



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**RICARDO FRANCISCO DA COSTA**

**O INTERFERÔMETRO DE MICHELSON E  
MORLEY EM ABORDAGENS DOS LIVROS  
DIDÁTICOS DE FÍSICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA  
BRASILEIRA**

CAMPINA GRANDE – PB  
2013

**RICARDO FRANCISCO DA COSTA**

**O EXPERIMENTO DE MICHELSON E MORLEY EM  
ABORDAGENS DOS LIVROS DIDÁTICOS DE  
FÍSICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura  
Plena em Física da Universidade Estadual da  
Paraíba, em cumprimento às exigências legais para  
a obtenção do título de graduado em Física.

Orientadora: **Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Amélia Monteiro**

CAMPINA GRANDE – PB  
2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL – UEPB

C837i

Costa, Ricardo Francisco da.

O interferômetro de Michelson e Morley em abordagens dos livros didáticos de física da educação básica brasileira [manuscrito] / Ricardo Francisco da Costa. – 2013.

55 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2012.

“Orientação: Profa. Dra. Maria Amélia Monteiro, Departamento de Física”.

1. Livro didático. 2. Ensino de Física. 3. Educação científica.  
I. Título.

21. ed. CDD 371.32

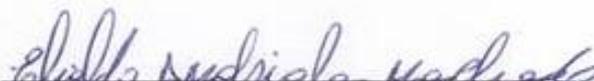
# O EXPERIMENTO DE MICHELSON E MORLEY EM ABORDAGENS DOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA

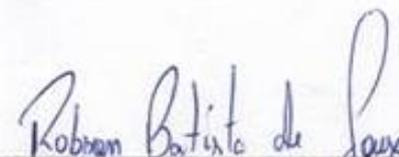
RICARDO FRANCISCO DA COSTA

Aprovado em: 11 / 03 / 2013

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.<sup>a</sup>. Maria Amélia Monteiro, Dr.<sup>a</sup> - UEPB  
Orientadora

  
Prof.<sup>o</sup>. Elialdo Andriola Machado, MSc - UEPB  
Examinador

  
Prof.<sup>o</sup>. Robson Batista de Sousa, MSc - UEPB  
Examinador

*À Deus e à minha mãe...*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo a DEUS por ser minha força e esperança em todos os momentos da vida.

A virgem Santíssima “A mãe do meu senhor” (Lucas 1, 43).

A minha mãe a quem por tudo nessa vida serei um eterno devedor, por ter sido mãe e pai em todo esse trajeto e ter me impulsionado sempre ao sucesso.

Ao meu pai (in memoriam) por ter me ensinado o valor do esforço e da persistência para superar todos os obstáculos.

A minha esposa Raquel, por seu amor, paciência e carinho nos momentos em que tive de me ausentar para conclusão desse trabalho e por ser um presente de Deus em minha vida.

A minha irmã Tamires, por sua paciência e dedicação.

A minha orientadora, professora Maria Amélia, por ter dado fortes contribuições em minha vida acadêmica e ser um exemplo de dedicação e profissionalismo naquilo que faz. Pelos seus conselhos e correções nos momentos oportunos e por sua amizade nas horas que mais precisei.

Aos meus colegas de curso Rosinildo Fidelis, Douglas Alves, Jocelio Medeiros e Raquel Luana pela amizade, companheirismo e ajuda nos momentos de maiores dificuldades.

Aos professores do curso de Física, por cumprirem com seu ofício de lecionar e principalmente aos que o fazem com amor e dedicação, contribuindo assim para minha formação acadêmica. Dentre eles: Elialdo Andriola Machado, Jean Spinelly, Ana Raquel Ataíde, Edvaldo de Oliveira Alves (Mará), Robson Batista e Alex.

Aos amigos Fabio Brito, Joseque Moysés e Roberta Lopes pela compreensão e auxílio nos momentos que tive de me afastar de minhas atividades pastorais e principalmente pela amizade que se constitui em verdadeiro laço familiar.

A Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e a todos os funcionários.

A Coordenação, na pessoa de Sr. João (pelos excelentes serviços prestados aos alunos, professores e todos do departamento).

Ao Departamento de Física pelos serviços prestados a comunidade estudantil e pela pré-disposição em servir, meu muito obrigado.

“Em tudo somos atribulados, porém não angustiados; perplexos, porém não desanimados; perseguidos, porém não desamparados; abatidos, porém não destruídos [...].”

2 Coríntios 4, 8-9

## RESUMO

A história e a filosofia da ciência têm sido bastante defendidas como recurso didático para uma educação científica, menos dogmática e que faça sentido para os estudantes. As abordagens sobre a história e a filosofia da ciência são analisadas em vários materiais didáticos, notadamente nos livros, no sentido de identificar-se em que medidas estas abordagens são coerentes ou não com as possibilidades de uma educação científica não dogmática. Na presente pesquisa, analisaremos as abordagens sobre o interferômetro de Michelson-Morley em livros didáticos de física, destinados à educação básica brasileira. Para procedermos com a mencionada análise, utilizaremos a metodologia qualitativa, particularmente a análise de conteúdo. Como referencial teórico, utilizaremos a história e a filosofia da ciência. A partir desta pesquisa, espera-se opinar se as abordagens dos livros didáticos harmonizam-se ou não com as proposições de pesquisadores acerca de uma educação científica não dogmática.

**Palavras-Chaves:** Livros didáticos; História e Filosofia da Ciência; Interferômetro de Michelson e Morley.

## **ABSTRACT**

The history and philosophy of science have been well defended as a teaching tool for science education, therefore, less dogmatic and that makes sense for the students. The approaches about the history and philosophy of science are analyzed in several textbooks, notably in books, in order to identify in what extent these approaches are coherent, or not, with the possibilities of a not dogmatic scientific education. In this research, we will analyze approaches about the Michelson-Morley interferometer in physics textbooks for the Brazilian basic education. To proceed with the aforementioned analysis, we will use the qualitative methodology, particularly, in the analysis of the content. As a theoretical framework, we will use the history and philosophy of science. From this research, it is expected to speak out if the approaches from the textbooks are corresponding or not with the researchers' proposals about a non-dogmatic science education.

**Key Words:** Textbooks; History and Philosophy of Science; Morley Michelson Interferometer.

# SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1.....	8
Os Livros Didáticos e a Educação Científica.....	8
1.1. Algumas Influências do Livro Didático no Contexto Educacional.....	8
1.2. O Livro Didático, as Políticas Públicas Brasileiras e o Ensino de Física.....	10
1.3.História, Filosofia e Sociologia da Ciência nas Abordagens dos Livros Didáticos.....	13
CAPÍTULO 2.....	19
Percurso Metodológico.....	19
2.1. Referenciais Teóricos Mobilizados e Procedimentos Adotados.....	19
2.2. Livros Didáticos Analisados.....	20
CAPITULO 3.....	21
Alguns Aspectos do Estudo dos Movimentos no Século XIX.....	21
3.1. O Movimento Relativo da Terra.....	21
3.2. O Movimento da Terra e a Aberração da Luz .....	22
3.3. O Telescópio Cheio de Água.....	22
3.4. Os Experimentos Sobre o Movimento da Terra no Século XIX.....	24
3.5. O Experimento de Arago e a Teoria de Fresnel.....	25
3.6. A Teoria do Éter de Fresnel e a Adoção do Éter.....	25
3.7. O Experimento de Babinet.....	26
3.8. O Éter Viscoso de Stokes.....	27
3.9. O Experimento de Fizeau.....	27
3.10. O Éter na Teoria de Maxwell .....	29
3.11. O Experimento de Michelson e Morley e a Gênese da Teoria da Relatividade.....	32
CAPÍTULO 4.....	34

As Abordagens dos Livros Didáticos Sobre os Experimentos de Michelson-Morley Com o Interferômetro. Tecendo Análises.....	35
Considerações Finais.....	43
Referências.....	44

## CAPÍTULO 1

---

### Os Livros Didáticos e a Educação Científica

---

#### 1.1. Algumas Influências do Livro Didático no Contexto Educacional

Perfazendo uma retrospectiva histórica em torno do livro didático (LD) e de seu acentuado papel na educação, nos deparamos com um quase que consenso entre seus interlocutores (autores, professores, alunos, órgãos governamentais, etc.) que através de debates e discussões, identificam-no como um recurso de grande relevância, especialmente os livros didáticos de ciências.

Conforme Garcia (2010), o livro didático de ciências tem sido estudado em diferentes partes do mundo. O autor procedeu com uma análise de 77 LD de 24 países, detectando que em alguns aspectos, as pesquisas sobre o mencionado material já avançaram, trazendo contribuições significativas. Com base nas pesquisas em torno do LD nos é possível agrupar informações valiosas, como por exemplo, algumas pesquisas que descrevem o livro didático como um instrumento de poder a serviço de alguma ideologia (PIEDRAHITA, 1998); outras que consideram os livros didáticos de ciências como uma produção humana e, portanto, cultural, englobando vários discursos (MARTINS, 2003); como o principal instrumento norteador do trabalho e da prática do professor, dentro e fora da sala de aula, dirigindo e controlando de certa forma o currículo, as relações didáticas, as práticas de aprendizagem e também a avaliação no ensino de ciências (GARCIA, 1997; BIZZO *et al*, 2007).

Outro aspecto em torno do LD é de caráter econômico. No Brasil, no período entre 2009 e 2010, o MEC investiu quase dois bilhões na compra de livros para a educação básica (Brasil, 2011), os quais são distribuídos gratuitamente das escolas de ensino fundamental e médio. Pelo quantitativo monetário envolvido, há evidência da existência de uma gama de disputas das editoras em torno da participação no programa governamental de seleção e distribuição de livros didáticos.

No Brasil, o Ministério da Educação e Cultura (MEC) especifica critérios que serão avaliados por especialistas, nos livros didáticos submetidos pelas editoras a concorrência pública, lançada através de editais. Em outra etapa, o MEC publica resenhas dos livros aprovados no “Guia do Livro Didático”, que chega até as escolas públicas brasileiras. Sendo assim, entende-se que nesse processo, os professores são os agentes que procedem

apenas com uma seleção secundária dos livros que serão distribuídos em suas escolas, para a utilização dos seus alunos (BIZZO, 2007).

No que tange a política brasileira vigente de avaliação e distribuição do LD, Monteiro (2010) chama a atenção para a centralização da escolha dos livros didáticos por órgãos governamentais brasileiros, através dessa política de avaliação. O que cabe aos professores da educação básica é a escolha de alguns livros, com critérios já previamente definidos por uma equipe de avaliadores, em sua grande maioria ou totalidade, desconhecedores da realidade das salas de aulas da educação básica. Esse processo de centralização do processo de avaliação do livro didático brasileiro denota mais uma influência do neoliberalismo nas políticas educacionais, ou seja, as escolhas e determinações sendo elaboradas por agentes estranhos ao contexto.

A situação anterior evidencia que, ao professor é relegado um papel secundário na escolha do livro didático, configurando assim, o alerta de Piedrahita (1998), acerca do uso ideológico do livro didático.

O livro didático como uma produção humana serve a diversos discursos de seus múltiplos agentes e usuários, situa-se entre diferentes forças, reúne parte do imenso conhecimento produzido pela humanidade, transmitindo informações verbais e não-verbais. Ele está envolto por teorias educacionais e científicas, está impregnado de ideologias e, portanto, tanto podem formar como deformar o entendimento daqueles que fazem uso do mencionado material didático (GARCIA, 2010).

Por sua importância em relação, sobretudo à aprendizagem dos alunos, tem crescido o número de pesquisas sobre o livro didático de ciências em várias partes do mundo. Um exemplo dessa tendência é um encontro internacional sobre o livro didático de ciências (*Internationalmeeting "critical analysis of school science textbook"*) que foi promovido pela *Internacional Organizationfor Science Techology Education (IOSTE)*, o qual ocorreu na Tunísia, no ano de 2007. O evento reuniu pesquisadores de diversos países, como Argentina, Brasil, Bolívia e outros.

No Brasil, a pesquisa acadêmica sobre o livro didático de ciências (LDC) cresceu significativamente nas últimas décadas. De acordo com Fracalanza e Megid Neto (2006), tendo como objeto de análise os trabalhos sobre LDC, conforme os períodos que esses foram produzidos, registraram que no decurso entre as décadas de 1970 e 2000 foram produzidos 76 trabalhos em meio a teses, dissertações e projetos de ensino.

Nos Estados Unidos da América, por exemplo, Hubisz (2003) avaliou os LDC utilizados no ensino fundamental II (elementary school) e identificou, entre outras coisas,

erros conceituais, ilustrações inadequadas, discussão inapropriada para a faixa etária e, em algumas edições, a inexistência de atividades experimentais. No contexto europeu, Knain (2001) realizou estudos com LD noruegueses e evidenciou que os aspectos ideológicos necessitavam de uma análise mais cuidadosa. Ele mostrou que a imagem da natureza da ciência descrita para estudantes mostravam os cientistas trabalhando de forma individual e realizando descobertas através de experimentos (GARCIA, 2010).

Na Venezuela, Niaz et al (2002) mostraram que a abordagem tradicional de livros didáticos de química destaca detalhes experimentais, no entanto, ignora o modo como a ciência é construída. Na análise desses autores, os livros não incluíam as perspectivas históricas e filosóficas.

## **1.2.O Livro Didático, as Políticas Públicas Brasileiras e o Ensino de Física**

A constituição da Física enquanto disciplina do currículo da educação básica data de 1837 com a fundação do colégio Pedro II no Rio de Janeiro. De acordo com Megid Neto e Pacheco (apud Nardi, 2001) é possível perceber que ao longo desse período, as características do ensino de Física pouco mudaram. Segundo os autores, trata-se ainda de um ensino

“[...] calcado na transmissão de informações através de aulas quase sempre expositivas, na ausência de atividades experimentais, na aquisição de conhecimentos desvinculados da realidade. Um ensino voltado primordialmente para a preparação aos exames vestibulares, suportado pelo uso indiscriminado do livro didático ou materiais assemelhados e pela ênfase excessiva na resolução de exercícios puramente memorísticos e algébricos. Um ensino que apresenta a Física como uma ciência compartimentada, segmentada, pronta, acabada, imutável” (MEGID NETO e PACHECO *apud* NARDI, 2001, p.17).

Com relação aos livros didáticos de Física utilizados inicialmente no Brasil, depreende-se, pautado por Coimbra (2007), que estes apresentavam demasiada ênfase ao enfoque conceitual de forma que o conteúdo era apresentado em forma de tabela conceitual. Em 1858, é adotado no Brasil o livro de Saturino de Meireles, que tratava o conhecimento físico como um “conjunto de definições axiomáticas” (p.38). Em 1870, é adotado no Brasil o livro do francês de Adolphe Ganot, onde o conhecimento físico é abordado a partir do uso da linguagem matemática para deduções e representações de formulas. Neste livro já encontramos relatos de história da física, além de descrições de experimentos e seus resultados (MORAES, 2011).

Mudanças significativas dessa postura presentes nos livros didáticos são observadas a partir da Era Vargas (1930 a 1945) com a criação do Ministério da Educação, o qual estabeleceu o primeiro programa do livro didático, cuja função é de “deliberar sobre a liberdade de escolha, por parte dos diretores das escolas primeiras, dos livros a serem utilizados, desde que façam parte da “relação oficial das obras de uso autorizado” (COIMBRA, 2007, p. 40). Com a finalidade de analisar e avaliar quais os livros que estariam na lista dos oficialmente autorizados foi criada em 1938, por meio do Decreto de Lei nº 1.006 de 30/12/38, a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD).

Segundo Moraes (2011), a partir da década de 1950, muitas mudanças ganharam corpo no panorama educacional brasileiro, mudanças que não só afetaram o ensino de Física, mas também provocaram interferências nos materiais utilizados para promover este ensino. Por conta do processo de industrialização do país, a componente curricular Física passou a fazer parte do ensino fundamental e, isso foi interpretado como um incentivo a essa industrialização. Para Rosa e Rosa (2005) esse incentivo pautava-se no modelo de medidas adotadas pelo governo estadunidense e estendeu-se por toda a América Latina, tendo como principal característica o “domínio de conteúdos” e o desenvolvimento de atividades experimentais, subsidiadas no padrão americano.

A partir da década de 1960, ocorreu uma intensificação no fluxo de projetos americanos que apresentavam como propósito a melhoria do ensino de Física. Dos projetos utilizados o que alcançou maior destaque e influência no Brasil foi o PSSC (Physical Science Study Committee). Acerca deste, Moreira (2000), assinala:

“Não era, simplesmente, um novo livro de Física para a escola média. Era um projeto curricular completo, com materiais instrucionais educativos inovadores e uma filosofia de ensino de Física, destacando procedimentos físicos e a estrutura da Física” (p. 94).

Ainda na década de 1960, surge no Brasil a primeira Lei de Diretrizes e Bases (6024/60), que de acordo com Rosa e Rosa (2005) proporcionou investimentos na aquisição de materiais para aulas experimentais, muitas vezes através de parcerias e convênios com governos e empresas estrangeiros. A carga horária das disciplinas denominadas científicas (química, física e biologia) sofreu uma ampliação no âmbito dos ensinos fundamental e médio.

Dando continuidade a política do LD no Brasil, constatamos que, em 2003, houve a criação do Programa Nacional do Livro Didático Para o Ensino Médio (PNLEM), que

traz como objetivo “a ampliação do PNLD à luz da extensão da educação básica, que passou a abranger também, o ensino médio [...]” (PAGLIARINI, 2007, p.50).

Apesar da intensa presença e influências do LD no contexto educacional, em vários níveis de ensino, uma das principais dificuldades que interferem na atuação do professor está na escolha do livro didático que irá adotar. Assim, como profissionais da educação devemos estar atentos a toda forma de atualização de nossa prática em sala de aula, não podemos assim nos deixar levar por qualquer livro, muito menos poderemos ser dogmáticos aceitando um único tipo/coleção de livros, apenas por convenção ou por simples ir com a maioria.

No Brasil o LD tornou-se nos últimos anos um dos materiais didáticos mais utilizadas e igualmente difundidas na educação. Seu uso contribui para uma padronização do ensino, bem como no auxílio a formação e a prática do professor. O livro didático também tem sido destacado por pesquisadores da área de ensino como valioso recurso didático para o aluno (LIBÂNEO, 2002). Por isso, sua análise e seleção é certamente uma das primeiras tarefas com as quais o professor envolve-se ao ingressar na prática docente (ALVARENGA, 1991).

Acerca da utilização do LD pelos professores e estudantes, sobretudo na área de ciências, constatamos a quase inexistência de pesquisas em torno desta temática. Certamente, pesquisas nesta área seriam relevantes, sobretudo para autores e avaliadores de livros didáticos adequarem seus parâmetros de elaboração e avaliação aos critérios apresentados pelos professores.

Para que nossa escolha seja bem orientada precisaremos sempre lembrar a importância atingida pelos livros didáticos na educação, especialmente após as três últimas décadas onde mais se tem investido em livros didáticos na educação brasileira. Sobre essa importância Wuo (2003) afirma:

“Pelo seu papel de grande curricularista, pela sua importância como instrumento pedagógico para o professor, pelo seu registro concreto e imutável dos conteúdos conceituais, da ideia de ciência, etc., o livro exibe uma perspectiva indispensável para configurar o território complexo da educação escolar.” (p. 309).

Além dos papéis destacados por Wuo (op cit), podemos ainda acrescentar o favorecimento e a ampliação dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental; a busca de novos conhecimentos de forma autônoma e reflexiva e o auxílio na formação continuada dos professores com informações atualizadas (BRASIL, 2008). Mas, será que os LD propiciam esses tão pretendidos objetivos?

Alguns autores chegam mesmo a afirmar que sendo um dos recursos mais tradicionais utilizados na educação, o LD tornou-se um recurso indispensável para o ensino, da educação básica a superior. Por tão notável relevância, tem sido alvo de intensa avaliação em diferentes aspectos, que dizem respeito à influência do LD na formação conceitual e social dos discentes, tendo papel importante na veiculação de conhecimentos científicos, pois dissemina informações e atinge de maneira ampla a comunidade escolar (GUÇÃO et al, 2008).

A utilização do livro didático suscita algumas preocupações, devido algumas imprecisões detectados nas abordagens utilizadas pelos mesmos. Segundo alguns pesquisadores sua utilização não deve ser feita de maneira inflexível, como sendo ele uma referência que encerra toda a verdade dos fatos (PIMENTEL, 1998).

### **1.3. História, Filosofia e Sociologia da Ciência nas Abordagens dos Livros Didáticos**

As abordagens sobre a história e a filosofia da ciência (de agora em diante HFC) na educação científica tem sido bastante sugerida por pesquisadores e educadores, no sentido de propiciar uma educação científica mais reflexiva, menos dogmática e capaz de favorecer uma visão mais coerente da verdadeira natureza da ciência (GIL- PÉREZ et al, 2001). Algumas pesquisas apontam outras contribuições do uso da HFC no ensino de ciências:

“Situar o aluno em uma realidade científica mais ampla, inclusive, procurando desmistificar o estereótipo que se tem dos cientistas; humaniza a ciência, inclusive, abordando questões pessoais dos seus construtores; explicitar que a construção da ciência não é cumulativa, mas, que perpassa por caminhos não lineares, envolvendo controvérsias, disputas, rupturas e, inclusive, mudanças de paradigmas” (VANNUCCHI, apud BASTOS, 1998, p.256-257)

Tal importância da HFC para a educação científica de qualidade é frequentemente defendida na literatura. Como reflexo dessa recorrente defesa, originaram-se as chamadas abordagens contextuais do ensino de ciências, nas quais se propõe que a aprendizagem das ciências deve ser acompanhada por uma aprendizagem sobre as ciências (ou sobre a natureza da ciência) (MATTHEWS, 1994).

Conforme El-Hani (2006), sintomaticamente uma série de documentos internacionais de reforma curricular tem dado destaque, nas últimas décadas, à compreensão da natureza da ciência como componente central da alfabetização científica (NCC 1988; AAAS 1990, 1993; NRC, 1996; MEC 2000). Estes documentos buscam afastar-se de propostas curriculares de ciências restritas a uma “retórica de conclusões”,

proposta por Schwab, na década de sessenta do século XX, limitadas a uma apresentação dos produtos da pesquisa científica, sem terem na devida conta os processos de construção do conhecimento científico e as dimensões históricas, filosóficas, sociais e culturais da ciência (MARTINS, 2006).

Os argumentos de pesquisadores e professores acerca do uso da HFC na educação, certamente contribuíram para que a temática deixasse suas influências nos documentos oficiais brasileiros. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996) juntamente com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (Brasil, 1998) apontam para uma educação que deve privilegiar a inter-relação entre conhecimentos, valores, capacidades para resolver problemas reais e, principalmente, capacidades para reinterpretar e analisar criticamente as informações recebidas. Estas habilidades são essenciais do ponto de vista da alfabetização científica e tecnológica que proporciona ao estudante uma melhor compreensão de mundo e uma consciência a respeito de sua participação neste mundo.

Segundo os PCNEM (Brasil, 1998) “a história das Ciências [...] tem uma relevância para o aprendizado que transcende a relação social, pois ilustra também o desenvolvimento e a evolução dos conceitos a serem aprendidos ” (p.53).

No que diz respeito às competências e habilidades a serem desenvolvidas no ensino de Física, no nível médio de ensino, os PCN’s reconhecem a necessidade de uma contextualização sócio-cultural, e, por isso, defendem que esta abordagem deve “reconhecer a Física enquanto construção humana” enfatizando aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico (SILVA; TEIXEIRA, 2009).

A importância da história da ciência como um dos elementos do ensino de ciências é resultado das pesquisas em ensino de Física nos últimos anos em diversos países. Como decorrência, um campo de pesquisa importante é da investigação da forma pela qual a História da Ciência aparece nos Livros Didáticos de Física (SILVA; MARTINS, 2002).

Apesar desse esforço envolvendo práticas governamentais, educadores e pesquisadores da área, o que ainda vemos, são pequenos resumos carentes de informações relevantes sobre o contexto político-social no qual as descobertas foram se desenvolvendo. Um dos motivos para que isto ocorra é a falta de “textos de História da Ciência que contemplem as necessidades específicas do ensino de Ciências na escola fundamental e média” (BASTOS, 1998, p. 33).

Inúmeros pesquisadores alertam para a imagem da ciência veiculada nos LD. Segundo Martins (2005), muitos livros reforçam a ideia da existência de grandes gênios, valorizam apenas os conhecimentos que coincidem com os aceitos atualmente, e, além disso, muitas obras trazem uma visão empírica-indutivista sobre a dinâmica científica (SILVA; PIMENTEL, 2006).

No caso do ensino de física o uso da história da ciência tem sido alvo de calorosos debates entre os pesquisadores da área. Os motivos para defender o seu uso são os mais variados, sendo que esses convergem no sentido de situar o estudante em uma realidade mais ampla da ciência, desmistifica o status de genialidade que tem os cientistas, humaniza a ciência, torna visível a necessidade de se conhecer que o processo de fazer ciência não é acumulativo e nem linear, que a ciência envolve mudanças, controvérsias, rupturas de paradigmas (GUÇÃO *et al*, 2008; NEVES, 1998).

Devemos ressaltar que a discussão anterior vem se prolongando há bastante tempo, ou seja, a inclusão da História da Ciência nos currículos escolares tem sido o foco de discussões entre pesquisadores da área de Ensino de Física desde algumas décadas atrás (GUÇÃO, 2008).

Hansen (2002) destaca que desde a Segunda Guerra Mundial, tem sido argumentado que o raciocínio ético e filosófico deve ser parte da empreitada científica, promovendo-se nos cientistas uma compreensão das relações entre ciência e valores, como um meio de prevenir o abuso do conhecimento científico.

Em meio as incontáveis contribuições proporcionadas pela história da ciência ao ensino, muitos autores sempre orientam que a história da ciência não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas, sendo impossível explicar os conhecimentos científicos apenas a partir desse contexto, fazendo-se necessário levar também em conta os fatores internos da ciência, tais como os argumentos teóricos e as evidências experimentais disponíveis em cada momento. Segundo esses autores o estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade, um estudo dessa natureza também permite compreender que a ciência não é o resultado da aplicação de um “método científico” que permite chegar à verdade (MARTINS, 2006).

Devido as considerações anteriores e outras, nossa postura diante do trabalho científico deve ser uma postura de respeito, mas não de veneração, ou desprezo. Pois colocado em suas reais dimensões, poderá tanto despertar vocações em jovens, quanto suscitar da sociedade o apoio que merece, em suas devidas proporções (MARTINS, 2006).

Segundo Beltran (2010), o maior problema encontrado pelos educadores para introduzir em suas aulas a história da ciência é que, quando esta é abordada nos livros didáticos, é de forma separada do conteúdo, apresentando pequenas biografias daqueles que foram considerados os “grandes gênios da ciência”, ou então, concebida como uma coleção de curiosidades científicas, eventualmente utilizadas como fonte de exemplos, quando não como um conjunto de anedotas.

Para Martins (2006), os livros didáticos enfatizam os resultados aos quais, a ciência chegou – as teorias e conceitos que aceitamos, as técnicas de análise que utilizamos – mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência, como por exemplo, de que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais as ideias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado? Quais as relações entre ciência, filosofia e religião? Qual a relação entre o desenvolvimento do pensamento científico e outros desenvolvimentos históricos que ocorreram na mesma época?

Em sintonia com as sugestões de pesquisadores e educadores, as abordagens sobre a HFC pelos livros didáticos tem sido bastante investigadas, conforme evidenciado pela literatura específica, notadamente, em livros didáticos brasileiros, conforme evidenciado a seguir.

Medeiros e Monteiro (2002), por exemplo, analisaram as abordagens históricas sobre as ideias de Copérnico em 31 livros didáticos de física da educação básica brasileira. Os autores constataram graves omissões e distorções na apresentação do trabalho de Copérnico, evidenciando que os pressupostos e limitações da referida teoria são geralmente ignoradas pelos livros didáticos analisados.

Cassiano (2007) analisou 16 coleções de livros didáticos de física para o ensino médio, editadas desde a década de 1980 até 2006. Constatou nessa análise a presença de narrativas históricas distorcidas, mitos científicos, além de diversos erros na maioria das coleções didáticas analisadas. Algumas delas ainda apresentam ideias erradas, do ponto de vista epistemológico, sobre a natureza da ciência.

Cassiano (2007) ainda discorre que a análise dos livros didáticos feita pelo PNLEM pode exercer alguma influência sobre a qualidade dos conteúdos de história e filosofia da ciência. Isso porque algumas das coleções aprovadas sofreram reestruturações

a fim de se enquadrarem ao seu edital e aparecem com conteúdos mais elaborados e abordagens mais criteriosas a respeito da história e filosofia da ciência.

Gução et al. (2008) ao analisarem quatro livros didáticos do ensino médio tendo como eixo norteador a avaliação, identificação e discussão das distorções da história da ciência a respeito do conteúdo de eletrostática conjectura que os livros analisados apresentam várias informações distorcidas e alguns erros, bem como atribuem autorias de “descobertas” de forma equivocada.

Silva e Pimentel (2006) em uma análise de 12 livros didáticos referentes ao ensino fundamental e médio tendo como objetivo de avaliar a forma com que a história da eletricidade é narrada e também a visão sobre a natureza da ciência que decorre destas narrativas. Os resultados da análise permite pontuar que em todos os livros consultados há problemas de cunho histórico e epistemológico. Entre os problemas, destacam-se a existência de erros e imprecisões históricas; a atribuição de feitos e conceitos a um único personagem, no caso Benjamin Franklin, dando a impressão de que somente ele contribuiu para a construção do conhecimento científico aceito atualmente sobre a eletricidade; a presença de uma abordagem indutivista que leva a crer que as teorias científicas são construídas a partir de experimentos, apenas.

Em sintonia com as pesquisas que avaliam as abordagens históricas pelos livros didáticos, no presente trabalho, analisaremos os sentidos atribuídos ao papel desempenhado pelas realizações experimentais desenvolvidas com o interferômetro por Michelson-Morley, nas abordagens dos livros didáticos de física no ensino médio. Focaremos, principalmente, na detecção das possíveis distorções conceituais, interpretativas e como os mesmos entendem o papel da ciência e dos experimentos para o ensino de ciências.

Nosso objetivo ao propor esta análise está centrado na compreensão de como o experimento do interferômetro de Michelson-Morley é trabalhado e descrito nos livros didáticos buscando responder a perguntas como:

- *Quais os propósitos da construção do interferômetro de Michelson-Morley nas abordagens dos livros didáticos de física?*
- *Como os autores dos livros didáticos de física interpretam os resultados inesperados das atividades experimentais desenvolvidas com o interferômetro de Michelson-Morley?*
- *Como os livros didáticos de física associam a construção do interferômetro de Michelson-Morley com a elaboração da Teoria da Relatividade Restrita?*



## CAPÍTULO 2

---

### Percurso Metodológico

---

#### 2.1 Referenciais Teóricos Mobilizados e Procedimentos Adotados

Até então, temos discutido a importância do livro didático para o ensino, especialmente o ensino de ciências, e evidenciado aspectos que tornaram a história e a filosofia da ciência um canal de importância singular para o ensino e a aprendizagem da ciência. Além disso, fizemos menção às pesquisas de vários autores que trabalham com a história e filosofia da ciência e sua utilização no contexto educacional.

A primeira etapa desse trabalho consistiu na construção de uma fundamentação teórica capaz de situar o episódio histórico dentro de seu contexto, bem como explicitar a relação entre esse experimento e o surgimento da Teoria da Relatividade. Em um segundo momento, buscamos também uma descrição sucinta do experimento, ressaltando os motivos que levaram a construção desse instrumento.

Em seguida tomando como ponto de partida a fundamentação teórica, faremos uma comparação entre essa fundamentação e os relatos abordados nos livros didáticos. A partir dessa comparação, busca-se encontrar respostas para as questões de pesquisa.

Esta pesquisa se constitui como um trabalho de caráter qualitativo, onde buscamos entender e compreender de maneira mais aprofundada o objeto em estudo, e não buscou-se uma quantificação de dados e nem do objeto de estudo, em si (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Como metodologia de investigação, optamos pela metodologia da Análise Textual Discursiva (ATD). A qual:

“é uma abordagem de análise de dados que transita entre duas formas consagradas de análise na pesquisa qualitativa que são a análise de conteúdo e a análise de discurso. Existem inúmeras abordagens entre esses dois pólos, que se apoiam de um lado na interpretação do significado atribuído pelo autor e de outro nas condições de produção de um determinado texto” (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 118).

A partir da perspectiva anterior, podemos aferir que a ATD “Corresponde a uma metodologia de análise de dados e informações de natureza qualitativa com a finalidade de produzir novas compreensões sobre os fenômenos e discursos” (MORAES; GALIAZZI, apud STRIEDER e KAWAMURA, 2012, p. 4).

Justificamos nossa escolha pela metodologia (ATD) pelo fato de sua “proposta combinar análise rigorosa e síntese subsequente, permitindo a reconstrução do texto/discurso de forma a ampliar seus significados, especialmente no sentido da reconstrução dos discursos implícitos” (STRIEDER e KAWAMURA, 2012, p. 4).

## 2.2 Livros Didáticos Analisados

Para a realização da pesquisa, selecionamos 7 livros didáticos de física mais especificamente do terceiro ano do ensino médio em virtude de, ser apenas nesse nível de ensino, que a maioria dos livros didáticos abordam a Física Moderna e Contemporânea. Os sete livros são respectivamente nomeados como LD<sub>1</sub>, LD<sub>2</sub>, /.../ LD<sub>6</sub> e LD<sub>7</sub>.

Escolhemos esses livros por terem sido selecionados pelo PNLEM de 2010, além de serem bastante utilizados nas escolas de ensino médio da cidade de Campina Grande – PB.

As referências das sete obras analisadas são apresentadas na Tabela 1, a seguir, orientadas em ordem alfabética de seus títulos.

<b>Livro Didático</b>	<b>Referência</b>
LD <sub>1</sub>	GASPAR, Alberto. <b>Compreendendo a Física</b> : ensino médio. São Paulo: Ática, 2010.
LD <sub>2</sub>	SANT'ANNA, Blaidi; MARTINI, Gloria; REIS, Hugo Carneiro; SPENELLI, Walter. <b>Conexões com a Física</b> . São Paulo: Moderna, 2010.
LD <sub>3</sub>	MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. <b>Curso de Física</b> : ensino médio. São Paulo: Scipione, 2010.
LD <sub>4</sub>	SILVA, Cláudio Xavier da; BARRETO FILHO, Benigno. <b>Física Aula por Aula</b> : eletromagnetismo, ondulatória, Física Moderna. São Paulo: FTD, 2010.
LD <sub>5</sub>	TORRES, Carlos Magno A; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. <b>Física – Ciência e Tecnologia</b> . São Paulo: Moderna, 2010.
LD <sub>6</sub>	OLIVEIRA, Mauricio Pietrocola Pinto de. POGIBIN, Alexander; ANDRADE, Renata; ROMERO, Talita Raquel. <b>Física em Contextos</b> : Pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria. São Paulo: FTD, 2010.
LD <sub>7</sub>	FUKE, Luiz Felipe; YAMAMOTO, Kazuhito. <b>Física para o Ensino Médio</b> . São Paulo: Saraiva, 2010.

**Tabela 1: Livros didáticos analisados e suas respectivas referências.**

## CAPÍTULO 3

---

### Alguns Aspectos do Estudo dos Movimentos no Século XIX

---

#### 3.1. O Movimento Relativo da Terra

Ao longo do século XVIII, o pensamento newtoniano firmou-se como estrutura conceitual hegemônica, adquirindo posição de preceito filosófico. A estrutura conceitual da mecânica newtoniana tornou-se prevalecte nas explicações dos movimentos celestes e terrestres. O ideal de explicação mecânica contido nas pressuposições newtonianas foi acolhido em várias outras áreas, como por exemplo, na termologia, na hidrodinâmica e na óptica (MONTEIRO, 2010).

A condição de equivalência entre o estado de repouso e o estado de movimento dos corpos faz emergir a identificação entre repouso e movimento. No entanto, surge a questão: movimento e repouso em relação a que? Tanto para a física aristotélica quanto para a teoria do *impetus*, tal questionamento era destituído de sentido. Em ambas as teorias, tanto a aristotélica quanto a do *impetus*, a Terra ocupava o centro do universo, sendo considerada o referencial absoluto, tanto para o repouso quanto para o movimento dos corpos (GRANT e KUHN, Apud MONTEIRO, 2010).

Em seu trabalho sobre os movimentos, Newton utiliza referenciais absolutos, explicitamente através do princípio da inercia (NEWTON, Apud MONTEIRO, 2010). Com base na mecânica newtoniana o estado de repouso ou de movimento de um corpo só deve ser considerado em relação aos referenciais absolutos.

Com relação aos preceitos de espaço absoluto newtoniano Monteiro (2010), discorre:

“A existência do espaço newtoniano independe de qualquer corpo material nele contido. Ele é absoluto na medida em que não requer corpos materiais para se constituir. No entanto, os corpos materiais requerem necessariamente a existência do espaço enquanto condição prévia, pois esses somente podem existir no espaço. O espaço tem, portanto, uma primazia em relação aos objetos materiais, daí o seu caráter absoluto” (p.112).

A existência de um referencial para os movimentos já havia sido tratada por Galileu (1564-1642). Ele havia considerado a impossibilidade de se detectar movimento de translação em relação a referenciais contidos nos próprios experimentos mecânicos (MONTEIRO, 2010).

#### 3.2. O Movimento da Terra e a Aberração da Luz

Pressupondo-se que a Terra se move em torno do Sol (como apontavam os copernicanos), era razoável esperar que surgissem efeitos visíveis deste movimento, como por exemplo, a paralaxe estelar. Em diferentes épocas do ano, as estrelas estariam sendo vistas a partir de diferentes posições da terra em sua órbita, e isso deveria produzir variações angulares em suas posições.

Segundo Martins (2012), Thomas Digges em 1573 apontou a importância de testar essa consequência, e muitos pesquisadores afirmaram depois, que haviam observado paralaxes estelares, apesar de alguns como Tycho Brahe e Riccioli não acreditarem na existência desse efeito.

No período que se seguiu outros pesquisadores como James Bradley (1692-1762) e Samuel Molyneux começaram a se dedicar ao problema da paralaxe estelar, visando resolver e definir se ela existia ou não (STEWART, 1964). Após vários meses de observação e estudo, detectaram variações da posição de determinada estrela, mas a direção desta variação não era a esperada.

Em 1727, Bradley propôs uma explicação considerada adequada para o fenômeno observado. O efeito seria devido ao movimento da Terra, mas que não correspondia à simples mudança de posição do observador, e sim era um efeito devido à velocidade da Terra, que foi denominado “aberração” (PEDERSEN, 1980).

Os argumentos e a interpretação de Bradley foram aceitos rapidamente. Embora não se deixasse explícito, o ponto de vista defendido por Bradley supunha que a luz se comportava como um conjunto de partículas.

Conforme Medeiros e Monteiro (2010), Fraunhofer planejou e construiu vários instrumentos óticos. Dentre eles, o heliômetro, com o qual Bessel pode determinar a primeira paralaxe trigonométrica estelar em 1842, evidenciando assim a precisão do instrumento. A ausência da paralaxe estelar mostrava-se como uma contra-evidência à aceitação do modelo heliocêntrico de Copérnico, na segunda metade do século XVI (MEDEIROS e MONTEIRO, 2002).

### **3.3. O Telescópio Cheio de Água**

Já vimos que o desvio angular sofrido pela luz por conta do movimento da terra (ou ângulo de aberração) depende da velocidade da luz e da velocidade da Terra. Em 1753, Thomas Melvill fez o seguinte questionamento: a aberração estelar depende da relação  $v/c$ , mas  $c$  é a velocidade da luz no espaço vazio, ou na atmosfera, ou no olho do

observador? (PEDERSON, 2000). A velocidade da luz no espaço entre as estrelas e a Terra é  $c$ , já na atmosfera terrestre é menor que  $c$  devido à refração da luz pelo ar, entretanto, a diferença é pouco significativa. Podemos supor, no entanto, que com o telescópio cheio de água haveria um efeito de aberração diferente, uma vez que na água, a velocidade da luz é bem diferente de  $c$ , já que o índice de refração da água é aproximadamente  $4/3$ , ou seja, diferente de 1.

O primeiro a propor uma experiência no sentido anterior, foi Roger G. Boscovich (1711-1787), em 1766. Boscovich previu, teoricamente, um acréscimo na aberração, se fosse assumida a hipótese corpuscular para a refração e um decréscimo para o caso de valerem as concepções ondulatórias. Todavia, Boscovich nunca realizou esses experimentos (MARTINS, 2012).

Martins (2012) destaca que a questão é importante sob três aspectos: primeiramente, por que o valor da velocidade da luz dentro da água nunca havia sido medido, e esse valor seria menor do que  $c$ , de acordo com a teoria ondulatória. Assim a luz seria uma vibração que se propaga em um determinado meio que preenche o espaço (o éter) e nada impediria, ao menos a priori, que se concebesse a possibilidade de medir a velocidade da Terra em relação a este éter. Esse valor seria maior que  $c$ , de acordo com a teoria corpuscular da luz. Para este caso a aberração terrestre não poderia existir, já que os fenômenos mecânicos obedecem ao princípio da relatividade e de acordo com essa hipótese a luz seria um fluxo de partículas de alta velocidade que obedeceriam as leis da mecânica. Sendo assim, muitos pesquisadores passaram a imaginar que talvez através do estudo da aberração da luz em um telescópio cheio de água fosse capaz de determinar qual a teoria correta.

Em segundo lugar Martins (2012) aponta que, se a aberração em um telescópio com água fosse diferente da aberração em um telescópio cheio de ar, a comparação entre os dois ângulos permitiria determinar a velocidade da Terra em um dia qualquer, sem ser necessário comparar medidas obtidas ao longo de vários meses.

Um terceiro ponto destacado por Martins (2012) tornava a questão ainda mais curiosa: talvez fosse possível medir um efeito de aberração utilizando uma fonte luminosa observada com dois telescópios – um deles cheio de água, e o outro cheio de ar (PEDERSEN, 1980). Se fosse possível medir a aberração terrestre tal fenômeno violaria o princípio da relatividade, permitindo determinar a velocidade de translação da terra por medidas feitas na própria terra.

Todavia, o experimento não pôde ser realizado na época, tendo em vista que tais telescópios eram de difícil construção e manuseio.

### **3.4. Os Experimentos Sobre o Movimento da Terra no Século XIX**

Até o século XVIII e início do século XIX, era praticamente unânime a opinião de que a luz era constituída de partículas muito rápidas que saiam dos corpos luminosos. A teoria corpuscular para a luz foi desenvolvida por Isaac Newton (1642 - 1727), a predominância dessa teoria durante vários anos é apontada por muitos autores como um reflexo do paradigma mecanicista newtoniano que favorecia a aceitação da teoria, assim como a autoridade estabelecida pela figura do próprio Newton.

A situação começa a mudar quando no início do século XIX, são estudados fenômenos de difração e interferência que só puderam ser devidamente explicados supondo-se que a luz era constituída por ondas. Essa nova ideia já defendida no século XVII por Descartes, Huygens, Hook, e muitos outros é no início do século XIX retomada, graças aos trabalhos de Thomas Young (1773 - 1829) e de Augustin Fresnel (1788 - 1827). A grande questão agora era que se a luz é uma onda assim como o som, ela necessita de um meio no qual possa se propagar, era inadmissível imaginar que as ondas pudessem se propagar no espaço vazio. Todos os fenômenos ondulatórios até então conhecidos, demandavam um meio material para a propagação das ondas. Essa concepção, também foi seguida por Fresnel e Young, os quais adotaram o éter como meio através do qual as ondas luminosas propagar-se-iam (MONTEIRO, 2010). De acordo com Monteiro (2010) existiam uma grande e variada gama de propriedades atribuídas ao éter com o intento de salvar a teoria e explicar os fenômenos adversos.

“O éter como meio material para a propagação da luz requeria certas propriedades especiais. Deveria ser transparente, visto não ser percebido; deveria ter propriedades elásticas, com o intuito de assegurar a propagação das ondas luminosas; ser bastante rígido, no sentido de resistir a altas velocidades de propagação da luz; não deveria ter peso; como também deveria ter baixa resistência no sentido de não interferir em alguns movimentos, como por exemplo, os movimentos planetários. Assim, propriedades cada vez mais complexas iam sendo atribuídas ao éter no sentido de ser capaz para acomodar uma grande gama de fenômenos, tais como os fenômenos óticos, os elétricos e os magnéticos” (MONTEIRO, 2010, p. 114).

Mesmo com toda a complexidade teórica advinda da teoria do éter, perceberemos com discursões posteriores que era uma teoria bem fundamental tanto no que tange seus aspectos metodológicos quanto no que diz respeito aos seus estudos experimentais.

### **3.5. O Experimento de Arago e a Teoria de Fresnel**

Francois Jean Dominique Arago (1786 – 1853) em 1809, realizou um experimento onde procurou observar algum efeito do movimento da Terra sobre a luz, medindo a deflexão que a luz das estrelas sofria ao passar por um prisma. Se este efeito realmente existisse, ele não violaria o princípio da relatividade, mas permitiria aferir a velocidade da Terra em relação às estrelas. No entanto, ao realizar o experimento, o resultado previsto não foi observado (MARTINS, 2012).

A análise do experimento de Arago admitia a validade da teoria newtoniana da luz (corpuscular). Em 1817, na França, a Academia de Ciências, da qual Arago era presidente, havia proposto um prêmio para o melhor trabalho sobre o fenômeno da difração. Contrariando a maior parte das expectativas o trabalho de Fresnel que defendia a teoria ondulatória recebeu o prêmio, em 1818. Arago decidiu consultar Fresnel a respeito de seu experimento, questionando-o se seria possível explicar o efeito nulo resultante, através da teoria ondulatoria. Fresnel respondeu positivamente.

Mais do que explicar o experimento de Arago, a resposta de Fresnel apresentava uma teoria detalhada da relação entre os corpos transparentes e o éter luminífero, lançando a base para uma óptica dos corpos em movimento (MAYARARGUE, 1990).

### **3.6. A Teoria do Éter de Fresnel e a Adoção do Éter**

A teoria de Fresnel supunha que o éter preenche todos os espaços aparentemente vazios do universo, e que, nestas regiões, ele estaria em repouso. O éter, geralmente, não seria movido pelos corpos que se deslocariam através dele, como a Terra. Nessas regiões sem matéria (ou com matéria dotada de propriedades especiais), a luz se propagaria sob a forma de ondas, no éter estacionário. No entanto, deveria haver algum tipo de interação entre o éter e os corpos transparentes. De fato, se a luz é uma onda no éter e, se a velocidade da luz é menor dentro dos corpos transparentes, então o éter dentro dos corpos transparentes não poderia ter as mesmas propriedades que possui fora delas. Por analogia com o som, a velocidade da luz no éter deveria depender da pressão e da densidade deste meio, sendo a luz mais lenta nas regiões onde a pressão fosse menor, ou a densidade fosse

maior. Para Fresnel era a densidade do éter que variava, e que ele seria mais denso dentro dos corpos transparentes (MARTINS, 2012).

Analisando aspectos da teoria de Fresnel, podemos concluir que ela é complexa e quantitativa, não se limitando a simples especulações sobre o éter (MARTINS, 2012).

Utilizando sua teoria, Fresnel analisou, então, tanto a proposta de experimento do telescópio cheio de água, quanto o experimento de Arago. Mostrou que nos dois casos existem diversos efeitos que se anulam, e que em ambas as situações não é possível medir nenhum efeito do movimento da Terra através do éter (OLIVEIRA, *apud* MARTINS, 2012).

### **3.7. O Experimento de Babinet**

Se algum efeito (do movimento da terra) fosse detectado por experimentos como o do telescópio cheio de água e o de Arago, esse mostraria influências proporcionais à primeira potência da velocidade da terra através do éter – ou seja, efeitos de primeira ordem (MANSOURI e SEXL, 1977). Sendo a velocidade orbital da Terra algo em torno de 10 000 vezes menor do que a velocidade da luz no espaço sem matéria e, estes efeitos, de primeira ordem são da ordem de  $v/c = 0,0001 = 10^{-4}$ . São efeitos pequenos, mas mensuráveis sem grandes complicações técnicas.

Em 1839, Jacques Babinet (1794 - 1872) realizou um novo experimento de primeira ordem, comparando, através de um método interferométrico, as velocidades da luz dentro de um bloco de vidro (BABINET, *apud* MARTINS, 2012), nos casos em que a luz se move no sentido do movimento da Terra, e no sentido oposto. A análise quantitativa do fenômeno, utilizando a teoria ondulatória da luz, parecia indicar que deveria surgir um efeito mensurável proporcional à velocidade da Terra. No entanto, nenhum efeito foi observado.

Embora Babinet não tenha aplicado a teoria de Fresnel ao seu experimento, é possível evidenciar que, levando-se em conta o arrastamento parcial do éter pelo vidro, prevê-se um efeito nulo desse experimento (MARTINS, 2012).

### **3.8. O Éter Viscoso de Stokes**

A teoria de Fresnel (sobre o éter) era considerada bastante complexa, e até 1840, persistiam alguns problemas com relação a velocidade de propagação da luz em diferentes meios. Em 1845, George Gabriel Stokes (1819-1903) apresentou uma nova teoria, de maior simplicidade que a de Fresnel em vários aspectos (SWENSON, *apud* MARTINS, 2012).

A teoria de Stokes propunha que o éter seria como um material viscoso, que aderiria a superfície dos corpos, sendo quase totalmente arrastado pela Terra, ficando em repouso em relação a ela na região próxima ao solo. Esse arrastamento fazia com que, qualquer experimento óptico puramente terrestre, independesse do movimento da Terra. Assim, explicaria o resultado nulo dos experimentos de Boscovich, Arago e Babinet. Em 1846, Stokes proporia uma generalização para os resultados acima descritos:

“Embora a terra se mova através do éter e a luz seja transmitida pelo éter, os fenômenos ópticos, reflexão, refração e propagação retilínea, não permitem detectar esse movimento” (STOKES, *apud* MARTINS, 2012).

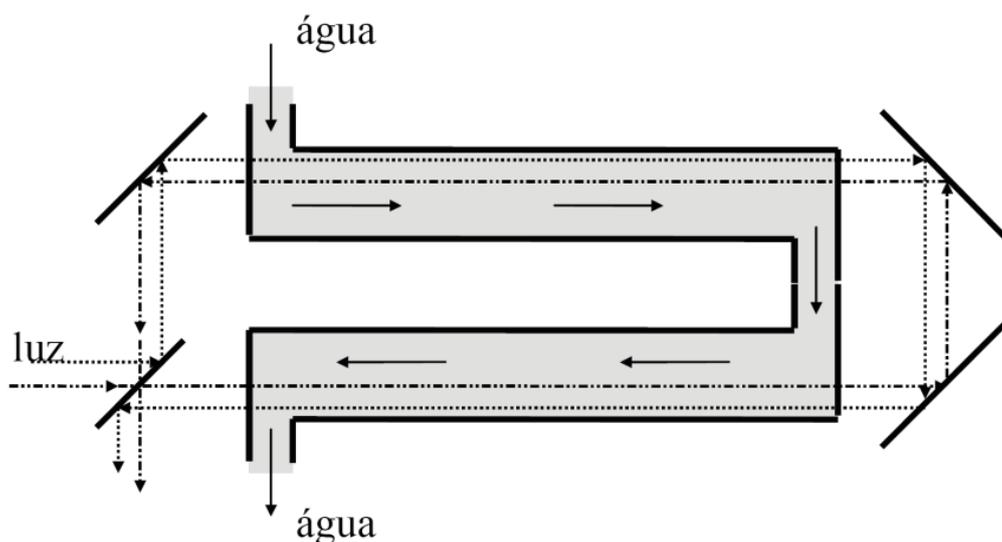
No que diz respeito ao exposto acima podemos notar que, embora, em princípio, pudesse ser observado o movimento da Terra ou de outro sistema em relação ao éter, as duas mais importantes teorias do éter (a de Fresnel e a de Stokes) levavam à conclusão de que este movimento não seria observável, na prática – seja por causa do arrastamento do éter (na teoria de Stokes), seja pelo cancelamento de vários efeitos ópticos diferentes. Assim, a maior parte dos experimentos realizados durante o século XIX não deveria produzir resultados positivos, de acordo com essas teorias – e, de fato, isso foi o que ocorreu na maior parte dos casos (MARTINS, 2012, p. 69).

### **3.9. O Experimento de Fizeau**

Em 1850, Jean-Bernard-Leon Foucault (1819-1869) e Armand-Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896) fizeram as primeiras medidas terrestres da velocidade da luz, utilizando métodos diferentes, mas obtendo resultados concordantes. No mesmo ano, Foucault conseguiu aferir a velocidade da luz na água e evidenciar que ela era menor que no ar, corroborando, assim, a previsão da teoria ondulatória da luz (TOBIN, *Apud* MARTINS, 2012).

Em 1851, Fizeau realizou, com o auxílio de Foucault (COSTABEL, *Apud* MARTINS, 2012), um novo experimento, com o objetivo de testar a teoria de Fresnel. A ideia seria medir o efeito do arrastamento da luz por meios transparentes em movimento.

Com intuito de ilustrar e explicar o trabalho de Fizeau apresentamos o esquema abaixo (Fig. 1).



**Figura 1: Esquema do Experimento de Fizeau.**

Uma corrente de água percorre um tubo em U, cujas extremidades são fechadas por meio de vidros, de tal modo a permitir a passagem da luz por dentro da água. Um feixe inicial, monocromático, é dividido antes de entrar no aparelho e cada uma das suas metades percorre o mesmo caminho por dentro da água, porém, em sentidos opostos. Como um dos feixes caminha no mesmo sentido que a água, ele deveria ter maior velocidade do que se estivesse parado, segundo a teoria de Fresnel, e o outro teria uma velocidade menor.

No experimento anterior de Fizeau, primeiramente, observa-se a interferência entre os dois feixes com a água parada. Posteriormente, a água era colocada em movimento, e procurava-se observar um deslocamento das franjas de interferência. Se a teoria de Fresnel fosse coerente, haveria um deslocamento que podia ser calculado. Se não fosse coerente, não deveria ocorrer o efeito.

O resultado experimental combatibilizou-se com a previsão teórica, mostrando um efeito que foi interpretado como devido ao arrastamento parcial do éter pela água (SELLERI, *apud* MARTINS, 2012). A experiência realizada com o ar, ao invés da água, apresentou, também, um resultado compatível com a teoria, ou seja, não se percebeu nenhum efeito, porque o arrastamento era muito pequeno. Portanto, o experimento de Fizeau de 1851 trouxe uma importante contribuição: uma forte confirmação da teoria de Fresnel (BUCHWALD, *apud* MARTINS, 2012).

Outros pesquisadores procuraram verificar o movimento da Terra através do éter, por meio de muitos outros métodos. Graças a esses muitos experimentos que acabaram proporcionando resultados positivos, havia bons motivos para acreditar na teoria do éter de Fresnel (MARTINS, 2012).

### 3.10. O Éter na Teoria de Maxwell

Em 1878, o físico escocês J. C. Maxwell (1831-1879) publicou novos métodos experimentais para determinar a velocidade da Terra através do éter. Um desses métodos era baseado na medida do tempo que a luz levaria para ir e voltar entre dois pontos, quando o deslocamento da luz ocorria paralelo e perpendicularmente à direção da velocidade da Terra. O efeito seria de segunda ordem em  $v/c$ , ou seja, da ordem de  $10^{-8}$ , o que tornava-o praticamente impossível de ser medido.

Maxwell adotou o pressuposto de que as ações elétricas e magnéticas não se transmitiam à distância. Inicialmente, adotou a idéia de linhas de força, as quais possibilitavam uma explicação mecânica para a existência das forças eletromagnéticas<sup>1</sup>. Essa pressuposição de Maxwell encontrou resistência entre os adeptos da ação à distância, a qual era aceita sem maiores questionamentos aos preceitos da mecânica newtoniana (MONTEIRO, 2010).

Maxwell também admitia a existência de um meio para a propagação das ondas eletromagnéticas, concepção que era bastante aceita na época. Assim inferiu que as ações eletromagnéticas seriam tensões no meio, ou ao longo das linhas de força. Logo, dedica-se a examinar o meio e as condições de propagação em que as ações eletromagnéticas eram transmitidas, apesar de já ter admitido a existência das linhas de força.

Monteiro (2010) aponta que, com o propósito anteriormente citado, Maxwell investiga a velocidade de propagação dos distúrbios eletromagnéticos no meio. Obtém como resultado um valor próximo daquele que havia sido obtido por Hyppolite Fizeau (1819 - 1896) para a velocidade de propagação da luz no ar, ao final da década de quarenta do século XIX. A partir desta constatação, Maxwell conjecturou que o meio eletromagnético no qual se propagavam as ondas eletromagnéticas seria o éter luminífero.

---

<sup>1</sup>Em seu primeiro artigo, publicado em 1855, “Sobre as Linhas de Força de Faraday”, Maxwell empreende analogias entre os modelos de linhas de força elétrica e magnética com as linhas de corrente da hidrodinâmica. Nessa relação, a carga positiva funcionava como uma fonte e a carga negativa, como um sumidouro (MONTEIRO, 2010).

Logo, o meio nos quais se pressupunha que a luz e as ondas eletromagnéticas se propagariam, eram na verdade um único meio.

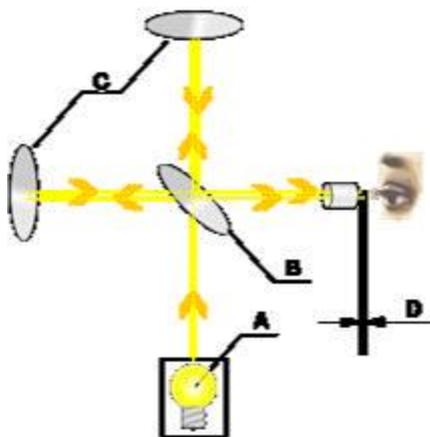
A partir da perspectiva sugerida por Maxwell, em 1881 o físico alemão Albert Abraham Michelson (1852 - 1931) realizou experimentos para detectar o vento do éter, ou melhor dizendo, como a Terra se movimentaria através do éter, previa-se, teoricamente, que a velocidade da luz em relação a terra fosse diferente em diferentes direções.

Apesar de toda a preparação o experimento de 1881, o experimento de Michelson apresentou resultados não esperados. Então, em 1886, Michelson retomou o problema de detecção do éter refazendo o experimento de Fizeau, o qual ainda não havia sido reproduzido até então, chegando às mesmas conclusões de Fizeau (MICHELSON e MORLEY, 1886).

De acordo com Monteiro (2010) não obtendo os resultados esperados, Michelson fundamenta-se em Stokes e dizia já haver encontrado uma experiência crucial para diferenciar o éter estacionário do éter viscoso.

Em 1887, Michelson une-se ao norte-americano Edward Williams Morley (1838 - 1923) e refazem o experimento em Cleveland. Para aumentar a sensibilidade das medidas, Michelson e Morley assentaram o novo interferômetro sobre um sistema de placas de granito, flutuando em mercúrio líquido. O caminho ótico da luz foi aumentado através de diversas reflexões em espelhos. Através deste novo arranjo experimental, a sensibilidade do interferômetro foi aumentada em dez vezes em relação ao que havia sido utilizado por Michelson em 1881. Porém, os resultados não se alteraram, ou seja, o movimento da Terra mostrava-se nulo em relação ao éter.

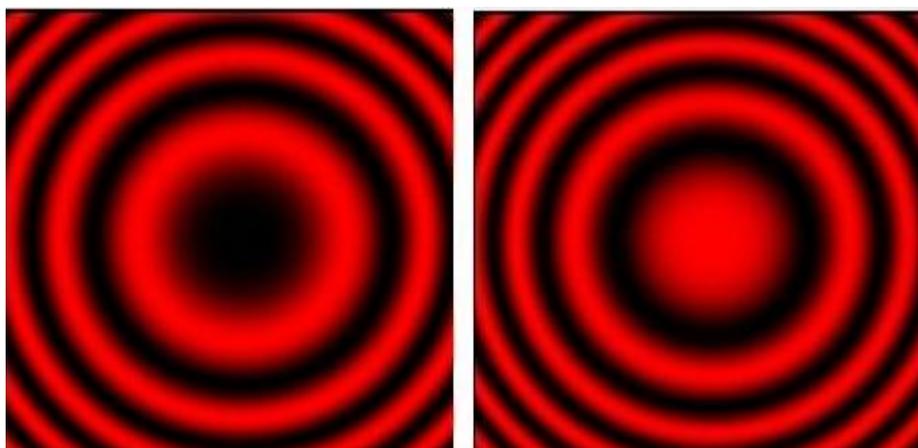
O interferômetro de Michelson-Morley de 1887, conforme Karam (2005) era capaz de determinar com precisão alterações nas diferenças de tempo de trânsito de dois feixes de luz, originários de um mesmo feixe decomposto, percorrendo circuitos diferentes e se reencontrando num mesmo ponto final. Em outras palavras, seu método consistia em comparar o intervalo de tempo necessários para a luz percorrer a mesma distância, paralela ou transversalmente à direção do movimento da terra em relação ao éter, pois a velocidade da luz não seria isotrópica. Michelson pretendia dividir um feixe de luz em direções perpendiculares entre si e mostrar que os mesmos deveriam percorrer distâncias iguais em tempos diferentes em virtude da diferença de suas velocidades em relação a terra. Com o intuito de ilustrar o experimento apresentamos a figura 2.



**Figura 2:** Visão esquemática do experimento de Michelson-Morley. Os espelhos C refletem totalmente os raios de luz incidentes, os quais, partem de A. São separados em B, um espelho semi-transparente e detectados em D.

Fonte: [http://es.wikipedia.org/wiki/Experimento\\_Michelson-Morley](http://es.wikipedia.org/wiki/Experimento_Michelson-Morley)

A alteração na defasagem dos feixes quando o aparato é girado, ao se combinarem na luneta, varia ao longo do perfil ortogonal ao feixe combinado. A imagem resultante deve mostrar franjas de interferência análogas às que aparecem na experiência de Young, representadas na Figura 3. Se a variação de fase for igual a  $2\pi$ , o padrão de interferência se deslocaria lateralmente de um valor igual à separação das franjas, de forma que o padrão recairia sobre si próprio (Figura 3 b). Na experiência de Michelson e Morley, foi usada luz amarela  $\lambda = 0,6 \text{ mm}$  e o deslocamento previsto era de 40 % da separação das franjas (havendo defasagem no padrão, esperava-se encontrar o centro escuro devido à interferência destrutiva, como na Figura 3 a). Nenhum deslocamento foi observado, como ilustra a Figura 3 b, embora qualquer deslocamento superior a 1% da separação pudesse ser detectado.



**Figura 3:** a) Espectro esperado no interferômetro b) Espectro obtido.

### 3.11. O Experimento de Michelson e Morley e a Gênese da Teoria da Relatividade

Morley como prova que a hipótese da existência do éter era falsa e que, portanto, não existia um sistema de referência absoluto, segundo esses relatos o experimento de Michelson e Morley derruba a física clássica que pressupunha um sistema de referência absoluto (como o espaço absoluto de Newton) e o tempo absoluto. Segundo os mesmos Albert Einstein (1879 - 1955) aceita o resultado experimental da constância da velocidade da luz, pondo-o como um dos postulados fundamentais da teoria da relatividade restrita de 1905 (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006).

Um desses relatos mais conhecidos é o de Robert Millikan (1868-1953), prêmio Nobel de Física de 1923, segundo Millikan:

“A teoria da relatividade restrita pode ser considerada... essencialmente uma generalização a partir do experimento de Michelson[...] Descartando todas as concepções a priori sobre a natureza da realidade [...] Einstein tomou como ponto de partida fatos experimentais cuidadosamente testados [...] independentemente deles parecerem no momento razoáveis ou não [...] Mas este experimento [de Michelson-Morley], depois de ter sido realizado com extraordinária habilidade e refinamento pelos seus autores, deu a resposta definitiva [...] que não existe nenhuma velocidade observável da Terra em relação ao éter. Este incrível e aparentemente inexplicável fato experimental perturbou violentamente a Física do século XIX e por quase vinte anos os físicos [...] se esforçaram por torná-lo razoável. Mas Einstein nos chamou a atenção: vamos aceitá-lo como um fato experimental estabelecido e tirar as suas inevitáveis consequências [...] Assim nasceu a teoria da relatividade restrita” (MILLIKAN, *apud* VILLANI, 1981, p. 36).

Outros autores chegam a enfatizar que a experiência de Michelson foi fundamental para a teoria da relatividade (LAUE, *apud* HOLTON, 1969, p. 971). Segundo Pais (1995), Einstein não apenas sabia do resultado do experimento, como também esse trabalho influenciou a teoria da Relatividade Restrita, alguns pesquisadores acreditam ainda que a teoria einsteiniana depende inteiramente do resultado da experiência de Michelson e pode ser derivada dela (PETZOLD, *apud* THUILLIER, 1994), no entanto precisamos ressaltar que não há um consenso, mas pelo contrário, há discussões infundáveis, entre os historiadores da física, sobre se Einstein realmente conhecia esse experimento e lhe atribuía tanta importância assim, em 1905 (MARTINS, 2005).

Segundo o historiador da ciência Gerald Holton, a visão de que o resultado da experiência tenha sido o principal responsável pela gênese da relatividade é totalmente equivocada, baseada em uma concepção *experimentalista* de ciência que supervaloriza os resultados experimentais e que acredita que as novas teorias são respostas a anomalias detectadas experimentalmente.

Segundo Villani (1981), A vinculação didática da teoria da relatividade ao experimento de Michelson-Morley parece ter desempenhado, na época, importante papel para a sua aceitação por parte de cientistas, estudantes e público em geral. O próprio Einstein considerava que o experimento de Michelson-Morley era necessário para que a maioria dos físicos aceitasse a sua teoria; mas isso é bem diferente de considerar o experimento como gênese e base da relatividade. Segundo Holton (1969) isto ocorre principalmente porque os livros texto de ciência dão extremo valor ao raciocínio indutivista, pois *um estudante tende a aceitar mais facilmente uma teoria tão contraintuitiva como de Einstein se puder ser evidenciado que Einstein, ou pelo menos seus colaboradores, se convenceram de sua validade a partir de um experimento bem definido* (HOLTON, 1969, p.974).

É verdade que a teoria da relatividade restrita teve como consequência não-intencionada a explicação dos resultados negativos dos experimentos que visavam detectar efeitos do movimento do sistema de referência sobre a velocidade de propagação da luz, como por exemplo, os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley. Entretanto, historicamente é inverídico que os experimentos de Michelson-Morley, ou anteriormente as medidas de aberração estelar, tenham sido cruciais para a velha física. Diversos cientistas explicaram os resultados negativos em detectar o vento de éter sem descartar a física clássica (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006). Como exemplo, nós temos que em 1904, H. A. Lorentz (1853 - 1928), no artigo intitulado Fenômenos eletromagnéticos num sistema que se move com qualquer velocidade inferior à da luz (LORENTZ, 1983), supondo a existência do *éter*, explicava não somente os resultados negativos dos *experimentos de Michelson-Morley* em detectar o movimento da Terra em relação ao *éter*, como os resultados negativos ulteriores de Rayleigh-Brice (em 1902 sobre a dupla refração) e de Trouton-Noble (em 1904 sobre torque em um capacitor).

Sendo assim, percebemos que a teoria da relatividade restrita foi motivada por um problema teórico: resolver uma inconsistência entre a mecânica e o eletromagnetismo, e, portanto, os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley, apesar de justificados teoricamente pela teoria de Einstein, não foram cruciais para a física clássica e, particularmente para Michelson (bem como para outros cientistas), não se constituíram em uma refutação da hipótese do éter (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006, p. 41).

Monteiro (2010) relata que apesar da difundida associação entre a gênese da Teoria da Relatividade Restrita e os experimentos de Michelson-Morley, Einstein (1983)

não faz qualquer menção aos resultados do mencionado experimento, no seu artigo intitulado *Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*, publicado em 1905.

Em suas notas autobiográficas, Einstein (1982) comenta que a Teoria da Relatividade Restrita foi decorrente de duas vertentes diferentes:

a) A partir da percepção de que quando se aplica as transformações de Galileu aos fenômenos eletromagnéticos surgem contradições. O experimento mental da perseguição do raio de luz é um exemplo. Imagine-se viajando junto com uma onda eletromagnética. Vê-se um campo elétrico e outro magnético variando senoidalmente, mas são constantes no tempo. Segundo as equações de Maxwell, a existência de tais campos não é possível. A teoria da relatividade restrita se originou das equações do campo eletromagnético de Maxwell (EINSTEIN, 1982). Isso porque, se o princípio da relatividade de Galileu for aplicado à eletrodinâmica de Maxwell, originam-se as assimetrias que não parecem inerentes aos fenômenos, haja vista que as equações de Maxwell são invariantes frente às transformações de Lorentz.

b) A partir das críticas que haviam sido feitas às idéias de espaço e tempo absolutos, notadamente aquelas que haviam sido empreendidas por Ernst Mach (1838 - 1916).

Os resultados experimentais que mais influenciaram Einstein na elaboração da Teoria da Relatividade Restrita parecem ter sido os resultados das observações sobre aberrações estelares e as medidas de Fizeau sobre a velocidade da luz na água em movimento. Conforme ressalta Shankland (1964), os resultados das medidas do experimento de Michelson-Morley, somente chamaram a atenção de Einstein, após 1905 (MONTEIRO, 2010).

São falsos também os argumentos que buscam mostrar que o experimento de Michelson-Morley foi decisivo para a refutação do éter, por exemplo, quando em 1907 Michelson recebeu o Prêmio Nobel não houve referência alguma aos seus famosos experimentos, nem por parte da comissão que lhe concedeu o prêmio, nem por ele mesmo (PAIS, 1995). A justificativa da comissão que outorgou o Prêmio Nobel a Michelson foi a seguinte: pelos instrumentos ópticos de precisão e pelas investigações espectroscópicas e metrológicas realizadas com a sua intervenção. Michelson, que se aferrou ao éter até o amargo fim (LAKATOS, 1989, p. 103), nunca crendo que seus experimentos o refutavam, acreditou em 1925 ter detectado experimentalmente o *vento de éter* (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006, p. 41).

## **As Abordagens dos Livros Didáticos Sobre os Experimentos de Michelson-Morley Com o Interferômetro. Tecendo Análises**

---

Pautados pelo referencial teórico discutido nos capítulos iniciais, passaremos agora a uma análise pormenorizada de aspectos dos livros didáticos segundo as questões de pesquisa, anteriormente apresentadas. Buscamos também exemplificar algumas das discussões e os tipos de materiais encontrados.

Para melhor compreensão optamos por apresentar as três questões de pesquisa e apontar a partir de cada livro analisado as respostas sugeridas pelas respectivas obras. As questões de pesquisa são:

**Q<sub>1</sub>** - Quais os propósitos da construção do interferômetro de Michelson-Morley nas abordagens dos livros didáticos de física?

**Q<sub>2</sub>** - Como os autores dos livros didáticos de física interpretam os resultados inesperados das atividades experimentais desenvolvidas com o interferômetro de Michelson-Morely?

**Q<sub>3</sub>** – Como como os autores dos livros didáticos de física associam a construção do interferômetro de Michelson-Morley com a elaboração da Teoria da Relatividade Restrita?

### **Livro Didático LD<sub>1</sub>**

O livro LD<sub>1</sub> apresenta o experimento de Michelson e Morley no capítulo *Teoria da Relatividade*, especificamente em um tópico denominado *O enigma do éter*. Neste tópico ele se propõe a tratar a necessidade da existência de um meio material para que a luz fosse considerada como a manifestação de fenômenos ondulatórios. Para isso, argumenta partindo do pressuposto que todas as ondas, qualquer que fosse sua natureza deveria possuir um meio para a sua propagação.

Em seguida, o autor do livro LD<sub>1</sub> se propõe a fazer uma descrição do mencionado experimento do ponto de vista conceitual e técnico. Ao final do tópico ele discute o resultado da experiência e suas consequências para a física clássica, declarando:

“O resultado dessa experiência foi dramático para a física, pois só admitia duas explicações: ou a velocidade da terra através do éter era nula, ou o éter não existia. [...] A

primeira hipótese era inaceitável: a velocidade da terra através do espaço já era conhecida e seu movimento, indiscutível. Restava admitir que o éter não existia e que a luz era a propagação de uma onda através do vazio” (p. 303).

Na descrição acima notamos que o autor considera o experimento de Michelson e Morley como um experimento crucial para a física, sendo ele o responsável pela refutação da teoria do éter.

Sobre esse primeiro aspecto, essa visão expressa uma concepção experimentalista da ciência que supervaloriza os resultados experimentais e que a queda ou ascensão de uma teoria é uma resposta a anomalias detectadas experimentalmente, conforme discutem Silva e Pimentel (2006).

O autor do livro LD<sub>1</sub> ainda expõe a seguinte ideia:

“Como a natureza parecia não se comover com essa inquietação, os físicos passaram a buscar hipóteses para salvar o éter. Mas a solução só veio com o advento de uma nova teoria, a teoria da relatividade restrita, de Einstein” (p. 303).

A partir do trecho anterior, podemos concluir que houve na comunidade dos físicos uma grande inquietação devido ao fato de não ser possível explicar os fenômenos de forma coerente através do éter. Ou seja, foi preciso uma mente perceptiva e moderna como a de Einstein para conseguir criar uma teoria que traria a verdade à tona a partir do simples e visível abandono da teoria do éter. Essa forma de pensar sugere que os físicos do século XIX eram tolos, que acreditavam em uma teoria errada sem nunca terem se preocupado em fazer experimentos sobre ela, e que bastou o surgimento de um único teste para mostrar que ela era falsa, conforme discutido por Martins (2005; 2006).

Essa abordagem demonstra uma visão simplista da ciência, primeiramente por trazer à discussão um tema (o experimento de Michelson-Morley) sem a devida contextualização, trazendo uma visão da ciência como se ela funcionasse descobrindo erros e substituindo-os pela “verdade”, conforme discute Martins (2012), Silva e Pimentel (2006), Silveira e Peduzzi (2006).

Elaboramos a tabela 2 como forma de apresentarmos as respostas as questões Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> apresentadas pelo LD<sub>1</sub>.

QUESTÃO	RESPOSTAS DO LD <sub>1</sub>
Q <sub>1</sub>	Podemos inferir a partir do exposto pelo autor que o experimento de

	M-M tinha o objetivo de comprovar experimentalmente a teoria do éter ou refutá-la definitivamente.
<b>Q<sub>2</sub></b>	O resultado do experimento de M-M, segundo o autor, aponta para a refutação da teoria do éter e o surgimento da teoria da relatividade restrita de Einstein (TRR).
<b>Q<sub>3</sub></b>	A associação entre o experimento de M-M e a TRR aparece de forma bastante suscinta, o autor mostra que o problema advindo com o experimento de M-M só foi completamente resolvido a partir da TRR.

Tabela 2: Respostas as questões de pesquisa do LD<sub>1</sub>.

### Livro Didático LD<sub>2</sub>

Em relação ao livro LD<sub>2</sub>, os autores buscaram não se aprofundar em questões históricas e baseou seu trabalho apenas nos aspectos técnico-conceituais do experimento de Michelson e Morley com o interferômetro. No entanto, a discussão em torno desses aspectos é bastante diversificada e detalhada a partir de analogias.

No entanto, nas poucas vezes que se reportam aos aspectos históricos isso é feito de forma bastante cuidadosa, mesmo assim ainda percebemos alguns equívocos em suas colocações, por exemplo:

“No final do século XIX e início do século XX, foram feitas inúmeras tentativas para detectar esse ‘vento’. A mais importante foi realizada pelos físicos Albert Abraham Michelson (1852 – 1931) e Edward Williams Morley (1838 – 1923)” (p. 333, grifo nosso).

O comentário exemplificado acima, parece apontar que o interesse em se detectar o deslocamento da terra através do éter é uma exclusividade do século XIX e XX, no entanto, esse fato não é completamente verídico, uma vez que muitos outros experimentos tinham a mesma intenção e foram realizados em épocas anteriores (MARTINS, 2012; PERDERSON, 1980).

Na tabela 3 apresentamos às respostas as questões Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> apresentadas pelo LD<sub>2</sub>.

<b>QUESTÃO</b>	<b>RESPOSTAS DO LD<sub>2</sub></b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	Inferimos através dos comentários discutidos pelos autores que o experimento tinha como objetivo e finalidade a observação do

	“vento” de éter e por conseguinte o abandono ou confirmação da teoria do éter.
<b>Q<sub>2</sub></b>	Abandono da teoria do éter.
<b>Q<sub>3</sub></b>	O experimento de M-M criou um problema que só seria respondido completamente pela TRR de Einstein.

Tabela 3: Respostas às questões de pesquisa do LD<sub>2</sub>.

### Livro Didático LD<sub>3</sub>

Ao analisarmos o livro LD<sub>3</sub> constatamos que o mesmo traz o experimento de Michelson e Morley dentro de um tópico intitulado *Relatividade: antecedentes históricos*. Os autores limitaram-se a fazer uma pequena descrição do experimento, fazendo pouca menção aos fatos históricos contrariamente ao que nos sugere seu subtítulo.

A única menção que é feita logo após a descrição sucinta do experimento transcrevemos abaixo:

“As experiências se repetiram durante o decorrer do ano, na esperança de o movimento orbital da terra se alinhar de maneira favorável com a direção do vento de éter. Várias medições foram realizadas entre 1881 e 1887, sem sucesso em detectar uma variação da velocidade da luz com a direção de propagação” (p. 335).

Um aspecto a ser observado é que, novamente, foi detectado certo desconhecimento histórico, uma vez que o autor faz menção ao fato de que os experimentos e observações ocorreram no decorrer do ano, ou entre 1881 e 1887, onde na verdade muitos experimentos anteriores a esse período foram realizados, bem como a posteriori. Outro fato é que nem todos os experimentos anteriores ou posteriores forneceram resultados negativos, mas alguns apontaram efeitos detectados (MARTINS, 2012; LAKATOS, 1989, p. 103; SILVEIRA e PEDUZZI, 2006, p. 41).

Na tabela 4 apresentamos às respostas as questões Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> apresentadas pelo LD<sub>3</sub>.

QUESTÃO	RESPOSTAS DO LD <sub>3</sub>
<b>Q<sub>1</sub></b>	O objetivo era detectar o éter.
<b>Q<sub>2</sub></b>	Abandono da teoria do éter.

Q <sub>3</sub>	Não nos dá subsídios para uma resposta.
----------------	---

Tabela 4: Respostas às questões de pesquisa do LD<sub>3</sub>.

### Livro Didático LD<sub>4</sub>

No livro LD<sub>4</sub> encontramos a referência as atividades experimentais realizadas por Michelson e Morley com o interferômetro na introdução do capítulo 18 cujo título é *Teoria da Relatividade*. Os autores partem de um recorte histórico onde descreve alguns acontecimentos em torno das medidas da velocidade da luz, realizadas ao longo da história. Em seguida traz um subtítulo denominado *um experimento decisivo*, onde procura explicar o experimento de Michelson e Morley com o interferômetro e se propõe a discuti-lo. Transcrevemos abaixo um pequeno trecho dessa discussão:

“Como não haveria sentido em definir uma velocidade absoluta, Maxwell se apoiou em uma ideia antiga, a da existência de um chamado éter ‘estacionário’, em relação ao qual a luz se moveria. 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) (...) apresentou resultados negativos” (p. 323, grifos nossos).

Nesse relato, portanto, nos fica claro a figura dos grandes gênios, e o papel crucial dos experimentos para a aceitação ou refutação das teorias. O uso dessas versões da história da ciência, bem como outras semelhantes, tem diversos defeitos (MARTINS, 2006). Em primeiro lugar, é muito simplista. A partir dela, parece que a ciência se desenvolve por meio de experimentos “cruciais”, sobre os quais é edificada uma teoria, no entanto, a ciência é fruto de um processo complexo e bem mais complicado e rico do que apresentada nessas visões ingênuas (MARTINS, 2012; SILVEIRA, PEDUZZI, 2006; SILVA e PIMENTEL, 2006).

Na tabela 5 apresentamos as respostas as questões Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> apresentadas pelo LD<sub>4</sub>.

QUESTÃO	RESPOSTAS DO LD <sub>4</sub>
Q <sub>1</sub>	Tinha como objetivo refutar a teoria do éter ou comprová-la.
Q <sub>2</sub>	Abandono da teoria do éter, a qual era irracional e incoerente,

	constituindo um erro trivial dos grandes gênios.
Q <sub>3</sub>	O experimento de M-M criou um problema que só seria respondido completamente pela TRR de Einstein, a TRR (criação de uma mente genial e revolucionária como a de Einstein) traria a luz para as trevas da ingnorância da mentalidade científica da época.

Tabela 5: Respostas às questões de pesquisa do LD<sub>4</sub>.

### Livro Didático LD<sub>5</sub>

No Livro LD<sub>5</sub>, a abordagem do experimento com o interferômetro, realizada por Michelson e Morley encontra-se dentro de um subtítulo, intitulado *Breve descrição da experiência de Michelson e Morley*. Nessa descrição, os autores demonstram pouca ênfase aos aspectos históricos, e quando se dirige a esses aspectos caminha por um viés de profundo desacordo com a história da ciência, como por exemplo:

“O objetivo da experiência dos cientistas estadunidenses Albert Abraham Michelson e Edward Williams Morley era comprovar a existência desse estranho meio denominado éter...” (p. 231, grifos nossos).

Prosseguindo com a explanação, em outra localização, os autores do livro LD<sub>5</sub> assinalam:

“Michelson e Morley montaram uma primeira experiência em 1881, construindo um aparelho denominado interferômetro (...). Logo, a existência do éter tornou-se totalmente desnecessária (...) e a ideia foi abandonada.” (p.232, grifos nossos).

Na primeira citação, os autores afirmam que o objetivo da experiência seria a comprovação da existência do éter, onde na verdade o que se procurava era medir a velocidade da terra em relação ao éter, e mais precisamente decidir entre duas teorias do éter a de Fresnel e a de Stokes (MARTINS, 2012; MICHELSON, 1881; RODRIGUES e OLIVEIRA, 1999).

Na segunda citação, encontramos um erro histórico, tendo em vista que em 1881, Michelson estava sozinho quando fez o seu primeiro experimento para detectar o efeito do movimento de translação da terra através do éter, e apenas uniu-se a Morley no experimento de 1887 (MONTEIRO, 2010; MARTINS, 2012; RODRIGUES e OLIVEIRA, 1999; MICHELSON, 1881).

Na tabela 6 apresentamos às respostas as questões Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> apresentadas pelo LD<sub>5</sub>.

QUESTÃO	RESPOSTAS DO LD <sub>5</sub>
Q <sub>1</sub>	Tinha como objetivo comprovar a teoria do éter.
Q <sub>2</sub>	Abandono da teoria do éter.
Q <sub>3</sub>	A partir do Experimento de M-M Einstein criou a TRR.

Tabela 6: Respostas às questões de pesquisa do LD<sub>5</sub>.

### Livro Didático LD<sub>6</sub>

Na presente análise, avaliamos que no LD<sub>6</sub> encontra-se uma maior quantidade de abordagens históricas contemplando o contexto das realizações experimentais de Michelson-Morley com o interferômetro. Com isso, procedem com uma análise bem mais complexa desde o experimento de Arago com o prisma, fazendo referência a muitos outros no período de 1810 a 1890. Com relação ao experimento de Fizeau, por exemplo, os autores se preocuparam em montar um quadro onde trazia informações históricas, assim como apresentava os princípios de funcionamento do experimento de Fizeau apontando seus resultados e consequências.

No que se refere ao experimento de Michelson e Morley com o interferômetro, os autores explicam o seu funcionamento e em seguida discutem alguns de seus resultados.

Chamou nossa atenção à preocupação dos autores, até aqui inédita para essa análise, de não definir o interferômetro de Michelson e Morley como meio que refutou a teoria do éter (MARTINS, 2012; RODRIGUES e OLIVEIRA, 1999), mas buscaram discutir suas consequências dentro de suas reais dimensões.

Na tabela 7 apresentamos as respostas as questões Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> apresentadas pelo LD<sub>6</sub>.

QUESTÃO	RESPOSTAS DO LD <sub>6</sub>
Q <sub>1</sub>	Seu objetivo não seria necessariamente o de comprovar a teoria do éter.
Q <sub>2</sub>	Gerou muito discussão em torno da teoria do éter.

<b>Q<sub>3</sub></b>	Deu início a uma inconsistência que seria resolvida com a TRR, mas de forma exatamente necessária.
----------------------	--

Tabela 7: Respostas às questões de pesquisa do LD<sub>6</sub>.

### **Livro Didático LD<sub>7</sub>**

No LD<sub>7</sub>, os autores expõem o experimento de Michelson e Morley de 1887 como um meio que refutou por definitivo o éter. No livro encontramos um pequeno quadro onde os autores ilustram e explicam o funcionamento do experimento.

Os autores também mencionam que todos os experimentos que tentaram medir algum efeito do movimento da Terra através do éter deram resultados negativos.

Como forma de melhor analisarmos as discussões supracitadas, transcrevemos a seguinte menção do livro:

“Em 1887, Albert Michelson e Edward Morley haviam produzido a primeira evidencia forte de que o éter não existia (...) O experimento foi repetido exaustivamente, em vários locais, com vários experimentadores e com o máximo de precisão alcançável. Todos os experimentos deram resultado negativo” (2010, p. 236).

Primeiramente, percebemos que, segundo os autores, o experimento de Michelson e Morley teria sido o primeiro a demonstrar uma forte evidência contra o éter. Isso não se consitiu uma verdade, vez que seu objetivo não estava em refutar ou não a teoria do éter, mas, em decidir entre duas teorias para o éter - a de Fresnel e a de Stokes. O próprio Michelson nunca acreditou na refutação do éter, e nesse caso, o experimento citado foi antecedido por muitos outros, inclusive pelo próprio Michelson que já havia realizado uma primeira versão do experimento em 1881 (MONTEIRO, 2010; MARTINS, 2012; RODRIGUES e OLIVEIRA, 1999).

Uma segunda análise nos permiti perceber que também é inverídico que todos os experimentos que sucederam o experimento de Michelson e Morley com o interferômetro obtiveram resultados negativos, uma vez que, tanto antes quanto depois dos experimentos de Michelson e Morley, ocorreram muitas outras tentativas de medir a velocidade da Terra através do éter e tanto antes quanto depois, existiram pesquisadores que afirmaram ter encontrado resultados positivos, e outros que disseram não ter encontrado efeitos do movimento da Terra, conforme pontuado por Martins (1986a) e Swenson (1972).

Na tabela 8 apresentarmos as respostas as questões Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> apresentadas pelo LD<sub>7</sub>.

<b>QUESTÃO</b>	<b>RESPOSTAS DO LD<sub>7</sub></b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	Seu objetivo seria comprovar a teoria do éter.
<b>Q<sub>2</sub></b>	Culminou com o abandono da antiga teoria do éter.
<b>Q<sub>3</sub></b>	Deu origem a uma inconsistência que só seria resolvida com a TRR.

Tabela 8: Respostas às questões de pesquisa do LD<sub>7</sub>.

---

## **Considerações Finais**

---

A partir das análises, anteriormente realizadas, podemos opinar que as abordagens com a história e a filosofia da ciência presente nos livros didáticos analisados está muito longe de se tornar a desejada, tanto por parte dos programas governamentais (PCNs) quanto por parte de pesquisadores e educadores que se dedicam ao tema. Nossa alegação vem subsidiada pelo fato de, praticamente na totalidade de nossas análises, encontramos omissões, distorções ou alguma forma de simplificação do processo histórico, no qual as realizações experimentais empreendidas por Michelson e Morley com o interferômetro foi desenvolvida.

O cenário nacional, no entanto, nos parece propício para mudanças. Temos nos PCN'S relativo à área de ciências naturais vários pontos que consideram o ensino do caráter histórico do conhecimento científico como uma das abordagens essenciais e necessários a uma formação educacional adequada. Assim, o PNLEM também considera estes conteúdos na sua avaliação das obras didáticas, tornando pertinente essa análise do episódio histórico do experimento de Michelson e Morley nos livros didáticos de física.

No que tange as questões de pesquisa referentes ao nosso trabalho encontramos na quase totalidade das abordagens analisadas a estrita relação divulgadas pelos livros didáticos, do experimento de Michelson e Morley como a refutação da teoria do éter, essa característica era explícita quer quando relatava que seu objetivo de construção era o de comprovar a teoria do éter, quer quando define que esse experimento foi o ponto culminante para o abandono da velha teoria do éter, tornando assim desnecessária qualquer menção a esse meio para a ciência.

Os resultados do experimento de Michelson e Morley discutidos nas abordagens que analisamos convergem para o abandono da física clássica e refutação da teoria do éter. Na maior parte da análise os autores deixam a entender, algumas vezes de forma explícita, outras não bem assumidas, que o experimento materializa-se em ponto de apoio da teoria da relatividade de Einstein.

---

## Referências

---

- BASTOS, F. **História da Ciência e Ensino de Biologia**. São Paulo: Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1998, p. 33.
- BELTRAN, M. H. R. **História da ciência: Tópicos atuais**. BELTRAN, M. H. R., FUMIKAZU S., TRINDADE, L. S. P. Trindade, (org.) – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.
- BIZZO, N.; TOLENTINO-NETO, L. C. B.; GARCIA P. S. What do teachers expect from the textbooks? The study of the process of choice of textbooks in Brazilian public schools. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK - IOSTE, 2007, Hammamet. Proceedings... Tunis: University of Tunis, 2007. v. 1. p. 311-319.
- BIZZO, N. et al. Brazilian science textbooks and canonical science. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK - IOSTE, 2007, Hammamet. Proceedings... Tunis: University of Tunis, 2007. v. 1. p. 301-309.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação. Uma introdução à teoria e aos métodos..** Porto: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais/ Secretaria de Educação Fundamental. *Brasília:MEC / SEF*, 1998.
- BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. PNLEM/2009, Brasília, 2008.
- CASTRO, R. S. . História da Ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 225-237,1992.
- EL HANI, C. N. Notas sobre o ensino de História e Filosofia da Ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C. C. **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para aplicação no ensino médio**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- FRACALANZA, H.; MEGID NETO, J. (Orgs.). **O livro didático de ciências no Brasil**. Campinas: Editora Komedi, 2006.
- BRASIL. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Dados estatísticos sobre o livro didático - 2010. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/index.php/pnlddados-estatisticos>>. Acesso em: 19 fev. 2011.

- GARCIA, P. S.; BIZZO, N. A Pesquisa em livros didáticos de ciências e as inovações no ensino. In: \_\_\_\_\_ (Org.). **Debates e contribuições sobre a escola pública: de professor para professor**. São Paulo: Editora LCTE, 2010. p. 13-35.
- GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma Imagem Não-Deformada do Trabalho Científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- GUÇÃO, M. F. B.; BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. uma análise do conteúdo histórico nos livros didáticos do ensino médio: eletrostática. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, XI, 2008, Curitiba. Anais... Curitiba, 2008.
- HANSEN, T. B. Introduction, In: The Hole of Philosophy of Science and Ethics in University. **Science Education**. Goteborg: NSU Press, 2002, p. 17-22.
- HOLTON, G. Einstein and the Crucial Experiment. **American Journal of Physics**, v. 37, n. 10, p.968-982, 1969.
- HOLTON, G. **La imaginación científica**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1978.
- HUBISZ, J. Middle-school texts don't make the grade. **Physics Today**, New York, v. 56, n. 5, p. 50-54, 2003. Disponível em: <[http://physicstoday.org/journals/doc/PHTOAD-ft/vol\\_56/iss\\_5/50\\_1.shtml?bypassSSO=1](http://physicstoday.org/journals/doc/PHTOAD-ft/vol_56/iss_5/50_1.shtml?bypassSSO=1)>. Acesso em: 15 jun. 2006.
- KARAM, R. A. S. Relatividade Restrita no Início do Ensino Médio: Elaboração e Análise de uma Proposta, Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- KARAM, R. A. S.; SOUZA CRUZ, S. M. S. C. e COIMBRA, D. A Abordagem das relatividades em sala de aula , in **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Londrina, 2006. Disponível em < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/sys/resumos/T0084-1.pdf> >. Acesso em 8 de outubro de 2006.
- KESWAMI, G. H.; KILMISTER, C. W. Intimations of relativity. Relativity before Einstein. **British Journal of Philosophical Science**, v. 34, p. 343-354, 1983.
- KNAIN, E. Ideologies in school science textbooks. **International Journal of Science Education**, v.3, n. 23, p. 319-319, 2001.
- KUHN, T. S. **A revolução copernicana**. Lisboa: Ed. 70, 1990.
- LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid:Alianza, 1989.
- LIBÂNEO, **Didática: velhos e novos tempos**. Edição do Autor, maio de 2002.
- PIEDRAHITA, M. V. A. **Los manuales escolares y los libros de iniciación a la lectura: campo de investigación**, 1998.

- MARTINS, I. Imagens no livro didático e na sala de aula de ciências. Rio de Janeiro: Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde, UFRJ/Fundação Carlos Chagas de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, 2003. Relatório de Pesquisa.
- MARTINS, R. A. Estudos de história e filosofia da ciência: Subsídios para aplicação no ensino/ Cibelle Celestino Silva, (Org.). – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- MARTINS, R. A. Física e história: o caso da teoria da relatividade. [Physics and history, a case study: the theory of relativity], **Ciência e Cultura** 57 (3): 25-29, jul./set. 2005.
- MARTINS, R. A. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V. 29, n. 1: p. 52-80, abr. 2012.
- MATTHEWS, M. R. **Science Teaching – The Role of History and Philosophy of Science**. New York: Routledge, 1994.
- MAYRARGUE, A. Fresnel and opticaether. **La Recherche**, v. 21, n. 218, p. 234-237, 1990.
- MEDEIROS, A.; MONTEIRO, M. A. A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria copernicana nos livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1: p. 29-52, abr. 2002.
- MICHELSON, A. A. The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. **American Journal of Science**, 22: 120-129, 1881.
- MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. Experimentos históricos na educação científica: explorando algumas potencialidades do bico de Bunsen. In: **Encontro Nacional de Ensino de Química**, XV, 2010, Brasília. Anais... Brasília, 2010.
- MORAES, J. U. P. O Livro Didático de Física e o Ensino de Física: suas relações e origens. **Scientia Plena**. v. 7, n. 9, p. 116, 2011.
- MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. Análise Textual Discursiva: Processo Reconstutivo de Múltiplas Faces. **Ciência e Educação**. V. 12, n. 1, p. 117-118, 2006.
- MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94 - 99, 2000.
- NEVES, C. E. B. Universidade e a institucionalização da pesquisa: reflexões de uma experiência. **Cadernos de Sociologia**, 1998, 8, p. 127–160.
- NIAZ, M. *et al.* Arguments, contradictions, resistances and conceptual change in students understanding of atomic structure. **Science Education**, n. 86, p. 505-525, 2002.

PAGLIARINI, C. R. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio*/Cassiano Rezende Pagliarini; orientadora Cibelle Celestino Silva. – São Carlos, 2007. 115f.

PAIS, A. “**Sutil é o Senhor...**”: a ciência e a vida de Albert Einstein. Trad. Fernando Parente e Viriato Esteves. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

PEDERSEN, K. M. Roger Boscovich and John Robison on terrestrial aberration. **Centaurus**, v. 24, p. 335-345, 1980.

PEDERSEN, K. M. Water-Filled Telescopes and the pre-history of Fresnel's ether dragging. **Archive for the History of Exact Science**, v. 54, p. 499-564, 2000.

RODRIGUES, C. D.; OLIVEIRA, M. P. Qual a Fonte da Abordagem da Relatividade Restrita em Livros Didáticos do Ensino Médio? *Atas do II Encontro de Pesquisa em Educação Científica*, 1999.

ROSA, C. W. & ROSA, Á. B. *Ensino da Física: objetivos e imposições no Ensino Médio*. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, 2005.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. Benjamin Franklin e a história da eletricidade em livros didáticos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, X., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina, 2006.

SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: Da caricatura empirista a uma outra História. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 23, n. 1: p; 26-52, 2006.

STRIEDER, R. B.; KAWAMURA, M. R. D. *As Abordagens CTS e Racionalidade Científica: Diferentes Perspectivas*. XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, **Anais ...** Maresias, 2012.

SWENSON, L. S. **The ethereal aether – a history of the Michelson-Morley-Miller aether drift experiments**, 1880 -1930. Austin: University of Texas Press, 1972.

VILLANI, A. O confronto Einstein-Lorentz e suas interpretações. Parte 1: A revolução einsteiniana. **Revista de Ensino de Física**, v. 3, n. 1, p. 31-45, 1981.

WUO, Wagner. O ensino de Física na perspectiva do livro didático. In: OLIVEIRA, M. A. T.; RANZI, S. M. F. (Org.). **História das disciplinas escolares no Brasil: contribuições para o debate**. Bragança Paulista: EDUSF, 2003. p.299-338.