilustra essa deformação:

“É preciso destacar que, para elaborar a Teoria da Relatividade, Einstein contou não só com a sua genialidade, mas também com trabalhos de outros físicos, como os estadunidenses Albert A. Michelson (1852-1931) e E. W. Morley (1838-1923) e o holandês H. A. Lorentz (1853-1928).” ([A]: Biscuola, Bôas e Doca, 2016, p.269, sublinhado nosso)

(b) Livros que não empregam adjetivação excessiva a respeito de Einstein, mas omitem importantes contribuições de outros pesquisadores, dando a impressão que a construção de uma teoria científica é feita por cientistas isolados. Das obras analisadas, a única que se encaixa nessa

subcategoria é o livro B. A gênese da relatividade é apresentada da seguinte maneira nesta obra:

"Einstein tentou aplicar os conceitos acima a uma experiência de pensamento que preocupava desde os 16 anos de idade: "o que veria se correr atrás de um feixe de luz na velocidade da luz?". De acordo com a relatividade de Galileu e a física newtoniana, ele deveria ver a luz em repouso, pois, se ambos se movimentam com a mesma velocidade, a velocidade entre eles é zero. Em 1905, Einstein chegou à conclusão de que essa resposta não estava correta, e a física newtoniana precisaria ser reformulada. Com o artigo "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento", que passaria para a História como a teoria da relatividade especial, alicerçada em dois postulados aparentemente simples, Einstein modificou o modo de pensar o tempo, o espaço, a matéria, e a energia. ([B]: Guimarães, Piqueira e Carron, 2016, p. 189)

(c) Livros que empregam adjetivação excessiva à Einstein e omitem a contribuição de outros pesquisadores. Essa deformação foi encontrada na obra I.

"Como perceberíamos um feixe de luz se pudéssemos acompanhá-los na mesma velocidade? Albert Einstein fez-se essa pergunta ainda na adolescência, e a questão permaneceu em suas reflexões durante muitos anos. Quando conseguiu respondê-la, Einstein era um jovem físico de 26 anos e trabalhava em um escritório do serviço de patentes em Berna, Suíça. A resposta foi publicada em um artigo intitulado "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento", na prestigiada revista científica alemã *Annalen der Physik*, em 1905. O artigo continha as bases da teoria que abalaram os alicerces até então sólidos e inquestionáveis da consagrada Mecânica newtoniana. A partir daí, conceitos como espaço e tempo nunca mais seriam interpretados da mesma forma. (...) Essa revolução na Mecânica afetou também outras grandezas, como massa e energia, e ficou conhecida como teoria da relatividade restrita (...) ([I]: Martini et al., 2016, p.230)".

A história sobre o raio de luz parece ser uma invenção histórica feita pelo próprio Einstein, pois, como observa Martins (2015, p. 171)

"Em primeiro lugar, sabemos com segurança que ele não conhecia ainda teoria eletromagnética de Maxwell nessa época – ele só estudou dois anos mais tarde. Então, ele não poderia saber se a teoria de Maxwell prevê ou não ondas eletromagnéticas paradas".

E o mais importante, tal especulação não permitiria construir uma teoria da relatividade (Martins, 2015, p. 171-172), pois antes de 1885, não havia subsídios científicos para estruturar a relatividade especial (Martins, 2015, p. 225-238).

Por fim, enfatizamos que Joseph Larmor deu importantes contribuições para a cinemática relativística não é citado em nenhum dos livros. Henri Poincaré (1854-1912), apesar de sua intensa produção para a relatividade, só é citado nas obras D e J, mas apenas como coautor da hipótese do éter junto a Hendrik Lorentz (1853-1928), o que não é verdade, visto que as duas principais hipóteses sobre o éter foram propostas por Augustin Fresnel



(1788-1827) e Gabriel Stokes (1819-1903) (Martins, 2015). Nenhum dos pesquisadores envolvidos na dinâmica relativística é citado, mas é compreensível, já que os livros dão maior ênfase a cinemática relativística.

*Categoria 7 - Uma imagem descontextualizada, socialmente neutra da ciência.*

O tratamento adequado de CTS, conforme a posição apresentada por Gil-Perez et al, estaria alinhado nas categorias maiores ou igual a terceira, enquanto todo os livros analisados no presente estudo, à exceção do livro C e o livro J seguem uma tendência que contemplam a primeira categoria (conteúdo de CTS como elemento de motivação), que pode ser compreendida como o ensino tradicional de ciências com enxertos de CTS para tornar as aulas mais interessantes (Pinheiro, Silveira e Bazzo, 2007); as exceções mencionadas se enquadram na segunda categoria (incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático) que são compreendidas como ensino tradicional de ciências acrescido de pequenos estudos de caso envolvendo CTS (Pinheiro, Silveira e Bazzo, 2007). Por exemplo, a obra J sugere discutir o envolvimento de Einstein e outros pesquisadores no projeto Manhattan:

“A equação  $E = m.c^2$ , mundialmente conhecida e reconhecida como verdadeira, foi base teórica para o desenvolvimento das bombas atômicas usadas na Segunda Guerra Mundial. Reúna-se com seus colegas e procure em livros ou na internet a carta que Albert Einstein e outros intelectuais da época escreveram ao presidente estadunidense Franklin Delano Roosevelt sobre os perigos do uso bélico da energia nuclear. Discuta com um grupo e apresente aos colegas da sala suas conclusões aqui chegaram usando painéis, fotos e vídeos sobre o assunto” ([J]: Torres et al, 2016, p. 200).

As influências geopolíticas como a expansão do telégrafo sem fio que, como mostrou Galison (2003), desempenharam um papel decisivo para elaboração da relatividade, não aparece em nenhuma das obras analisadas. Além disso, o enfoque de CTS ajuda a romper o ensino passivo, centrado no monólogo do professor:

“Com o enfoque CTS, o trabalho em sala de aula passa a ter outra conotação. A pedagogia não é mais um instrumento de controle do professor sobre o aluno. Professores e alunos passam a descobrir, a pesquisar juntos, a construir e/ou produzir o conhecimento científico, que deixa de ser considerado algo sagrado e inviolável. Ao contrário, está sujeito a críticas e a reformulações, como mostra a própria história de sua produção. Dessa forma, aluno e professor reconstruem a estrutura do conhecimento” (Pinheiro, Silveira e Bazzo, 2007, p. 77).

Por outro lado, não é desejável uma inserção do conteúdo feita de forma descuidada e dogmática, como alerta Santos e Mortimer (2002, p. 127):

“Não adianta apenas inserir temas sociais no currículo, sem qualquer mudança significativa na prática e nas concepções pedagógicas. Não basta as editoras de livros didáticos incluírem em seus livros temas sociais, ou disseminarem os chamados paradidáticos.

Sem uma compreensão do papel social do ensino de ciências, podemos incorrer no erro da simples maquiagem dos currículos atuais com pitadas de aplicação das ciências à sociedade. Ou seja, sem contextualizar a situação atual do sistema educacional brasileiro, das condições de trabalho e de formação do professor, dificilmente poderemos contextualizar os conteúdos científicos na perspectiva de formação da cidadania”.

Em síntese, a superação dessa deformação encontrada nos livros exige um trabalho muito mais amplo que o enxerto de temas sociais. É necessário uma reflexão crítica sobre qual o papel da ciência na sociedade e o da sociedade na ciência e trazer esta discussão para sala de aula. Para tal é preciso trabalhar de maneira integrada o contexto da justificação e o contexto da descoberta, compreender que a ciência oscila entre aspectos internos e externos (Galison, 2003).

### **Conclusões**

Em uma era da informação, a princípio qualquer pessoa com acesso e certo domínio das tecnologias de informação e comunicação pode criar e distribuir informações. Essa facilidade deu origem ao fenômeno das notícias falsas (fake news) que pela primeira vez na história do Brasil motivaram a abertura de CPMI para investigar se o disparo de notícias falsas de alguma forma comprometeu o processo democrático. Por isso, um grande número de pessoas ainda associa credibilidade aos livros impressos, ainda que pessoas com recursos materiais possam também publicar livros. Entretanto, o que esta análise mostrou, a partir dos conteúdos de relatividade especial, é que os livros didáticos também estão contaminados com imagens distorcidas da natureza da ciência expressas na categorias 3, 6 e 7, respectivamente visão aproblemática e ahistórica; visão individualista e elitista da ciência; e imagem descontextualizada e socialmente neutra da ciência, conforme descritas na tabela 2 e organizadas na análise da tabela 3.

Assim, a análise revela que todos os livros precisariam sofrer modificações, pois diante dos resultados obtidos podemos classificar as distorções encontradas nos livros em três grandes grupos, a saber: (i) livros com equívocos pontuais, são obras que “pecam pela falta” e precisam de complementação do texto: uma ênfase nos aspectos sociais e nos outros pesquisadores que participaram da construção da relatividade como Lorentz e Poincaré. É o caso dos livros E, G, H, K. (ii) Livros com equívocos moderados, são obras que apresentam problemas históricos epistemológicos e necessitam de uma modificação de texto. Os livros A, B, I, J pertencem a esse grupo. (iii) livros com equívocos severos, que apresentam e agravam os problemas destacados nos outros dois grupos e precisariam ter praticamente todo o texto modificado, como é o caso das obras D, F, L.

É importante enfatizar que a responsabilidade do ensino não depende apenas dos autores de livros didáticos. É preciso levar em conta toda a estrutura de ensino. Os autores de livro didático têm pouco tempo para compor as obras e, além disso, devem abranger uma quantidade extensa de conteúdos e informações. Agrava esse fato que algumas vezes há poucas

fontes históricas e sociais sobre as teorias científicas. Os estudos sociais da ciência apareceram como uma resposta a essa escassez de material de cunho social e político, contudo a sua produção ainda é pequena e muito deste material não circula fora do meio acadêmico. O livro de Galison (2003) é um dos poucos materiais que aborda a visão social da relatividade. Esse livro nunca foi lançado na variante linguística português do Brasil, apenas em português de Portugal, mas se encontra fora de catálogo e é raramente encontrado em sebos de livros usados.

Outras questões que também precisam ser consideradas é o espaço e o tempo que os autores de livros didáticos dispõe. Para cumprirmos com o programa curricular, os livros não podem preparar discussões detalhadas sobre todos assuntos. Isso implica em uma escolha de temas que terão maior ou menor ênfase com base em diversos critérios, como por exemplo, a frequência destes temas no exame nacional do ensino médio. Soma-se que como o PNLD ocorre a cada três anos, esse é o tempo que os autores dispõe para conseguir escrever os três volumes e se adequarem as exigências de ensino que são dinâmicas. Considerando que uma pesquisa acadêmica exige meses ou até anos de revisão de literatura, escrita, avaliação, edição e nova escrita, o tempo que os autores e editores de livros didático possuem é bastante escasso.

Em síntese, as limitações encontradas nos livros não devem ser atribuídos apenas aos autores e editores de livros didáticos. Trata-se de um problema estrutural e que exige a mobilização de todos os profissionais de educação e de políticas públicas para que sejam superados. Com a inclusão digital, algumas editoras já disponibilizam links, material interativo pelo sítio virtual da editora, códigos QR e outras ferramentas que permitem o professor e os alunos expandirem o material didático.

Assim, a busca pelo enfrentamento e superação desses obstáculos exigem uma cooperação mútua entre Ministério da Educação, autores, professores, acadêmicos e editores de livros didáticos, avaliadores do PNLD em aprimorarem a sua formação em História, Filosofia e Sociologia da ciência, sobre ampliarem debates sobre as imagens deformadas da natureza da ciência que ainda não foram superadas. Nesse sentido, poderemos atingir uma qualidade epistemológica na construção e implementação dos recursos didáticos em sala de aula com a finalidade de não disseminar uma visão aproblemática, individualista e descontextualizada da construção do conhecimento científico.

### **Referências bibliográficas**

Abd-El-Khalick, F. e Lederman, N. (2000). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057-1095.

Aikenhead, G. (1994). What is STS science teaching? Em J. Solomon e Aikenhead (Eds.), *STS Education: International Perspectives on Reform* (pp. 47-59). New York: Teachers College Press.

Barreto Filho, B., Silva, C. X. (2016) *Física aula por aula 3: eletromagnetismo, física moderna*. 3ª.ed, São Paulo: FTD.

Basso, L. D. P., Terrazzan, E. A. (2015) Estudo sobre o processo de escolha de livros didáticos de ciências recomendados pelo PNLD 2013 em escolas de educação básica. *Cadernos de educação – UFPel*. 50, p. 1-11.

Bauer, H. H. (1994) *Scientific Literacy and the Myth of Scientific Method*. Chicago: Univ. Illinois Press.

Bell, R., Abd-El-Khalick, F., Lederman, N. G., McComas, W. F., Matthews, M. R. (2001) The nature of science and science education: a bibliography. *Science & Education*, 10(1-2), p. 187-204, 2001.

Beltran, M. H. R., Saito, F., Trindade, L. S. P. (2014) *História da ciência para formação de professores*. São Paulo: Livraria da Física.

Biscuola, J. G., Bôas, N. V., Doca, R. H. (2016) *Física 3: eletricidade, física moderna*. 3ª. ed, São Paulo: Saraiva.

Bonjorno, J. R., Bonjorno, R. F. S. A., Bonjorno, V., Ramos, C. M., Prado, E. P., Casemiro, R. *Física 3: eletromagnetismo, física moderna*. 3ª. ed, São Paulo: FTD, 2016.

Ministério da Educação. Secretária de Educação Básica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. (2017). *PNLD 2018: física – guia de livros didáticos – ensino médio* Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica.

Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. (2002a) *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília: Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica.

Ministério da Educação. (2002b) *Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica.

Brown, K. (2017) *Reflections on Relativity*. Morrisville: Lulu Press.

Cassirer, E. (1923) *Substance and Function and Einstein's Theory of Relativity*. Chicago: Dover.

Chalmers, A. F. (2017) *O que é ciência, afinal?* 14ª reimpressão, São Paulo: Editora Brasiliense.

Cunningham, A. (2000). The Identity of Natural Philosophy. A Response to Edward Grant. *Early Science and Medicine*, 5(3), 259-278.

Darrigol, O. (1996). The Electrodynamical Origins of Relativity Theory. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 26(2), pp. 241-312.

Darrigol, O. (1994). The Electron Theories of Larmor and Lorentz: A Comparative Study. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 24(2), pp. 265-336

Darrigol, O. (1995) Henri Poincaré's Criticism of Fin de Sicle Electrodynamics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 26 (1), pp. 1-44.

Darrigol, O. (2003) *Electrodynamics from Ampere to Einstein*. New York: Oxford University Press.

Darrigol, O. (2004). The Mystery of the Einstein–Poincaré Connection. *Isis*, 95(4), pp. 614-626

Eflin, J. T., Glennan, S., Reisch, G. (1999) The nature of Science: A perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), p. 107-116.

Einstein, A. (1958) *Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*. In: Textos Fundamentais da Física Moderna - I Volume: O Princípio da Relatividade, p.47-86. 3ª.ed, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

EL-Hani, C. N. (2006). Notas Sobre o Ensino de História e Filosofia da ciência na Educação Científica de Nível Superior. Em C. C. Silva (Ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. 3-21). São Paulo: Livraria da Física.

Feyerabend, P. (1974) Zahar on Einstein. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 25 (1), pp. 25-28.

Fleck, L. (1986). *La Génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Madrid: Alianza Editorial.

Forato, T. C. M.; Moura, B. A.; Prestes, M. E. B. (2008) Bibliografia sobre a utilização da história e filosofia da ciência no ensino de ciências e biologia. *Boletim de História e Filosofia da Biologia*, 2(3), pp. 1-17.

Forato, T. C. M., Pietrocola, M., e Martins, R. A. (2011). Historiografia e Natureza da ciência na Sala de Aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(1), pp. 27-59.

Galison, P. (2003). *Einstein's Clock and Poincaré's maps: empire of time*. New York: Norton.

Galison, P (2004). Specific Theory. *Critical Inquiry*, 30, pp. 379-383.

Garcia, T., M. F. Braga. (2013) X Encontro Nacional de Pesquisadores do Ensino de História. *Avaliação de livros didáticos de História por alunos do Ensino Médio: dois estudos de caso no campo e na cidade*.

Garcia, T., M. F. Braga. (2015) XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física. *O livro didático de Física na era digital*.

Garcia, T., M. F. (2016) Conferencia Regional para América Latina IARTEM. *La (in)visibilidad de la guía del libro didáctico en el proceso de la elección del Programa Nacional Livro Didático (PNLD)*.

Gaspar, A. (2017) *Compreendendo a Física: eletromagnetismo e física moderna*. 3ª. ed, São Paulo: Ática.

Giannetto E. (1999) The rise of Special Relativity: Henri Poincaré's works before Einstein. pp. 171-207, in: *Atti del XVIII Congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia*. Milano: Istituto de Física Generale Applicata / Centro Volta de Vomo.

Gil, D., Fernández, I., Carrascosa, J., Cachapuz, A., e Praia, J. (2001). Para uma imagem não-deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125-153.

Ginoux, J-M. Gerini, C. (2003) *Henri Poincaré: A Biography Through The Daily Papers*. New Jersey: World Scientific Publishing Company.

Gonçalves Filho, A. e Toscano, C. (2016). *Física 3: interação e tecnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Leya Brasil.

Goldfarb, A. M. A. (1994). *O que é história da ciência*. São Paulo: Brasiliense.

Goldberg, S. (1967) Henri Poincaré and Einstein's Theory of Relativity. *American Journal of Physics*, 35, pp. 934-944.

Goldberg, S. (1969) The Lorentz Theory of Electrons and Einstein's Theory of Relativity. *American Journal of Physics*, 37, pp. 982-994.

Goldberg, S. (1970). In Defense of Ether: The British Response to Einstein's Special Theory of Relativity, 1905-1911. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 2, pp. 89-125.

Grant, E. (2009) *História da Filosofia Natural do Mundo Antigo do século XIX*. São Paulo: Madras.

Guimarães, O. Piquiera, J. R. Carron, W. (2016). *Física: eletromagnetismo e física moderna*. 3ª.ed, São Paulo: Saraiva.

Henry, J. (1998). *A Revolução Científica e as Origens da ciência Moderna*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.

Hirosige, T. (1969). Origins of Lorentz' Theory of Electrons and the Concept of the Electromagnetic Field. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1, pp. 151-209.

Hirosige, T. (1976). The Ether Problem, the Mechanistic Worldview, and the Origins of the Theory of Relativity. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 7, pp. 3-82.

Holton, G. (1967-1968). Influences on Einstein's Early Work in Relativity Theory. *The American Scholar*, 37(1), p.59-79.

Holton, G. (1969). Einstein, Michelson, and the "Crucial" Experiment. *Isis*, 60(2), pp. 132-197.

Holton, G. (2003) What historians of science and science educators can do for one another? *Science Education*, 12(7), p. 603-616.

Irzik, G.; Nola, R. (2011) A family resemblance approach to the nature of Science for Science education. *Science & Education*, 20, pp. 591-607.

Kamamoto, K. Fuke, L. F. (2017). *Física para o Ensino Médio 3: eletricidade, física moderna*. 4ª.ed, São Paulo: Saraiva.

Keswani, G. H. (1965a). Origin and Concept of Relativity (I). *The British Journal for the Philosophy of Science*, 15, pp.286-306.

Keswani, G. H. (1965b). Origin and Concept of Relativity (II). *The British Journal for the Philosophy of Science*, 16, pp.19-32.

Kuhn, T. S. (2017). *A estrutura das revoluções científicas*. 13ª.ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A.

Langhi, R. e Nardi, R. (2007). Ensino de Astronomia: Erros conceituais mais comuns presente em livros didáticos de ciência. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 24(1), 87-111.

Larmor, J. (1900) *Aether and Matter*. Cambridge: John's College University Press.

Larmor, J. (1893) *A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium*. In: Proceedings of the Royal Society: Philosophical Transactions of the Royal Society. Cambridge.

Laue, M. V. (1911). *Das Relativitätsprinzip*, Braun: Schweig.

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. In S. K. Abell e Lederman, N. G. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-880). Mahwah, N J: Lawrence Erlbaum Associates.

Logunov, A. A. (2004) *Henri Poincare and Relativity Theory*. Moscow: Nauka.

Lorentz, A. H. (1958). *Fenômenos Eletromagnéticos em um Sistema que se Move com Qualquer Velocidade Inferior à da Luz*. In: Textos Fundamentais da Física Moderna - I Volume: O Princípio da Relatividade, p.13-43. 3ª. ed, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Martini, G., Spinelli, W., Reis, H. C., Sant'anna, B. (2016) *Conexões com a Física 3: eletricidade, física do século XXI*. 3ª.ed, São Paulo: Moderna.

Martins, R. A. (2005) A dinâmica relativística antes de Einstein. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 27, pp. 11-26.

Martins, R. A. A (2015) *Origem Histórica da Relatividade Especial*. São Paulo: Livraria da Física,

Matthews, M. R. (1994) *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.

Máximo, A. Alvarenga, B. Guimarães, C. (2016) *Física 3: contexto & aplicações*. 2ª. ed, São Paulo: Scipione.

Maxwell, J. C. (1925) *Matter and Motion*. London: The Sheldon Press.

McComas, W. F., Almazroa, H., Clough, M. P. (1998). The nature of Science in Science education: An introduction. *Science & Education*, 7(6), pp. 511-532.

McComas, W. F. (1996). Ten Myths of Science: Reexamining What We Think We Know About the Nature of Science. *School Science and Mathematics*; 96(1), pp. 10-16.

Medeiros; A. e Bezerra Filho, S. (2000). A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da física. *Ciência & Educação*, 6(2), pp. 107-117.

Megid Neto, J. (2008). *Fórum Permanente de Desafios do Magistérios*. O Professor e o Livro Didático.

Megid Neto, J. (2011). *2º Seminário sobre impactos de políticas educacionais nas redes escolares*. Panorama sobre o desenvolvimento dos Programas de Material Didático do governo federal (PNLD e PNBE).

Mehra, J. (2001). *The Golden age of Theoretical Physics, vol. 1*. Londres: World Scientific Publishing.

Mendes, C. E. (2017). *Como os alunos estudam física: um estudo a partir do uso do livro didático* (Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Miller, A. I. (1986) *Frontiers of Physics: 1900-1911: Selected Essays*. New York: Springer.

Miller, A. I. (1997) *Albert Einstein's Special Theory of Relativity. Emergence (1905) and Early Interpretation (1905-1911)*. New York: Springer.

Moura, B. A. (2014) O que é natureza da ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da ciência*, 7(1), pp. 32-46.

Pietrocola, M., Pogibin, A. Andrade, R., Romero, T. R. (2016). *Física em Contextos 3*. São Paulo: Editora do Brasil.

Pinheiro, N. A. M., Silveira, R. M. C. F., Bazzo, W. A. (2007). Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio. *Ciência & Educação*, 13(1), pp. 71-84.

Poincaré, J. H. (1905) Sur la dynamique de l'électron. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 140, pp. 1504-1508.

Poincaré, J. H. (1906) Sur la dynamique de l'électron. *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 21, pp. 129-176.

Poincaré, J. H. (1985). *A ciência e a Hipótese*. Brasília: Universidade de Brasília, 1985.

Pumfrey, S. (1991). History of Science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. *British Journal for the History of Science*, 24(1), pp. 61-78.

Queirós, W. P. (2012) *A articulação das culturas humanística e científica por meio do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora*. Tese de Doutorado em Educação para a ciência, Faculdade de ciências, Universidade Estadual Paulista.

Rosa, P. R.S. (2010) *Instrumentação para o ensino de ciências*. Campo Grande, MS: Ed. UFMS.

Santos, W. P.; Mortimer, E. F. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CT-S (ciência - Tecnologia - Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. Ensaio - *Pesquisa em Educação em ciências*, 2(2), pp. 110-132.

Saraiva, A. (2013). O fim das editoras de livros didáticos, GGN. Recuperado de <https://jornalggn.com.br/blog/luisnassif/o-fim-das-editoras-de-livros-didaticos-por-arnaldo-saraiva>



Silva, C. C.; Pagliarini, C. R. (2008) *A natureza da ciência em livros didáticos de física*. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba. Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.

Terrazzan, E. A. (2012) 27ª Jornada Acadêmica Integrada da UFSM. *O Livro Didático na Organização de Experimentos Didático-Científicos para o Ensino de Física*.

Terrazzan, E. A. (2015) 30ª Jornada Acadêmica Integrada. *Caracterizando Recursos Didáticos em Livro Didático de Química Utilizado em Escolas Públicas da Cidade de Santa Maria/RS*.

Torres, C. M., A. Ferraro, N. G., Soares, P. A. D., Penteadó, P. C. M. (2016). *Física, ciência e Tecnologia 3: eletromagnetismo, física moderna*. 4ª.ed, São Paulo: Moderna.

Válio, A. B. M., Fukui, A., Nani, A. P. S., Ferdinian, B., Molina, M. M. Oliveira. G. A. Venê. (2016). *Ser Protagonista – Física 3*. 3ª. ed, São Paulo: SM Brasil.

Walter, S. (2007). Breaking in the 4-vectors: the four-dimensional movement in gravitation, 1905–1910. In J. Renn e Schemmel, M. (Eds.), *The Genesis of General Relativity Vol. 3: Theories of Gravitation in the Twilight of Classical Physics; Part I* (pp 1118-1178). Kluwer: Dordrecht.

Walter, S. (2011) Henri Poincaré, theoretical Physics, and Relativity Theory in Paris. In: Schlote, K.-H. Schneider, M. (eds.). *Mathematics Meets Physics: A contribution to their interaction in the 19th and the first half of the 20th century* (pp. 213-239). Frankfurt: Verlag Harri Deutsch.

Walter, S. (2014). Poincaré on clocks in motion. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 47(1), 131–141.

Whittaker, E. (1987). *A history of the theories of aether and electricity*. 2 Vols. New York: American Institute of Physics.