

# Análise da história da Teoria da Relatividade Restrita em livros didáticos do terceiro ano do ensino médio indicados no PNLEM 2015/2017



**Alanah Garcia da Silva, Nádia Cristina Guimarães Errobidart, Diego Carvalho Barbosa Alves, Wellington Pereira de Queirós**

*Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Costa e Silva, s/nº, Bairro.*

**E-mail:** lanah.garcia@gmail.com

(Recibido el 8 de junio, aceptado el 4 de agosto de 2019)

## Resumo

Apresentamos nesse trabalho os resultados de uma pesquisa realizada sobre os aspectos da natureza da ciência relacionados a Teoria da Relatividade Restrita em livros didáticos do terceiro ano do ensino médio, distribuídos na rede pública do Brasil, durante os anos 2015/2017. Para isso, em um primeiro momento, pesquisamos sobre o uso da história da ciência em revistas da área de ensino e qual a sua importância. Posteriormente, realizamos uma segunda pesquisa que teve como objetivo a criação de um texto histórico que serviu como subsídio para a última etapa. Por fim, realizamos a análise dos livros didáticos para verificar se ele possuía relatos históricos, notas biográficas, presença de mitos e história whig e visão epistemológica valorizada na abordagem identificada. Os resultados indicam que os livros analisados não apresentam uma abordagem história da ciência satisfatória, principalmente quanto as características da visão epistemológica contemporânea.

**Palavras chave:** Livro didático, ensino de física, física moderna, história da ciencia.

## Abstract

We present in this work the results of a research carried out on aspects of the nature of science related to Theory of Restricted Relativity in textbooks of the third year of high school, distributed in the public network of Brazil, during the years 2015/2017. To do this, we first investigated the use of the history of science in journals in the area of teaching and how important it is. Subsequently, we conducted a second research that had the objective of creating a historical text that served as a subsidy for the last stage. Finally, we analyze the books through an adaptation of the grid used by Pagliarini (2007, p.57), which consists of verifying whether the book has historical accounts, biographical notes, presence of Whig myths and history. The results indicate that the analyzed books do not present the history of science in a satisfactory way, being necessary a revision and modification for future editions.

**Keywords:** Textbook, modern physics, physical education, theory of restricted relativity, science history.

**PACS:** 01.30.vv, 01.30.Os, 01.30.-y, 03.30.+p, 81.05.ue

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUÇÃO

A seguinte pesquisa tem como temática a abordagem histórica da Teoria da Relatividade Restrita (TRR) presente em livros didáticos (LD) de física utilizados no 3º ano do Ensino Médio brasileiro. Tais livros analisados foram indicados pelo Catálogo do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) para o Ensino Médio, para utilização no triênio de 2015-2017.

Esse programa do governo federal tem como objetivo subsidiar o trabalho pedagógico por meio da distribuição de exemplares desse material didático para os estudantes da rede pública de ensino, em todo o território nacional. No ano de 2003, foi lançado o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), sendo o Fundo

Nacional de Desenvolvimento da Educação por meio da resolução FNDE nº 38/03 (Brasil, 2003), responsável pela distribuição dos livros, mas, os primeiros exemplares para a disciplina de Física foram distribuídos somente a partir de 2008.

Para garantir a qualidade das obras que seriam repassadas para os alunos, o Ministério da Educação (MEC) constituiu uma comissão de especialistas que, para garantir a qualidade do material que seria adquirido, elaborou um conjunto de critérios eliminatórios e classificatórios, para avaliar aspectos técnicos, conceituais, metodológicos e éticos dos livros didáticos. O resultado desse trabalho deu origem ao Catálogo do Programa Nacional para o Ensino Médio [1, 2].

É com base nesse documento que os professores das escolas públicas analisam as obras e efetuam a escolha dos livros didáticos que foram utilizados com seus alunos, por um período de três anos.

A importância desse material pedagógico no contexto escolar é um aspecto amplamente pontuado na literatura da área de ensino e educação, mesmo antes das ações desenvolvidas pelo governo federal.

Segundo Pagliarini [3], o LD é o principal material didático utilizado pelo professor e conseqüentemente pelo aluno dentro e fora da sala de aula. Sendo assim, o autor considera que recai sobre ele parte da responsabilidade pela qualidade do processo de ensino e aprendizagem.

Freitas e Rodrigues [4] afirmam que o LD é de extrema importância na educação, pois possui a função de atuar como mediador na construção do conhecimento. Além disso, também está relacionado diretamente com a educação científica, já que exige que o estudante se concentre para compreender a mensagem a ser estudada, diferente de outros meios, como a televisão ou rádio.

Todavia, um único livro didático muitas vezes não atende as necessidades pedagógicas do professor, o qual pode optar por não utilizar fielmente a obra adquirida por meio do PNL D, em todas as atividades de ensino. Para alcançarem o objetivo pedagógico de suas aulas eles acabam realizando a transposição didática no planejamento das atividades de ensino, a partir de várias coleções [5].

Os professores, durante o processo de escolha dos livros didáticos, levam em consideração algumas características apontadas na literatura como fundamentais, como por exemplo, a presença de: textos explorando fatos da História da Ciência, contextualização e/ou aplicações no cotidiano, ilustrações, atividades diversificadas, informações atualizadas e proposição de atividades experimentais.

Nesse trabalho nos dedicamos ao estudo da abordagem da História da Ciência nos livros didáticos de física.

Na literatura da área de ensino, muitos trabalhos pontuam a importância do uso da História da Ciência para ensinar ciências, salientando que seu emprego pode propiciar a aquisição de significado aos conceitos abordados em sala de aula [6, 7, 1, 2]. Esse aspecto que deve ser considerado pois, muitas vezes, a maior dificuldade na compreensão dos alunos ocorre devido ao fato de que eles não conseguem relacionar alguns conceitos físicos aos fenômenos do cotidiano, devido ao alto grau de abstração na descrição dos mesmos. Um dos trabalhos identificados na literatura pontua essa dificuldade dos alunos em “[...] perceber e estabelecer conexões entre as disciplinas” salientando a necessidade de “[...] reconhecer que tal dificuldade não é culpa de alunos ou professores, pois ambos são resultados de uma fragmentação do conhecimento e, conseqüentemente, do ensino” [6, p. 4].

Martins [8] afirma que a HC pode ser pensada tanto como um conteúdo das disciplinas científicas, quanto como uma estratégia didática para facilitar a compreensão e teorias a serem estudadas. Dessa forma, ela [...] surge como uma necessidade formativa do professor, na medida em que pode contribuir para: evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compressão mais refinada dos

diversos aspectos envolvendo o processo de ensino-aprendizagem da ciência; proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula [8, p. 115].

Tavares [1] pontua que, alguns dos critérios de qualidade utilizados pelos avaliadores das obras que seriam indicadas no catálogo do PNL D, valorizam a abordagem de aspectos da história e a filosofia das ciências. Entretanto, autores como Martins e Brito [7] consideram que, a qualidade dessa abordagem histórica, associada a alguns dos saberes explorados nos livros didáticos, pode ser um dos maiores problemas da História da Ciência e o Ensino de Ciências. Isso porque, muitas vezes não possibilita “[...] a formação de uma visão adequada acerca da construção do pensamento científico” [7, p. 262].

A motivação para a realização desse trabalho surge do entendimento sobre a importância da História da Ciência no ensino de ciências e o resultado de uma pesquisa bibliográfica explorando essa temática. Nela identificamos reflexões sobre a abordagem da HC nos livros didáticos de Física e a possibilidade de existência de problemas como o pontuado por Martins e Brito [7]. Com base nisso, esse trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da abordagem histórica da Teoria da Relatividade Restrita (TRR) nos livros didáticos de Física indicados pelo PNL D, para o 3º ano do ensino médio.

A TRR está alicerçada nos conceitos básicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), temática que apresenta um número significativo de investigações sobre sua abordagem no ensino médio. Sua escolha como objeto de estudo está pautada no entendimento de que [...] o desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea (FMC) trouxe diversas inovações conceituais que modificaram a maneira de interpretar muitos fenômenos do Universo. Por exemplo, a Relatividade Geral traz uma nova interpretação de tempo e espaço, além da proposição da existência de buracos negros. Já a Mecânica Quântica se volta para o mundo do pequeno, e seus resultados abalam as bases do “determinismo clássico”; as partículas podem se comportar como ondas e as ondas, como partículas [9, p. 02].

Compartilhamos da concepção difundida em muitas pesquisas da área de ensino, sobre FMC, de que é de fundamental importância que o estudante do ensino médio tenha a possibilidade de discutir e entender princípios básicos da tecnologia atual. Eles estão muito presentes na sociedade atual e interferem direta ou indiretamente sobre a sua vida e podem vir a definir o seu futuro, tanto no contexto pessoal quando profissional.

Uma das justificativas apontadas por pesquisadores em ensino de física para a inserção da física moderna no EM se baseia no potencial que esses conteúdos têm em fornecer a explicação científica para utensílios tecnológicos do cotidiano dos estudantes, como, por exemplo, aparelho de micro-ondas, laser, refrigerador, raios X, GPS, entre outros [10, pp. 1401-2].

Na literatura evidenciamos diferentes trabalhos que discutem a inclusão de conceitos de FMC no ensino médio. Apesar do grande número de trabalhos acadêmicos relacionados a temática, o número de publicações sobre

Teoria da Relatividade é bem menor: [10] identificaram em uma pesquisa bibliográfica, em periódicos da área de ensino e educação, no período de 2005 a 2009, que “[...] somente 35 [trabalhos] abordavam assuntos referentes à teoria da relatividade, tanto a restrita como a geral”.

Ampliando o período da pesquisa realizada por [10] para até 2016, foram identificados mais 36 artigos. Essa busca complementar foi realizada em periódicos da área de ensino e educação: Revista Brasileira de Ensino de Física e seu suplemento Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Investigação em Ensino de Ciências, Ciência e Ensino, Revista Electronica de Ensenanza de Las Ciencias, Ensenanza de Las Ciencias e Ciência e Educação.

Evidenciamos que, desse total, dez artigos relacionavam a Teoria da Relatividade com História da Ciência. Vale destacar que o número de artigos relacionados a história da relatividade restrita é consideravelmente baixo quando comparado ao número total de artigos publicados em cada periódico no mesmo período.

Utilizando esses artigos (e outros) que abordam a História da Teoria da Relatividade Restrita, criamos um texto base para a análise dos livros didáticos. Esse texto será apresentado no tópico abaixo.

## **II. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA**

A Teoria da Relatividade Restrita desperta grande interesse tanto nos cientistas e estudantes, quanto no público em geral devido a sua fama, resultante provavelmente de mudanças em conceitos básicos da Física, amplamente aceitos na comunidade científica na época de sua formulação. Além disso, ela possibilitou a explicação de fenômenos que até então eram incompreensíveis para a Física, como a propagação de ondas eletromagnéticas no vácuo.

No entanto, normalmente, quando se fala sobre a TRR, muitas pessoas a associam apenas ao cientista Albert Einstein. Todavia, antes dele, outros filósofos e cientistas, como Galileu Galilei Isaac Newton já utilizavam o conceito da teoria no estudo da mecânica.

Tentando desmistificar essa visão de que Einstein seria o único a desenvolver a TRR, muitos historiadores se dedicam a explicar a contribuição de outros cientistas, mesmo antes e depois de sua formulação em 1905 a 1907. Esses historiadores destacam as contribuições de Michelson, Morley, Lorentz e Poincaré [11]. Outros estudiosos do assunto salientam que Einstein recebeu o mérito devido ao fato de sua formulação final estar de acordo não só com a mecânica, mas com todas as áreas da física [12]

Um aspecto que todos os historiadores e estudiosos da Teoria da Relatividade pontuam é que o entendimento do éter era um ponto de fundamental importância na época para a TRR, e por isso foi objeto de estudo de muitos cientistas, principalmente até o século XIX. A ideia do éter surge com a teoria de Descartes, que “retira da luz qualquer

propriedade material, mas exige a existência de um meio para se propagar” [13, p. 52]. Para que a luz pudesse se propagar, o éter deveria ser extremamente rígido, mas fluido o suficiente para que os sólidos pudessem se mover.

Do ponto de vista matemático, o éter seria um referencial inercial absoluto do eletromagnetismo, uma vez que, possibilitaria que a luz se propagasse podendo observar o seu caráter oscilatório, negando o princípio da relatividade aplicado as leis do eletromagnetismo.

Dentre os cientistas que buscavam entender o comportamento do éter e apresentar respostas para os problemas vivenciados pela comunidade científica da época, destacam a contribuição de Albert Abraham Michelson. Ele, buscando responder questões formuladas por Maxwell e outros pesquisadores, tomou por base seus estudos em ótica, principalmente os associados ao método de Foucault, concluindo que seria necessário realizar observações utilizando um instrumento extremamente preciso: o interferômetro. Como tal equipamento só era encontrado na Europa, foi para lá fazer estágios de pesquisa e lá arquitetou seu interferômetro e a experiência que com ele seria realizada [14].

A primeira experiência de Michelson com o interferômetro, construído com o apoio financeiro de Alexander Graham Bell, estudioso que se dedicava a compreender fenômenos sonoros, não apresentou resultados conclusivos sobre a natureza do éter. Dessa forma, a comunidade científica manteve-se debruçada sobre esse problema, a natureza do éter, até 1900. Buscavam explicações para a teoria de Fresnel e o próprio experimento de Michelson, posteriormente reproduzido com a contribuição de Morley em 1887.

O matemático Henri Poincaré, por exemplo, concluiu com base nos estudos sobre o éter, que “[...] era impossível medir o movimento absoluto da matéria, ou melhor, o movimento relativo da matéria em relação ao éter” [11, p. 104]. Ele enfatizou que era preciso desenvolver teorias exatas do eletromagnetismo para encontrar a resposta que faltava e que a hipótese de contração dos corpos proposta por Lorentz era uma explicação insatisfatória que buscava apenas justificar o resultado inesperado do experimento de Michelson e Morley. Nesse estudo sobre o movimento dos corpos materiais e os efeitos físicos, intitulado como lei da relatividade, pontuou que era preciso desenvolver uma teoria que explicasse todos os fenômenos de uma só vez ao invés de ficar criando uma explicação diferente para cada [11].

Em um novo trabalho, Poincaré ainda tentando encontrar uma explicação aceitável, publicou em 1900 o Princípio do movimento relativo, no qual apresentava os resultados de um experimento no qual realizava a medida do tempo em relação a relógios sincronizados por meios de sinais luminosos, utilizando a velocidade da luz como um padrão, uma vez que essa era absoluta, possuindo a mesma velocidade em relação a todos os referenciais (em movimento ou não). Em 1902, no seu livro Ciência e hipótese, concluiu que, por mais que se tentasse, era impossível medir a velocidade da Terra em relação ao éter e

que somente os movimentos relativos entre os corpos podiam ser medidos.

Evidenciamos nos trabalhos dos historiadores e estudiosos da Teoria da Relatividade que a existência do éter é o ponto que difere o enunciado da teoria da relatividade de Poincaré e Lorentz da formulada por Einstein [15, 16]. Eles pontuam que não existem indícios concretos de Einstein leu os trabalhos de Poincaré, pois em seus relatos a comunidade científica, ele não faz referências aos mesmos. Destacam que, no entanto, existem evidências de que Einstein discutiu na época de graduação o livro *Ciência e hipótese*, entre os anos de 1902 e 1903, o que sugere que ele conhecia os trabalhos de Poincaré, sobre a relatividade [11].

Quanto a experiência de Michelson e Morley para determinar a existência do éter, esses historiadores evidenciam nos escritos de Einstein [17, p. 51] a indicação de que a mesma não exerceu influência ponderável:

Sobre meu próprio trabalho, o resultado de Michelson não exerceu influência ponderável. Nem mesmo recorde se o conhecia quando escrevi, pela primeira vez, sobre o primeiro assunto (1905). A razão reside em que eu estava, por motivo de ordem geral, firmemente convencido de que o movimento absoluto não existe e meu problema se resumia em saber como conciliar esse ponto com o conhecimento que temos da eletrodinâmica. Entende-se, assim, porque, em minha obra pessoal, não coube papel ou, pelo menos, papel decisivo ao experimento de Michelson [apud 13, p. 54].

Entretanto, essa negativa de Einstein quanto a influência do resultado dos experimentos realizados com o interferômetro de Michelson é um aspecto questionado por alguns dos historiados que discorrem sobre a teoria da relatividade [13, 18, 15].

No ano de 1905, mesmo ano em que Einstein publicou o seu trabalho sobre relatividade, Poincaré publicou dois trabalhos muito significativos para a teoria. No primeiro trabalho, corrigiu alguns problemas evidenciados na proposição de Lorentz, demonstrando que era necessário levar em consideração que todos os fenômenos eletromagnéticos deveriam ser idênticos em quaisquer referenciais. No outro, demonstrou que o tempo deveria ser manipulado como uma quarta dimensão e discutiu as consequências do princípio da relatividade no estudo da gravitação. Pode-se dizer que faltou pouco para Poincaré e Lorentz descreverem o princípio da relatividade especial.

[...] os resultados do artigo de 1905 obtidos por Einstein já haviam sido alcançados antes por Lorentz e Poincaré. No entanto, havia uma importante diferença; enquanto os antecessores de Einstein aceitavam a existência do éter, ele negou essa hipótese” [19, p.7].

Ainda no ano de 1905, além do artigo sobre a teoria da relatividade restrita, intitulado *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*, Einstein publicou outros dois trabalhos que revolucionaram o mundo da física, um explicando o efeito fotoelétrico e outro o efeito browniano. Nesse primeiro ganhou o prêmio Nobel de física em 1921.

Pode-se dizer então que, a grande contribuição de Einstein nesse contexto vivenciado pela comunidade

acadêmica é a consideração de que o estudo da física deveria se pautar em resultados que poderiam ser medidos e observados, diferentemente do que evidenciado nos estudos de Lorentz e Poincaré sobre o éter. Einstein levou em consideração o fato de que como nenhum experimento provou a existência do éter, era porquê de fato ele não existia, concluindo que: [...] as tentativas sem sucesso de verificar que a Terra se move em relação ao “meio luminoso” [éter] levaram à conjectura de que, não apenas na mecânica, mas também na eletrodinâmica, não há propriedades observáveis associadas à ideia de repouso absoluto, mas as mesmas leis eletrodinâmicas e ópticas se aplicam a todos os sistemas de coordenadas nos quais são válidas as equações da mecânica [...] Elevaremos essa conjectura (cujo conteúdo será daqui por diante chamado de “princípio da relatividade”) à posição de um postulado [11, p. 233].

Assim como todo desenvolvimento científico, a formulação apresentada por Einstein para a Teoria da relatividade, pautou-se em dois problemas amplamente discutidos pela comunidade científica: o comportamento da luz e a falta de simetria observada em alguns fenômenos eletromagnéticos. Tal discussão pode ser evidenciada no livro de Einstein e Pereira [20], texto utilizado como base de nossos estudos sobre a TRR.

O que todos os historiados deixam transparecer em suas conclusões é que Einstein revolucionou a física ao modificar as concepções de tempo e espaço, preservando a velocidade absoluta da luz. A partir de seus estudos o tempo começou a ser concebido como dependente do estado de movimento do referencial, sendo alterado ao passar de um sistema de coordenadas para outro.

A formulação de Einstein para a teoria de relatividade também contribuiu para modificar a compreensão dos cientistas sobre o espaço ser constituído por três dimensões. Ele demonstrou que: existem várias maneiras de determinar posições no tempo; um evento pode ser simultâneo em um referencial e em outro não; as medições de espaço e tempo não são independentes uma da outra.

Na literatura, [11, 13, 14, 15, 16, 19, 21] temos pesquisadores que sinalizam que se não fosse a formulação de Einstein negando a existência do éter, ele continuaria sendo aceito pela comunidade científica por muito tempo ainda. Resultados como os obtidos por Lorentz e Poincaré já apontavam para essa conclusão, mas não comunicados explicitamente a comunidade científica, dada a crença na existência do éter.

A ideia de contração do comprimento já tinha sido discutida anteriormente pelo matemático francês Henri Poincaré em uma palestra realizada em 1904. As ideias de Lorentz e Poincaré eram muito parecidas com as ideias de Einstein apresentada em 1905. Einstein tinha conhecimento da palestra de Poincaré e dos trabalhos de Lorentz, que podiam ter enunciado a teoria da relatividade, mas não o fizeram devido ao fato de acreditarem na existência do éter [16, p.49].

Outro aspecto que todos os historiados pontuam é que Einstein realizou seu trabalho a partir das conclusões de outros cientistas que buscavam respostas para os problemas vivenciados pela comunidade científica: Galileu, Newton,

Maxwell, Michelson, Morley, Poincaré, entre outros. Destacam que, na realidade, muitos outros cientistas, além dos geralmente citados em muitos dos trabalhos que estudam a teoria da relatividade, contribuíram direta ou indiretamente para a formulação final apresentada por Einstein, pois a ciência é uma construção coletiva e gradual. O conhecimento científico não é produzido individualmente num determinado instante, por grandes gênios como normalmente é apresentado fora da comunidade científica. No tópico abaixo, descrevemos a metodologia utilizada para realizar a análise dos livros didáticos.

### III. CONTEXTO E METODOLOGIA

Para a análise do conteúdo histórico da temática relatividade restrita utilizamos uma adaptação da metodologia que apresenta uma grelha composta de três categorias principais:

[...] a primeira, em relação à maneira como os materiais históricos são encontrados; a segunda, sobre as ideias veiculadas acerca da natureza da ciência e a terceira, considera a qualidade da informação histórica [3, p. 58].

Ele dividiu cada categoria em subcategorias as quais poderiam se sobrepor “[...] já que o assunto tratado dentro da física se mostrou um fator determinante para o tipo de abordagem com relação à história da ciência abordado pela obra” [3, p. 58].

Adaptamos a categoria relacionada às ideias veiculadas acerca da natureza da ciência. Pagliarini [3] elaborou subcategorias para enquadrar a caracterização do método científico como implícito ou explícito e evidências do processo de construção da ciência ao longo do texto. Decidimos por analisar a qual a visão epistemológica abordada na história apresentada no material explorado. Para isso elaboramos as subcategorias: Visão Epistemológica empirista-indutivista; Visão Epistemológica contemporânea; Visão Epistemológica não identificada.

A inserção da primeira subcategoria levou em consideração indícios de uma abordagem que indicasse uma visão empirista-indutivista da Ciência que:

1 - A observação como a fonte e a função do conhecimento. Todo o conhecimento deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções); 2 – o conhecimento científico é obtido dos fenômenos (aquilo que se observa), aplicando-se as regras do método científico, ou seja constitui-se em uma síntese indutiva do observado, do experimentado; a especulação, a imaginação, a intuição e a criatividade não devem desempenhar qualquer papel na obtenção do conhecimento científico; as teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas em conjunto de dados empíricos, sendo a ciência neutra, livre de pressupostos ou preconceitos [22, p. 36].

A classificação da segunda subcategoria considerou uma abordagem baseada nos pontos consensuais da epistemologia contemporânea:

1 - O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter não absoluto; 2 - o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, nas evidências experimentais, nos argumentos racionais e no ceticismo; 3 - não existe uma maneira única de se fazer ciência, ou seja, não há um método científico universal; 4 - a ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais; 5 - leis e teorias exercem papéis diferentes na ciência, sendo que teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais ficam disponíveis; 6 - pessoas de todas as culturas contribuem para com a construção/desenvolvimento da ciência; 7 - os novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta; os cientistas necessitam de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade dos estudos realizados; 8 - as observações são carregadas de teorias; cientistas são criativos; 9 - a ciência é parte das tradições culturais e sociais; 10 - a história da ciência apresenta um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário; 11 - a ciência e a tecnologia impactam uma à outra; 12 - ideias científicas são afetadas pelo seu meio social e histórico [23, p. 513, tradução nossa].

As demais categorias apresentadas por Pagliarini [3] assim como suas subcategorias foram mantidas como referência para a análise dos livros didáticos. Dessa forma, a grelha utilizada nesse trabalho levou em consideração as categorias e subcategorias listadas no quadro I.

**Quadro I.** Categorias e subcategorias de análise adaptados de Pagliarini [3].

<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria</b>
Apresentação do material histórico	1.1 Não possui nenhum conteúdo histórico.
	1.2 Contêm “boxes” e seções específicas sobre a história da ciência ao longo dos capítulos.
	1.3 O conteúdo histórico aparece diluído ao longo do texto.
Às ideias de natureza da ciência	2.1 Visão Epistemológica Empirista-Indutivista.
	2.2 Visão Epistemológica Contemporânea.
	2.3 Visão Epistemológica não identificada.
A qualidade da informação histórica	3.1 Contêm apenas menções e breves notas biográficas, a respeito de cientistas e suas realizações, ao longo dos capítulos.
	3.2 Abordagem histórica que valoriza apenas os conhecimentos aceitos atualmente (história whig).
	3.3 Presença de características dos mitos científicos.
	3.4 A história da ciência complementa satisfatoriamente a abordagem do conteúdo científico.

Esse quadro foi utilizado para classificar a abordagem histórica associada a teoria da Relatividade restrita presente nos livros didáticos indicados no Catálogo do PNLD/2015, listados no quadro II.

**Quadro II.** Livros didáticos selecionados para a análise.

Código	Livros didáticos
LD1	SANT' ANNA, Blaidi et al. Conexões com a Física, vol. 03. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2013.
LD2	TORRES, Carlos Magno, FERRERARO, Nicolau Gilberto, SOARES, Paulo Antonio de Toledo. Física, ciência e tecnologia, vol. 03. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013.
LD3	VÁLIO, Adriana Benetti Marques et al. Física 3 Coleção Ser protagonista, vol. 03. 2. ed. São Paulo: Edições SM, 2013.
LD4	BARRETO FILHO, Benigno, SILVA, Claudio Xavier. Física, aula por aula, vol. 03. 2 ed. São Paulo: FTD, 2013.
LD5	MÁXIMO, Antônio, ALVARENGA, Beatriz. Física contexto & aplicações: ensino médio, vol 3. 1. Ed. São Paulo: Scipione, 2013.
LD6	BISCUOLA, Gualter José, BÓAS, Newton Villas, DOCA, Ricardo Helou, . Física, vol. 03. – 2 ed. – São Paulo: Saraiva, 2013.
LD7	BONJORNO, José Roberto et al. Física, eletromagnetismo, vol. 03. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.
LD8	GUIMARÃES, Osvaldo, PIQUEIRA, José Roberto, CARRON, Wilson et a. Física, vol. 03. 1. ed. São Paulo, Ática, 2014.
LD9	YAMAMOTO, Kazuito, FUKE, Luiz Felipe. Física para o Ensino Médio, vol. 03. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
LD 10	GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física, vol. 03. 2. ed. São Paulo: Ática, 2014.

Num primeiro momento realizamos a leitura do capítulo destinado a abordagem da Teoria da Relatividade presente em cada um dos dez livros didáticos selecionados para a análise, identificando possíveis relatos que apresentassem relação com a abordagem do processo histórico de construção da ciência.

Num segundo momento, tomando como referência o texto elaborado sobre o processo evolutivo da ciência, que culminou na teoria da relatividade restrita, buscamos indícios que pontuassem desde a contribuição de Aristóteles com a definição de espaço, passando pelas atribuídas a Isaac Newton com relação ao movimento relativo até os artigos elaborados por Albert Einstein, para comunicar seus resultados à comunidade científica.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a exploração inicial do material que compunha o corpus desse estudo para identificar os trechos históricos e uma leitura mais aprofundada destes para destacar as evidências do processo histórico de construção da teoria da relatividade, realizamos a classificação nas categorias e subcategorias de análise, apresentada no quadro III.

**Quadro III.** Classificação dos trechos históricos, identificados nos livros didáticos em categorias e subcategorias de análise.

Categori a	Apresenta ção do material histórico			As ideias de natureza da ciência			A qualidade da informação histórica apresentada			
	1. 1	1. 2	1. 3	2. 1	2. 2	2. 3	3. 1	3. 2	3. 3	3. 4
Subcate goria										
LD1		X					X	X	X	
LD2		X		X	X		X		X	
LD3		X				X	X		X	
LD4		X			X		X		X	
LD5		X			X		X		X	
LD6		X		X	X		X		X	
LD7		X		X	X		X			
LD8		X			X		X		X	
LD9		X					X			
LD10		X			X		X		X	

No quadro III evidenciamos que identificamos trechos que podem ser associados a abordagem histórica da teoria da relatividade em todos os dez livros didáticos analisados

Na maioria dos exemplares, a abordagem histórica é empregada na apresentação dos tópicos introdutórios do capítulo, no qual discorrem sobre a teoria da relatividade, geralmente fazendo uso de “boxes” com notas biográficas de cientistas. Tal constatação resultou na classificação de todos os livros na subcategoria 1.2 - Contêm “boxes” e seções específicas sobre a história da ciência ao longo dos capítulos.

De todos os exemplares analisados, destacamos o livro didático LD2, Física, ciência e tecnologia [24], como o que menciona a maior quantidade de biografias de cientistas e/ou suas contribuições na textualização da relatividade especial. Os autores explicitam aspectos do contexto científico no campo de estudo da física antes do ano de 1900, destacando o conceito de referencial inercial de Galileu e o seu princípio da relatividade. Discutem: a invariância das leis de Newton e a “[...] ideia da relatividade galileana-newtoniana” [24, p. 211], os conflitos entre o princípio da relatividade proposto por Newton e a teoria do eletromagnetismo sintetizada nas equações de Maxwell e contribuições de experiências como as realizadas por Michelson e ele e Morley em busca de evidências do éter luminífero. Prosseguem pontuando as contribuições do “matemático, físico e filósofo francês Jules Henri Poincaré e o físico holandês Hendrik Antoon Lorentz” com a apresentação de “[...] um conjunto de relações matemáticas envolvendo as coordenadas espaço-temporais de um mesmo fenômeno, observado de referenciais inerciais distintos” [24, p. 216]. Finalizam apresentando um extenso tópico sobre a relatividade de Einstein, pontuando que:

Essa teoria fundamenta-se em dois postulados. O princípio da relatividade: as leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Princípio da constância da velocidade da luz: a velocidade da luz no vácuo vale [aproximadamente] 300.000 Km/s em todos os referenciais inerciais, independentemente do movimento da fonte em

relação ao observador. O primeiro princípio, referente às leis da Mecânica, da Termodinâmica, da óptica, da Eletricidade e do Magnetismo, é uma generalização do princípio da relatividade de Galileu-Newton, que se aplicava somente as leis da Mecânica. Essa generalização foi possível pela modificação dos conceitos de espaço e tempo [24, p. 218].

Nos demais livros didáticos evidenciamos relatos da contribuição de cientistas como Maxwell e Lorentz para a formulação de Einstein para a teoria da relatividade, com ênfase nos artigos por ele publicados em 1905, apresentando os seus resultados a academia. Alguns desses livros apresentam uma discussão bem sucinta, outros com um pouco mais de detalhes, como podemos evidenciar nos trechos citados abaixo.

Em 1905, Albert Einstein (1879 – 1955) publicou o artigo que apresentava a teoria da relatividade especial e o princípio da relatividade: as leis da física são as mesmas em todos os referenciais que se movem de maneira uniforme entre si [25, p. 277].

Em 1905, aos 26 anos de idade, Einstein publicou três trabalhos de grande importância, que causaram enorme repercussão. Em um dos trabalhos ele estudou teoricamente o efeito fotoelétrico, interpretando-o com base na teoria quântica. Outro tratava de questões relativas ao movimento e tamanho das moléculas, desenvolvendo uma análise matemática do 'movimento browniano'. O terceiro trabalho, sem dúvida aquele que desempenhou papel mais importante no desenvolvimento da Física, apresentava as ideias básicas da teoria da relatividade, revolucionando os conceitos clássicos de espaço e tempo [26, p. 283].

Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento, publicado em 26 de setembro de 1905 – contém o que hoje conhecemos como teoria da relatividade restrita ou especial. Nesse artigo, Einstein conciliou as leis da mecânica de Newton com o eletromagnetismo de Maxwell, postulando a constância da velocidade da luz. Esse postulado trouxe sérias consequências à nossa concepção de espaço e tempo. Em 21 de novembro de 1905 foi publicado 'A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?', no qual Einstein introduz a equação mundialmente conhecida,  $E=mc^2$ , que estabelece a relação entre matéria e energia [27, p. 198].

A teoria da Relatividade foi publicada em 1905 por Albert Einstein como um artigo teórico que parte de dois pressupostos: a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, não importa qual sua velocidade relativa; e as leis da física são as mesmas em qualquer sistema inercial de referência [28, p. 246].

Os resultados sinalizam que todos os autores levaram em consideração, na textualização do capítulo destinado a abordagem da Teoria da Relatividade, o critério de qualidade estabelecido para a avaliação dos livros didáticos estabelecidos para a avaliação do PNLD para o Ensino Médio, no que se refere a abordagem de aspectos da história e a filosofia das ciências.

Em leituras subsequentes buscamos evidenciar indícios que nos possibilitasse identificar as ideias sobre a natureza da ciência difundidas nos relatos históricos utilizados pelos

autores dos livros didáticos. Considerando as características pontuadas sobre a visão epistemológica empirista-indutivista [22] da ciência e sobre a visão epistemológica contemporânea [23] efetuamos a classificação dos trechos segundo as subcategorias apresentada anteriormente no quadro III.

Em apenas dois dos exemplares analisados não foi possível identificar indícios que possibilitasse avaliar as ideias da natureza da ciência veiculadas nos trechos abordando a história da relatividade: LD1 – Conexões com a Física [29] e LD3 – Física 3 [25]. Isso resultou na classificação de ambos na subcategoria 2.3 Visão epistemológica não identificada.

Em três dos dez livros didáticos analisados, evidenciamos que a textualização da história da relatividade aproxima-se de uma visão empirista-indutivista. Neles a maioria dos relatos sugere que a construção do conhecimento é individual e não coletiva, apesar de mencionarem outros cientistas. Alguns trechos sugerem que os resultados obtidos pelos cientistas são frutos da aplicação do método científico ou apresentam indícios que sinalizam que “[...] as teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas em conjunto de dados empíricos”. Todavia, ressaltamos, que a classificação dos livros didáticos na subcategoria 2.1 Visão Epistemológica empirista-indutivista, não sinaliza que os autores só exploram essa visão, mas que enfatizam a mesma, como pontuado nos trechos transcritos abaixo.

Segundo ele [Galileu], o melhor caminho para o conhecimento é a experimentação e a observação direta dos fenômenos, rompendo com antigos esquemas, que, em sua época, haviam se convertido em dogmas de fé [24, p. 209].

A história da Ciência não tem demarcações precisas, uma vez que uma descoberta leva a outra, encadeando o trabalho de inúmeros pesquisadores ao longo do tempo. Mas pode-se dizer, que o final do século XIX foi decisivo para as mudanças que ocorreram [30, p. 216].

É preciso destacar que, para elaborar a Teoria da Relatividade Einstein contou não só com a sua grande genialidade, mas também com trabalhos de outros físicos, como os americanos Albert A. Michelson (1852-1931) e E. W. Morley (1838-1923) e o holandês H. A. Lorentz (1853-1928) [31, p. 285, grifo nosso].

$E=mc^2$  estava certo [de novo]. A pequena e elegante sequência de símbolos que inicia o título desse boxe e, certamente, a fórmula mais famosa da ciência. Ela foi idealizada pelo físico de origem alemã Albert Einstein (1879-1955) em 1905, como consequência de sua Teoria da Relatividade Especial [31, p. 291].

Destacamos a textualização elaborada por [31] como sendo híbrida, uma vez que nela evidenciamos também uma abordagem históricas de forma contemporânea, como no trecho grifado na descrição acima, no qual os autores mencionam a contribuição de outros cientistas.

No caso das obras LD2, Física Ciência e Tecnologia [24] e LD7, Física Eletromagnetismo e física moderna [30], identificamos em alguns trechos aspectos valorizados na visão epistemológica contemporânea da ciência. Nos dois trechos apresentados abaixo evidenciamos que o

conhecimento é apresentado com um caráter não absoluto, baseado fortemente, mas não totalmente em bases experimentais.

Entretanto, as ideias de Aristóteles foram gradativamente abandonadas após os revolucionários e profundos trabalhos de Galileu Galilei (1564-1642) e de Isaac Newton (1642-1717) sobre os movimentos dos corpos terrestres e celestes, que colocaram a Física em um patamar de Ciência autônoma, fundamentada em bases experimentais, e não mais extraída apenas da simples observação de fatos [24, p. 209].

Para muitos, a grande pergunta era: “Esse valor [da velocidade da luz] é medido em relação a quê?” ou: “Qual o referencial adotado para se chegar a ele?”. Na ocasião, havia a hipótese da existência de um meio fluido rarefeito sem viscosidade e suficientemente rígido para justificar a elevada velocidade de propagação atribuída a Hendrik Lorentz (1853-1928) e Henri Poincaré (1854-1912). Tal meio preencheria todo o espaço e recebeu o nome de éter.

Vários cientistas consideravam contraditórias as características atribuídas a esse meio e, portanto, essa questão deveria ser mais estudada. [...] A tentativa de resolver a primeira questão citada por Lorde Kelvin remonta a alguns anos antes (1881), com a experiência realizada por Albert Abraham Michelson (1852 – 1931), físico estadunidense. Michelson pretendia comprovar a existência do éter medindo a velocidade de deslocamento da Terra em relação a esse suposto meio. Utilizou um interferômetro [...] O resultado foi simplesmente [oposto ao esperado] [...] Esse fracasso na comprovação da existência do éter levou Michelson a repetir o experimento e a aprimorar os equipamentos, que passaram a ficar apoiados sobre uma grande pedra de mármore que flutuava sobre mercúrio [30, p. 219-220, grifo nosso].

Avaliamos que a abordagem utilizada pelo LD7 [30] aproxima-se da visão epistemológica contemporânea ao pontuar que vários cientistas consideravam contraditórias as características atribuídas por Lorentz e Poincaré ao éter e que isso necessitava de mais estudos os quais foram realizados Michelson e Morley quando o primeiro repetiu o procedimento, após aprimorá-lo.

A avaliação está pautada no entendimento de que esse aspecto, destacado no trecho citado anteriormente, está de acordo com o que foi pontuado por [23] ao salientar como característica dessa visão a revisão por pares e a replicabilidade dos estudos realizados.

Nos outros quatro livros didáticos, classificados na subcategoria 2.2 Visão Epistemológica Contemporânea, identificou-se indícios que caracterizam a construção da ciência como uma tentativa de explicar os fenômenos naturais, a qual não seria realizada pela utilização de um método único, como podemos evidenciar no exemplo abaixo.

Eles propuseram métodos alternativos para o cálculo da velocidade da luz que poderiam ser praticados em laboratório. Por exemplo, no caso de Fizeau, a ideia proposta era basicamente a de fazer um feixe de luz passar por entre os dentes de uma engrenagem em movimento.

Depois da passagem, o feixe era refletido por um espelho, e o conhecimento da distância entre os dentes pelo qual a luz passava na ida e na volta, assim como da velocidade de rotação da engrenagem, permitiu o cálculo da velocidade procurada [32, p. 268, grifo nosso].

Também identificamos indícios que pontuam a construção da ciência como um processo coletivo, valorizando os estudos realizados por cientistas que antecederam a Albert Einstein, como a descrição abaixo, [...] A Teoria da Relatividade Especial é o resultado do trabalho dos cientistas – físicos, matemáticos, filósofos – que, trabalhando em áreas aparentemente desconexas como a mecânica e o eletromagnetismo, levantaram singularidades que não podemos perceber em nosso cotidiano, mas mudaram completamente a maneira como entendemos o espaço e o tempo [28, p. 246].

Essa descrição aproxima do entendimento de [23], de que pessoas de diferentes áreas contribuem para com o desenvolvimento e construção do conhecimento científico, apesar de não citar quais foram os cientistas e a contribuição de cada um. Essa é uma das características que os autores consideram para avaliar as ideias sobre a natureza da ciência que se aproxima de uma visão epistemológica contemporânea.

Nos outros exemplares enquadrados nessa subcategoria também identificamos trechos que possibilitam essa conclusão.

Algumas propostas surgiram e, nesse contexto de efervescência de ideias e resultados, cientistas como Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) e Jules Henri Poincaré (1854-1912) foram fundamentais para o desenvolvimento da teoria da relatividade. Eles lançaram sementes para que Albert Einstein (1879-1955) pudesse publicar, em 1905, um artigo (Sobre a Eletrodinâmica dos corpos em movimento) que, além de sugerir uma explicação que prescindia da hipótese do éter, representou uma profunda mudança na maneira de interpretar o universo físico [32, p. 268-269, grifo nosso].

Ele (Einstein) não chegou às teorias que lhe deram fama de forma totalmente isolada. [...] A teoria da relatividade é fruto não apenas da sua capacidade lógica, mas também da capacidade de reunir, de uma maneira sintética e organizada, o que outros cientistas já afirmavam. [...] Poincaré, Minkowski, Besso e muitos outros cientistas tiveram participação direta ou indireta no desenvolvimento da teoria da relatividade, tanto da especial quanto da geral [26, p. 304, grifo nosso].

A tentativa de resolver a primeira questão citada por Lorde Kelvin remota a alguns anos antes (1881), com a experiência realizada por Albert Abraham Michelson (1852-1931), o físico estadunidense. Michelson pretendia comprovar a existência do éter medindo a velocidade de deslocamento da Terra em relação a esse suposto meio [30, p. 219, grifo nosso].

Ainda nessa subcategoria destacamos evidências que pontuam o lado criativo dos cientistas e sinalizam que as observações, por eles realizadas, estão alicerçadas em teorias: “[...] apesar de a teoria do eletromagnetismo de Maxwell ser bastante recente se comparada com a

Mecânica newtoniana, e ainda não estar completamente comprovada à época, Einstein teve a intuição de que ela era correta” [26, p. 282, grifo nosso].

Destacamos que identificamos nesses três livros didáticos classificados na subcategoria 2.2 Visão Epistemológica Contemporânea, trechos que abordam a história da relatividade segundo as características elencadas por [23] como importantes na descrição sobre às ideias de natureza da ciência. Em todos os livros identificamos um relato detalhado do procedimento experimental realizado inicialmente por Michelson e depois replicado por Michelson e Morley, após adaptações. Aspecto que pode ser evidenciado na citação seguinte:

Na antiguidade, para Aristóteles e seus seguidores, o éter era o quinto elemento que preenchia todo o espaço celeste [...] O pensamento aristotélico perdurou na Europa por toda a Idade Média e os experimentos que procuravam mostrar a existência do vácuo em contrapartida ao éter nos séculos XVI e XVII (pois era impossível obter o vácuo absoluto). [...] Michelson pretendia comprovar a existência do éter medindo a velocidade de deslocamento da Terra em relação a esse suposto meio. Utilizou um interferômetro – aparelho assim chamado porque produz interferência luminosa, constituído basicamente por uma fonte de luz F, dois espelhos planos E1 e E2 perpendiculares entre si, um espelho semiprismado E0 e uma luneta L para observação [30, p. 219].

Saltamos entretanto que, entendemos que tal descrição não representa uma valorização do procedimento experimental como método universal para obtenção do conhecimento científico, pois todos os autores pontuam elementos teóricos que levam a realização do mesmo, buscando comprovar a existência do éter.

Quanto a terceira categoria, que se refere à qualidade da informação histórica apresentada na textualização do conhecimento, identificamos em todos os exemplares menções e notas biográficas a respeito dos cientistas e de suas realizações, ao longo da abordagem da teoria da relatividade. Todos os exemplares apresentavam as características consideradas para o enquadramento na subcategoria 3.1 - Contêm apenas menções e breves notas biográficas, a respeito de cientistas e suas realizações, ao longo dos capítulos. A maioria das menções e notas biográficas apresentavam informações sobre Albert Einstein e Hendrik Lorentz, como podemos evidenciar nas citações seguintes.

[...] Einstein era um jovem físico de 26 anos e trabalhava em um escritório do serviço de patentes em Berna, Suíça (p. 234) [...] Em 1895, Hendrik Lorentz (1853-1928) formulou um conjunto de transformações, que ficaram conhecidas como transformações de Lorentz [29, p. 243].

[...] Lorentz frequentou a recém-formada Escola de Arnhem e, em 1870, passou nos exames de ingresso à Universidade de Leiden, onde estudou Física e Matemática. Em 1872, após receber seu grau de bacharel em Física, retornou a Arnhem para lecionar Matemática em cursos secundários. Em 1875, obteve seu grau de doutor com a

tese sobre a reflexão e refração da luz, na qual refinou a teoria eletromagnética de Maxwell [24, p. 216]

O ano de 1905 é conhecido por muitos historiadores da Ciência como *annus mirabilis*, ou ano miraculoso, de Einstein. Nesse ano, ele teve quatro artigos importantes publicados pelo periódico alemão *Annalen der Physik* [32, p. 272].

Em 1905, aos 26 anos de idade, Einstein publicou três trabalhos de grande importância, que causaram enorme repercussão. Em um dos trabalhos ele estudou teoricamente o efeito fotoelétrico, interpretando-o com base na teoria quântica. Outro tratava de questões relativas ao movimento e tamanho das moléculas, desenvolvendo uma análise matemática do ‘movimento browniano’. O terceiro trabalho, sem dúvida aquele que desempenhou papel mais importante no desenvolvimento da Física, apresentava as ideias básicas da teoria da relatividade, revolucionando os conceitos clássicos de espaço e tempo [26, p. 283].

Einstein nasceu em Ulm, na Alemanha, no dia 14 de março de 1879, e logo mudou-se para Munique, onde passou a infância. Seu interesse pela Física começou precocemente, aos 4 ou 5 anos de idade. [...] Em 1905, publicou três artigos extraordinários na *Annalen der Physik*, prestigiosa publicação científica alemã. O primeiro formula a hipótese dos quanta de luz e, como consequência, a explicação do efeito fotoelétrico. O segundo apresenta a teoria do movimento browniano – movimento aleatório de partículas sólidas num fluido. O terceiro expõe a teoria da relatividade [33, p. 227].

Salientamos ainda que todos os exemplares pontuaram os artigos publicados em 1905 por Albert Einstein, mas nem todos apresentaram detalhes sobre os resultados comunicados nos mesmos, tais como apresentados no LD5 e LD10 [26, 33].

Considerando a subcategoria 3.2 - abordagem histórica que valoriza conhecimentos aceitos atualmente (*história whig*), evidenciamos em apenas um livro didático menções a teorias que ainda não eram aceitas na referida época, aspecto também caracterizado como sinônimo de *história anacrônica*.

1. As transformações de Galileu são corretas quando passamos de um referencial para outro em movimento uniforme relativo ao primeiro. A falha está no eletromagnetismo. 2. O eletromagnetismo está correto e as transformações de Galileu não são adequadas quando passamos de um referencial para outro em movimento relativo a este [29, p. 242-243, grifo nosso].

Avaliamos como anacronismo (*história whig*) a constatação apresentada pelos autores, grifada na citação, de que a “falha está no eletromagnetismo”, visto que a verificação da relação entre a eletricidade e o magnetismo ocorreu somente em 1819, muito tempo após Galileu Galilei ter apresentado tais transformações. No contexto em que Galileu viveu, tais transformações foram importantes para a comunidade científica e esse valor não pode ser negado apesar das transformações não representarem um conhecimento absoluto.

Quanto aos aspectos avaliados na subcategoria 3.3 - Presença de características de mitos científicos,

identificamos em oito exemplares a exaltação de um cientista ou de seu trabalho. Em obras como as elaboradas no LD5, LD6 e LD4 [26, 31, 32] identificamos trechos que destacam a genialidade de cientistas:

Contudo, mesmo os grandes gênios cometem equívocos, e um experimento crucial, realizado pelos físicos Albert Abraham Michelson (1852-1931) e Edward Williams Morley (1838-1923 [32, p. 268, grifo nosso].

O físico Albert Einstein (1879-1955), considerado uma das personagens mais importantes do século XX [...] reconhecido em seu próprio tempo como uma das maiores inteligências criativas da História da humanidade [26, p. 283, grifo nosso].

Galileu Galilei, um dos maiores gênios da história, preocupou-se em medir e utilizar o tempo como uma maneira de compreender a natureza [31, p.300, grifo nosso].

Em alguns livros didáticos evidenciamos trechos, como os citados a seguir, que atribuíam a um único cientista o resultado que culminou na formulação de uma teoria, não valorizando o processo de construção do conhecimento do qual a mesma resultou.

O artigo [de Einstein] continha as bases da teoria que abalaria os alicerces até então sólidos e inquestionáveis da consagrada Mecânica Newtoniana [29, p. 234].

Galileu foi o fundador da Física como Ciência que estuda os fenômenos da natureza [24, p. 209].

Maxwell (1831-1879) desenvolveu sua teoria do eletromagnetismo, na qual os fenômenos eletromagnéticos se propagam com velocidade infinita [25, p. 277].

Einstein expandiu sua teoria da relatividade. Em 1916, publicou o artigo sobre as origens da teoria geral da relatividade [27, p. 198].

Em nenhum dos exemplares evidenciamos indícios que permitisse a classificação na subcategoria 3.4 - A história da ciência complementa satisfatoriamente a abordagem do conteúdo científico. Ou seja, nenhum livro foi classificado como satisfatório devido as considerações já citadas.

Durante a análise realizada identificamos aspectos outros da textualização dos saberes que consideramos interessante destacar. Evidenciamos que dos dez livros didáticos analisados quatro abordam além da teoria da relatividade especial a teoria da relatividade geral: LD2, LD3, LD5, LD9.

Para além das categorias de análise, ressaltamos alguns aspectos que chamaram nossa atenção durante a apreciação da abordagem história sobre a teoria da relatividade.

Em três livros didáticos identificamos indícios que nos permitem cogitar que os autores destacam a abordagem de questões éticas e políticas relacionados com o trabalho científico de Einstein. Isso fica evidente ao mencionarem a participação de Albert Einstein em movimentos políticos e ideológicos ou ao exploraram sua visão de mundo:

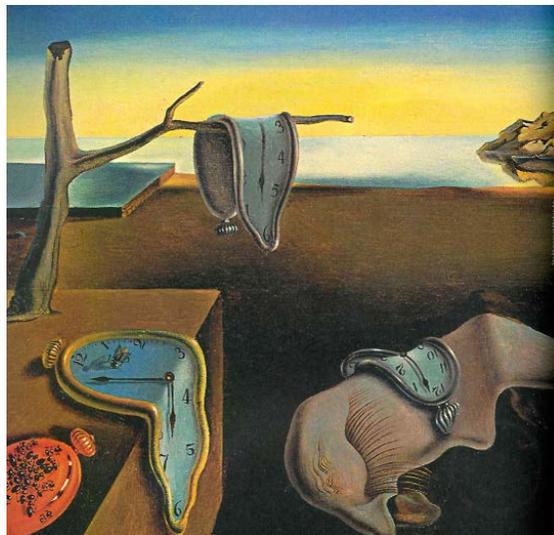
Cometi um grande erro na vida – quando assinei a carta ao presidente Roosevelt recomendando que se fizessem bombas atômicas [32, p. 285].

Após tornar-se cidadão norte-americano em 1940, Einstein viveu nos Estados Unidos até a sua morte. Praticamente em toda a sua vida, dedicou-se integralmente

às causas pacíficas, tendo erguido sua voz contra o nazismo, o racismo e todas as formas de intolerância [27, p. 228].

Adotou a cidadania americana e participou do Projeto Manhattan. Reconheceu o erro do uso da energia nuclear para fins militares após constatar o que ocorreu com as cidades de Hiroshima e Nagasaki, no Japão [28, p. 259].

Outra questão interessante evidenciada nos livros didáticos foi o fato de que alguns exemplares relacionaram as teorias científicas exploradas na textualização com questões culturais, como o quadro *Persistência da memória*, de Salvador Dalí, ilustrado na figura 1.



**FIGURA 1.** A persistência da memória, obra do pintor surrealista espanhol Salvador Dalí. Fonte: [33, p.226].

Essa obra de Salvador Dalí, foi mencionada em quatro livros didáticos (LD5, LD6, LD7 e LD10), estabelecem uma relação da arte com a teoria da relatividade restrita, a partir do quadro de deformação do tempo e espaço.

Além das ilustrações do quadro, os autores mencionam na textualização do saber a influência da Teoria da Relatividade na arte de “Salvador Dalí (1904-1989), pintor espanhol nascido na região da Catalunha [...]. Ele incorporou conceitos da Relatividade em diversas obras, como na conhecida série *Relógios Moles*” [30, p. 229].

Destacamos ainda o trecho em que o LD10 pontua a ciência como uma forma de manifestação cultural, mencionando como exemplo esse quadro de Salvador Dalí: Arte e ciência são manifestações da nossa cultura com inúmeros elementos comuns. Música, pintura, fotografia, arquitetura são, frequentemente, ao mesmo tempo, arte e ciência a serviço da criatividade humana. Essa interação não se limita à parceria concreta de técnicas e materiais; ela está presente também na inspiração do artista e, quem sabe, do cientista. Esta obra, *A persistência da memória*, de 1931, do pintor surrealista espanhol Salvador Dalí, certamente expressa o grande impacto da nova concepção de tempo trazida pela teoria da relatividade restrita. O tempo, imutável e absoluto durante séculos, torna-se

repentinamente algo tão frágil como um relógio derretido [33, p. 226, grifo nosso].

É importante salientar que esses aspectos sugerem que os autores dos livros didáticos mencionados buscam propagar ideias sobre a natureza da ciência que se aproximam da visão epistemológica contemporânea, considerando que “[...] a ciência é parte das tradições culturais e sociais”, tal como caracteriza Mccomas, Almazroa e Clough [23, p. 513, tradução nossa].

Em suma, a análise realizada tomando como referência as categorias listadas na grelha apresentada no quadro 1, nos permite afirmar que todos os dez livros didáticos apresentam uma abordagem histórica relacionada a teoria da relatividade.

Todos os exemplares apresentam menções a fatos históricos e breves notas biográficas dos cientistas e suas realizações, ao longo dos capítulos. Oito desses, apresentam na textualização características que sugerem a descrição de mitos científicos (LD1, LD2, LD3, LD4, LD5, LD6, LD8 e LD10) e um apresenta uma abordagem histórica que valoriza apenas o conhecimento atualmente aceito pela comunidade científica (LD1). Entretanto, nenhum deles apresenta a história da ciência de forma a complementar satisfatoriamente a abordagem da teoria da relatividade.

Em uma avaliação individual dos exemplares analisados podemos afirmar que: em LD1 identificamos uma sucinta menção teórica sobre o trabalho de Einstein em uma seção específica denominada “Introdução” e um relato sobre as transformações de Lorentz em um box. Os autores apresentam uma descrição histórica linear na qual não foi possível identificar a visão epistemológica sobre a natureza da ciência. Apresentam junto a abordagem conceitual o nome de alguns cientistas, não enfatizando a teoria e possíveis experimentos realizados para sua comprovação ou não. Destacamos na textualização de LD1 a presença de história whig, ou anacrônica, ao supor que Galileu não considerou resultados confirmados com o desenvolvimento do eletromagnetismo ao estabelecer suas transformações.

O livro LD2 traz uma seção específica explorando a história da relatividade. Apresenta uma textualização detalhada dos aspectos históricos, iniciando com os fenômenos naturais observados por Aristóteles, as contribuições de Galileu Galilei e Isaac Newton sobre o movimento dos corpos celestes, as de Maxwell com a teoria eletromagnética, as de Max Planck com a teoria da radiação, finalizando com as de Albert Einstein e a teoria da relatividade.

Quanto as ideias sobre a natureza da ciência, os autores de LD2 apresentam uma descrição do processo evolutivo da teoria da relatividade, pontuando os cientistas que de uma forma ou de outra contribuíram com a formulação da mesma, finalizando com a descrição do artigo publicado por Albert Einstein. Eles apresentam ainda um detalhamento do procedimento experimental realizado, com o interferômetro, por Michelson e Morley, buscando comprovar a teoria que sinalizava a existência do éter. Tal descrição apresenta aspectos que possibilita considerar a presença de indícios de uma visão epistemológica contemporânea e também da visão epistemológica empirista-indutivista.

Destacamos em relação a qualidade da informação histórica, o livro didático LD2 apresenta além de relatos no corpo do texto, utilizado para abordagem conceitual, menções biográficas de Poincaré, Lorentz e Einstein em boxes específicos. Em um dessas menções exalta Galileu como o único cientista a estudar os fenômenos da natureza, configurando um mito histórico.

O terceiro livro analisado, LD3, apresenta uma seção específica para a abordagem história da teoria da relatividade, no entanto, de forma bem simplificada. Explora o estudo dos movimentos celestes de Newton e Galileu enfatizando conceitos da teoria do eletromagnetismo, as transformações de Lorentz e a teoria da relatividade.

Sua abordagem histórica não possibilitou evidenciar a visão epistemológica sobre a natureza da ciência, provavelmente porque o livro apresenta apenas menções biográficas de cientistas como Maxwell, Lorentz e Einstein e algumas datas relevantes, como o ano de publicação dos três artigos de Albert Einstein.

Destacamos em LD3 a presença de mitos históricos quando os autores atribuem os fenômenos eletromagnéticos apenas a Maxwell.

O livro didático LD4 apresenta uma descrição histórica em uma seção específica, na qual explora o estudo dos corpos celestes e o comportamento da luz, aspectos estudados por Galileu e Roemer. Entretanto, os autores não apresentam relatos específicos sobre a teoria da relatividade. Quanto as ideias sobre a natureza da ciência, consideramos que a textualização apresentada se aproxima da visão epistemológica contemporânea, ao detalhar o experimento do interferômetro, sugerindo o emprego da teoria. Ressaltamos que identificamos em LD4 a presença de mitos históricos na abordagem teórica ao pontuarem cientistas como grandes gênios. O destaque desse livro é uma busca por abordar questões sociais em um dos boxes presentes no capítulo.

Evidenciamos no começo da discussão teórica sobre a teoria da relatividade, no livro didático LD5, uma seção denominada “antecedentes históricos”. Nela os autores abordam sobre o comportamento da luz no vácuo a partir da teoria do eletromagnetismo, mencionando a experiência com o interferômetro, finalizando a discussão com a teoria da relatividade, apresentada em duas etapas: a especial e a geral.

Quanto a visão epistemológica sobre a natureza da ciência os autores pontuam o processo evolutivo de construção dos conhecimentos destacando o lado intuitivo dos cientistas e a avaliação por pares. Isso caracteriza uma aproximação com a visão epistemológica contemporânea. Identificamos ainda, em LD5, um box com uma nota biográfica sobre Einstein no qual temos sua caracterização como um mito histórico, ao engrandecê-lo como uma das maiores inteligências da humanidade. Apesar do livro didático LD6 apresentar um tópico intitulado “o surgimento da teoria da relatividade”, a abordagem histórica presente nele não explorava a evolução das ideias para o desenvolvimento/construção da teoria. Os autores, apenas mencionam que no começo do século XX, muitas questões

da Física, que ainda permaneciam sem respostas, foram solucionadas com a teoria da relatividade. No tópico seguinte, “os postulados de Einstein”, os autores destacam a participação de outros cientistas no desenvolvimento da teoria, mencionando os nomes de Michelson, Morley e Lorentz sem pontuar suas respectivas contribuições. Destacamos nesse livro didático o engrandecimento de Einstein como característica que levou a classificação na subcategoria visão epistemológica empírica-indutivista. Além disso, nos boxes utilizados para apresentar sucintas menções biográficas identificamos a presença de mitos históricos. Utilizando uma abordagem muito sucinta os autores do livro didático LD7 apresentam, no começo da textualização, uma descrição abordando as ideias de Newton com relação ao referencial inercial, o eletromagnetismo e a natureza da luz. Nele identificamos aspectos que caracterizam a natureza da ciência com proximidade à visão epistemológica empirística-indutivista em alguns trechos e, em outros, a visão epistemológica contemporânea.

No livro didático LD8 identificamos uma abordagem histórica em dois tópicos: “A Física no final do século XIX” e “os pilares da Física Moderna”. Neles evidenciamos relatos sobre: os trabalhos de Planck associados a quantização de energia; os de Bohr sobre o átomo de hidrogênio e os do casal Curie sobre a radioatividade. Prosseguem afirmando que “a Física do século XX, denominada Física Moderna, tem como alicerce a relatividade, que fornece a estrutura teórica para a compreensão do universo em escala macroscópica e a Mecânica quântica [...] em escala microscópica” [27, p. 198].

Evidenciamos na textualização apresentada no livro didático LD9 breves menções sobre a teoria da relatividade e quais seus resultados para a Física, distribuídas no corpo do texto. Em um box, intitulado a Física na história, evidenciamos uma descrição sucinta sobre o experimento de Michelson e Morley e a biografia de Einstein. Quanto às ideias sobre a natureza da ciência, a abordagem presente em LD9 se aproxima de uma visão epistemológica contemporânea, pois os autores realizam uma discussão sobre a teoria da relatividade, pontuando que não foi desenvolvida apenas por Einstein, mas sim, por um conjunto de ideias de diferentes cientistas – físicos, matemáticos e filósofos. Pontuam ainda que, a experiência realizada por Michelson e Morley, com o uso do interferômetro, estava pautada na teoria da existência do éter. Por fim, no livro didático LD10, especificamente no capítulo intitulado Relatividade o autor apresenta na parte introdutória da abordagem conceitual uma breve biografia de Einstein. Não evidenciamos nos demais tópicos outras menções a fatos históricos nem a outros cientistas.

Quanto às ideias sobre a natureza da ciência, o autor de LD10 discute os experimentos com base nas teorias propostas anteriormente, possuindo uma visão epistemológica mais próxima da contemporânea. Contribui para essa aproximação o fato de pontuar a relação da ciência com a arte, na discussão sobre o quadro de Salvador Dalí.

## V. TECENDO ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Considerando a análise realizada a partir dos resultados obtidos salientamos que apesar da criação do Catálogo do Programa Nacional para o Ensino Médio, criado pelo Governo Federal, com o objetivo de avaliar a qualidade dos livros didáticos; e dos Parâmetros Curriculares Nacionais, que sinalizam a necessidade de uma contextualização histórico-social, pode-se perceber que ainda falta muito para os livros didáticos alcançarem o objetivo desejado, ou seja, aborde a História da TRR de acordo com a visão epistemológica-contemporânea.

Dessa forma, apesar da HC ser uma realidade nos livros didáticos, e fornecer subsídios para que aluno possa compreender o verdadeiro significado dos conceitos científicos e a sua evolução ao longo dos anos, a análise constatou que, apesar dos livros se aproximarem de uma visão epistemológica contemporânea, ou seja, possibilita a formação de uma visão adequada do conhecimento científico, demonstrando que o conhecimento científico está em constante transformação, de cientistas de vários tempos culturas tentarem explicar fenômenos a sua volta, além de impactarem o meio social e histórico; ainda falta muito para estes livros abordem o conteúdo de HC seguindo as orientações historiográficas que foram descritas na introdução desse trabalho.

Com a análise, percebemos que a maioria dos livros didáticos apresentam uma visão epistemológica contemporânea, mas de forma bastante simplificada, sem valorizar os conhecimentos e teorias passadas, assim como, não realizam uma discussão sobre a evolução das teorias passadas de cientistas para cientistas, narrando pequenos fragmentos da história e apresentando as teorias de forma linear e simples.

Apesar da constante evolução dos livros didáticos, pode-se observar que, a biografia dos autores ainda se resume a nomes e datas precisas, ignorando a contribuição de outros cientistas sobre o desenvolvimento de cada teoria (como se apenas um cientista desenvolvesse cada teoria). É então visível a necessidade de Estudos Historiográficos e de epistemologia por parte dos autores didáticos, na formação dos professores e também na educação básico.

## REFERÊNCIAS

- [1] Tavares, Wesolowski L. H., *A história da ciência nas obras de química do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio: uma análise através do conceito de substância* 167 Dissertação, (Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, 2010). Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90953>>.
- [2] Pena, F. L., Teixeira, E., *Parâmetros para avaliar a produção literária em história e filosofia da ciência voltada para o ensino e divulgação das ideias da física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física **30**, 471-491 (2013).
- [3] Pagliarini, C., *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio*. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências),

(Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007).

[4] Freitas, N., Rodrigues, M., *O livro didático ao longo do tempo: a forma do conteúdo*. DAPesquisa, Florianópolis **1**, 1-8 (ago. 2007/jul. 2008). Disponível em: <[http://qwww.ceart.udesc.br/revista\\_dapesquisa/volume3/numero1/plasticas/melissa-neli.pdf](http://qwww.ceart.udesc.br/revista_dapesquisa/volume3/numero1/plasticas/melissa-neli.pdf)>, acesso em: 09 ago. 2015.

[5] Neto, J., Fracalanza, H., *O livro didático de ciências: problemas e soluções*, Ciência e Educação **9**, 147-157 (2003).

[6] Hulsendeger, M., *Os prós e contras de utilização da história da ciência no ensino de física*, XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, (2005).

[7] Martins, L. & Brito, A. P., *A História da Ciência e o ensino da Genética e Evolução no nível médio: um estudo de caso*, pp. 245-264, in Silva, Cibelle Celestino da (ed.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*, (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006). Disponível em:

<http://www.ghc.usp.br/server/pdf/LACPM-livro-Cibelle.pdf>, acesso em: 09 ago. 2015.

[8] Martins, A., *História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **24**, 112-131 (2007).

[9] Kikuchi, L., Ortiz, A. J., Batista, I. L., *Ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto*, Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, (Londrina, 2013).

[10] Rodrigues, C., Sauerwein, I., Sauerwein, R., *A proposal for the insertion of relativity theory in high school by studying the GPS*, Revista Brasileira de Ensino de Física **36**, 1-7 (2014).

[11] Martins, R., *A origem histórica da relatividade especial / Roberto de Andrade Martins*, (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2015).

[12] Cindra, J., *Esboço da evolução histórica do princípio da relatividade*, Revista Brasileira do Ensino de Física **16**, São Paulo (1994).

[13] Seixas, W., *O princípio da relatividade – de Galileu a Einstein*, Revista Brasileira de História da Matemática **5**, 43–56 (2005).

[14] Múnera, H., *El experimento de Michelson-Morley y el segundo postulado de Einstein: inextricablemente unidos. Einstein: científico y filósofo*, (Universidad del Valler Programa Editorial, Colombia, 2007), pp. 245-290.

[15] Paty, M., *Pensamento racional e criação científica em Poincaré*, Scientiae Studia, São Paulo **8**, 177-93 (2010).

[16] Filho, M., Filho, S., Cordeiro, F., Bessadas, A., *Uma transposição didática da Teoria da Relatividade Especial*, Revista Ensino de Ciências e Engenharia **2**, 39–72 (2011).

[17] Bernstein, J., *As idéias de Einstein*, 2ª Ed. (Cultrix, São Paulo, 1980).

[18] Martins, R., *Dinâmica relativística antes de Einstein*, Revista Brasileira de Ensino de Física **1**, 11-26 (2005).

[19] Damasio, F., *Relatividade de Einstein em uma abordagem histórico – fenomenológica / Felipe Damasio*, Trieste F. Ricci. (UFRGS, Instituto de Física, Porto Alegre, 2009).

[20] Einstien, A., *A teoria da relatividade especial e geral*, (Contraponto Editora, Rio de Janeiro, 2003).

[21] Martins, R., *Dinâmica relativística antes de Einstein*, Revista Brasileira de Ensino de Física **1**, 11-26 (2005).

[22] Silveira, F. L., *A Filosofia da Ciência e o Ensino de Ciências*, em Aberto, Brasília, Ano **11**, (1992). Disponível em:

<<http://www.rbep.inep.gov.br/index.php/ema-aberto/article/viewFile/816/734>>, acesso em: 28 nov. 2008.

[23] McComas, W. F., Almazroa, H., Clough, M. P., *The nature of science in science education: an introduction*, Science & Education, Dordrecht **7**, 511-532 (1998).

[24] Torres, C., Ferreraro, N., Soares, P. A., *Física, ciência e tecnologia*, Vol. 3. (Moderna, São Paulo, 2013).

[25] Válio, A., Fukui, A., De Linha, F., *Física 3 Coleção Ser protagonista*, (2ª Ed. Edições SM, São Paulo, 2013) **3**.

[26] Máximo, A., Alvarenga, B., *Física contexto & aplicações: ensino médio*, **3**, 1ª Ed. (Scipione, São Paulo, 2013).

[27] Guimarães, O., Piqueira, J., Carron, W., *Física 3*, (1ª Ed. Átila, São Paulo, 2014).

[28] Yamamoto, K., Fuke, L., *Física para o Ensino Médio*, **3**, (2ª Ed. Saraiva, São Paulo, 2013).

[29] Sant'anna, B., Martini, G., Spinelli, W., Reis, H., *Conexões com a Física*, **3**, (2ª Ed. Moderna, São Paulo, 2013).

[30] Bonjorno, J., Bonjorno, R., Bonjorno, V., Clinton M., Prado, E., *Física, eletromagnetismo*, **3**, (2ª Ed. FTD, São Paulo, 2013).

[31] Biscuola, G., Bôas, N., Doca, Ricardo Helou. *Física 3*, **3**, (2 Ed. Saraiva, São Paulo, 2013).

[32] Barreto, B., Silva, C., *Física, aula por aula*, **3**, (2ª Ed. FTD, São Paulo, 2013).

[33] Gaspar, A., *Compreendendo a Física*, **3**, (2ª Ed. Ática, São Paulo, 2014).