



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

DOUGLAS ALVES FERREIRA

**Percursos Para a Construção da Teoria da Relatividade
Restrita nas Abordagens dos Livros Didáticos de Física**

**CAMPINA GRANDE – PB
2013**

DOUGLAS ALVES FERREIRA

Percursos Para a Construção da Teoria da Relatividade Restrita nas Abordagens dos Livros Didáticos de Física

Trabalho de conclusão de curso, apresentado 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^a. Maria Amélia Monteiro, Dr^a

CAMPINA GRANDE – PB
2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL – UEPB

F383p

Ferreira, Douglas Alves.

Percursos para a construção da Teoria da Relatividade restrita nas abordagens dos livros didáticos de Física [manuscrito] / Douglas Alves Ferreira. – 2013.

33 f. : il.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2013.

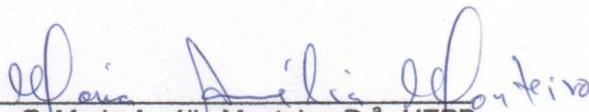
“Orientação: Profa. Dra. Maria Amélia Monteiro, Departamento de Física”.

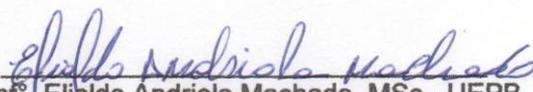
1. Ensino de física. 2. Livro didático. 3. História das ciências. I. Título.

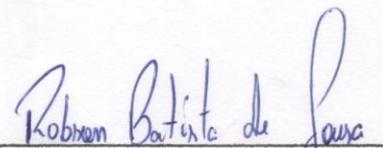
21. ed. CDD 371.32

DOUGLAS ALVES FERREIRA

**Percursos Para a Construção da Teoria da Relatividade
Restrita nas Abordagens dos Livros Didáticos de Física**


Prof.^a Maria Amélia Monteiro, Dr.^a - UEPB
Orientadora


Prof.^o Elialdo Andriola Machado, MSc - UEPB
Examinador


Prof.^o Robson Batista de Sousa, MSc - UEPB
Examinador

Á Deus e a minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço DEUS pela vida e por me abençoar durante toda minha caminhada.

A minha família por me apoiarem em todas as etapas de minha vida e por me incentivarem nos momentos de dificuldade.

A minha orientadora professora Maria Amélia Monteiro pela sua paciência, compreensão e por suas críticas construtivas que foram de fundamental importância para minha vida acadêmica.

Aos meus colegas de turma Rosinildo Fidelis, Ricardo Franscisco, Jocélio Medeiros e Raquel Luana pelo companherismo durante todo o curso.

Aos professores Jean Spinelly e Edvaldo de Oliveira (Mará) por serem exemplos de profissionais responsáveis, competentes e comprometidos além de serem pessoas extraordinárias.

Aos professores Elialdo Andriola e Alex da Silva pelo apoio e pelas palavras de encorajamento que fizeram a diferença tanto na minha vida profissional como pessoal.

Aos demais professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

A Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e a coordenação do curso de física.

Em qualquer tempo que eu temer, confiarei em ti.

Salmos 56:3

RESUMO

O livro didático é um dos recursos mais utilizados no Brasil tanto pelos professores como pelos alunos e recentemente tem sido alvo de inúmeras discussões. Este trabalho tem por objetivo analisar as distorções da História da Ciência a respeito dos percursos de construção e construtores da Teoria da Relatividade Restrita segundo as abordagens dos Livros Didáticos (LDs) de Física do Ensino Médio. Os livros apresentam algumas informações equivocadas bem como atribuem autorias de “descobertas” de maneira errada. Na presente pesquisa, apresentamos alguns trechos referentes aos livros analisados seguidos de comentários sobre os erros detectados. Estas distorções acabam comprometendo tanto a inserção da História e filosofia da ciência quanto o uso da Física Moderna e Contemporânea no ensino.

Palavras-Chave: Ensino da Física Moderna e Contemporânea; História e filosofia da ciência no ensino; Análise de livros didáticos; Teoria da Relatividade Restrita.

Abstract

The textbook is one of the most used resources in Brazil, both by teachers and by pupils and has recently been the subject of numerous discussions. This study aims to analyze the distortions of the History of Science about the routes of construction and builders of the Theory of Relativity according to the approaches of Textbooks (LDs) Physics of High School. The books have some misinformation and attribute authorship of "discoveries" in the wrong way. In this study, we present some excerpts pertaining to books analyzed followed by comments on the errors found. These distortions end up compromising both the inclusion of history and philosophy of science and the use of Modern and Contemporary Physics teaching.

Keywords: Teaching of Modern and Contemporary Physics, History and philosophy of science in education; Analysis of textbooks; Theory of Relativity.

Sumário

1	Introdução	6
2	A História e Filosofia da Ciência nos Livros Didáticos e Suas Influências na Educação Científica	8
3	Abordagens Sobre a Física Moderna e Contemporânea nos Livros Didáticos da Educação Básica	9
4	Considerações Metodológicas	11
4.1	Livros analisados e procedimentos de seleção	11
4.2	Referenciais e procedimentos de análises dos livros didáticos	12
5	Pressupostos da Teoria da Relatividade Restrita: Uma breve retrospectiva	13
5.1	A Idéia de Éter e o Eletromagnetismo Maxwelliano	13
5.2	Tentativas de Detecção do éter em relação ao Movimento da Terra	14
5.2.1	O Experimento de Fizeau	14
5.2.2	O Experimento de Michelson (1881) e de Michelson-Morley (1887)	15
5.3	Relatividade antes do trabalho de Einstein em 1905	18
5.3.1	Quais foram às contribuições de Einstein para a Teoria da Relatividade Restrita?	20
6	Interpretação e Análise dos Livros Didáticos	21
6.1	Abordagens do Livro Didático LD1	21
6.2	Abordagens do Livro Didático LD2	22
6.3	Abordagens do Livro Didático LD3	23
6.4	Abordagens do Livro Didático LD4	24
7	Considerações Finais	25
8	Referências	26

1. Introdução

Nos últimos anos, os livros didáticos (LDs) de ciências tem sido objeto de intensa discussão entre pesquisadores da área. Certamente, isto se deve ao fato dos LDs serem bastante utilizados no contexto educacional, tanto por professores quanto por alunos, estando seu papel diretamente vinculado à educação científica e a qualidade do ensino. Sem dúvida é incontestável a importância que os LDs assumem no contexto educacional brasileiro.

Ostermann e Ricci (2004) apontam que a relevância das publicações didáticas na realidade escolar brasileira pode ser constatada a partir da reconstituição das políticas governamentais e que a política do livro didático no Brasil sempre esteve associada à ideia de criar critérios oficiais de seleção e de inclusão de livros nos programas escolares, passando pela concepção autoritária de imposição ao professor, até a visão atual de que ele é quem deve escolher o livro que deve ser adotado.

No Brasil, existe um Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) que é responsável por subsidiar o trabalho pedagógico dos professores por meio da distribuição de livros didáticos aos alunos da educação básica. Apenas em 2004, foi implementado um programa específico para o ensino médio PNLEM (Programa Nacional do Livro didático para o Ensino Médio), que previa a distribuição, de forma progressiva, de livros didáticos para os alunos do ensino médio público de todo o país.

O PNLEM foi criado por meio da resolução nº 38, de 15 de outubro de 2003 e pela Portaria 2.922 de 17 de outubro de 2003. Em 2005 o governo universalizou a distribuição dos livros de Português e Matemática para todos os matriculados nas escolas públicas de ensino médio no Brasil. Em 2007 foram distribuídos os livros de Biologia. Em 2008 foram distribuídos os livros de História e Geografia. Os livros de Física foram aprovados em 2006 pela portaria nº 366, porém somente em 2008 esses livros foram implantados no PNLEM para serem utilizados a partir de 2009.

Segundo o Ministério da Educação os objetivos dos LDs do Ensino Médio são principalmente:

- (i) *Favorecer a ampliação dos conhecimentos adquiridos ao longo do ensino fundamental;*
- (ii) *Oferecer informações capazes de contribuir para a inserção dos alunos no mercado de trabalho, o que implica a capacidade de buscar novos conhecimentos de forma autônoma e reflexiva;*
- (iii) *Oferecer informações atualizadas, de forma a apoiar a formação continuada dos professores, na maioria das vezes impossibilitados, pela demanda de trabalho, de atualizar-se em sua área específica (BRASIL, 2009, p.17).*

Considerando-se que os livros foram submetidos à avaliação feita por equipes de especialistas indicadas pelo Governo Federal, pode-se dizer que seus conteúdos e métodos foram produzidos de acordo com as exigências, que dizem respeito a inúmeros requisitos, tais como: a ausência de erros conceituais, a coerência metodológica, a incorporação dos avanços teóricos no campo do ensino de Física; assim, pode-se afirmar que, em princípio, os manuais escolares são recursos didáticos de boa qualidade. Pode-se supor, ainda, que com a disponibilização de textos explicativos, de listas de exercícios e problemas estruturados a partir dos temas e assuntos, professores e alunos encontrem alternativas para produzir aulas com outros elementos além daqueles que constituem, hoje, o espaço da docência e do aprendizado de Física (COSTA et al, 2007).

A partir das iniciativas anteriormente pontuadas, várias ações foram e estão sendo realizadas nos LDs do ensino médio buscando sempre qualificar este objeto de estudo. Dentre as várias abordagens e metodologias usadas para enriquecer, tanto os LDs como o ensino de uma forma geral, podemos destacar a inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino. Acerca desta, teceremos alguns comentários na próxima seção.

2. A História e Filosofia da Ciência nos Livros Didáticos e Suas Influências na Educação Científica

Segundo Silva e Pimentel (2008) o uso da história da ciência (HC) em materiais didáticos vem sendo bastante utilizada nos últimos anos. Um dos motivos dessa ocorrência é que existe uma exigência dos órgãos governamentais responsável pela avaliação desses livros dentro do programa nacional do livro didático para o ensino fundamental e médio brasileiro. Conforme os editais dos programas, estes apontam para a importância da apresentação da ciência como construção histórica, bem como focar a evolução das idéias científicas, especificando o caráter transitório e de não-neutralidade do conhecimento científico (PNLEM, 2007).

O uso da história e da filosofia da ciência (HFC) nos LDs, quando utilizada de forma adequada, proporciona várias possibilidades para um melhor entendimento dos conteúdos abordados uma vez que esclarecem questões importantes para o desenvolvimento da ciência, tais como o papel da criatividade, a importância de idealizações científicas, o contexto socioeconômico da época e as influências das crenças dos cientistas. Ainda segundo Silva e Martins (2003) a HFC pode ser considerada como uma forma de adquirir conhecimento científico desde que, estudado o contexto científico, as bases experimentais, as várias alternativas da época, o processo dinâmico de descoberta, justificção e difusão de teorias. Com isso, possibilita se entender como uma teoria foi justificada e por quais razões foi aceita. No entanto, a HFC encontrada nos LDs de ciência, em particular na física, está longe de alcançar tais potencialidades, em sua grande maioria os LDs trazem histórias superficiais e distorcidas que perpassa uma visão errônea da ciência e compromete sua inserção no ensino.

Conforme Pagliarini e Silva (2006) à medida que a utilização da HFC no ensino exerce um papel fundamental no aprendizado das ciências, o uso frequente das histórias distorcidas sobre descobertas científicas se faz presente nas aulas de ciências. Dessa forma, é necessária, além da preocupação dos educadores sobre a inclusão de elementos de HFC no ensino, uma maior atenção com aqueles mitos que já fazem parte da sala de aula e que acabam

passando aos alunos uma visão completamente equivocada sobre o desenvolvimento científico.

Para Martins (2012) a história da ciência é sempre mais complicada e rica do que sonham os livros didáticos e de divulgação científica. Uma das razões para isso é a falta de um conhecimento mais detalhado da HFC por parte dos autores das obras, que em sua grande maioria expõem informações equivocadas, uma vez que suas obras não são baseadas em fontes consideradas confiáveis.

3. Abordagens Sobre a Física Moderna e Contemporânea nos Livros Didáticos da Educação Básica

Segundo Domingui (2012), nos últimos anos, o debate sobre a inserção da física moderna no ensino médio tem sido bastante acentuado. Vários estudos foram feitos com o intuito de aproximar esse conhecimento dos alunos da educação básica. Ao analisar alguns dos livros didáticos aprovados pelo PNLEM e implementados na educação básica o autor cita:

As diferenças nos livros didáticos de física encontrados mostram que nem todos satisfazem igualmente as necessidades do ensino atual. [...] Não podemos mais estar a mercê de conteúdos com quase 150 anos de atraso. O avanço das tecnologias nos mostra que, cada vez mais, necessitamos de conhecimentos avançados. As tecnologias atuais não são mais baseadas tão somente nas leis de Newton, mas também em um conhecimento muito mais profundo (p.6).

De acordo com a ideia anterior, a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) mostra-se indispensável na educação básica. Outro aspecto importante, alertado por Terrazan em (1992) é que a física desenvolvida nesse nível de ensino é o último contato formal que grande parte dos alunos terá com esta ciência, tanto para aqueles que não ingressam na educação superior quanto para os que ingressam, mas em outras áreas.

Pode-se dizer que em praticamente todos os livros de física, os conteúdos da FMC aparecem como o último a ser estudado e devido às limitações do nosso ensino os conteúdos não são si quer abordados.

Groch e Bezerra Jr (2009) investigaram a FMC em cinco LDs de física do ensino médio brasileiro aprovados pelo PNLEM 2009, os quais deram ênfase, principalmente, à Teoria da Relatividade e a Física Quântica. Os autores perceberam que as obras dedicam poucas páginas aos conteúdos, tratando em alguns casos como tópicos especiais. Além disso, as obras dificilmente fazem relações entre a FMC e a Física Clássica.

Dos temas discutidos sobre a FMC a Teoria da Relatividade Restrita é um dos grandes destaques. Ostermann e Ricci (2004), por exemplo, analisaram as abordagens sobre massa relativística em livros didáticos brasileiros, utilizados na educação básica. Os autores constataram que o conceito de massa relativística é proferido como se fosse um conceito fundamental da Relatividade Restrita, o que na verdade é uma noção inadequada e por isso não deveria ser abordada. Para os autores, na abordagem da relatividade restrita se deveria falar apenas em uma “massa”, a massa newtoniana. É muito mais adequado introduzir o conceito de momentum linear relativístico do que o de massa relativística, tendo em vista que como o momento linear newtoniano é bastante usado no ensino médio poder-se-ia mostrar como ele é generalizado pela Relatividade Restrita.

Em outra pesquisa, Ostermann e Ricci (2002) ao investigarem a contração de Lorentz-Fitzgerald e a aparência visual dos objetos em seis livros didáticos brasileiros, concluíram que as obras nas quais o tema é tratado, muitas vezes deixa a desejar, pela superficialidade com são introduzidos. Na medida em que esses conteúdos não promovem uma ruptura com o senso comum que o entendimento da Teoria da Relatividade Restrita exige, acabam comprometendo o aprendizado dos alunos.

A presente pesquisa tem por objetivo analisar como livros didáticos de física atribuem à criação da teoria da relatividade restrita, se dão ênfase nas problemáticas que originaram a mencionada teoria, como também, a quem creditam ter sido os seus construtores.

4. Considerações Metodológicas

A partir do objetivo, anteriormente pontuados, conduzimos a presente investigação, a partir das seguintes questões de pesquisa:

- a) A quem os livros didáticos de física atribuem à construção da Teoria da Relatividade Restrita?
- b) Segundo os livros didáticos, quando se iniciaram as problemáticas que levariam a construção da Teoria da Relatividade Restrita?
- c) Qual o papel atribuído a Einstein na construção da Teoria da Relatividade Restrita pelos livros didáticos de física?

4.1 Livros analisados e procedimentos de seleção

Na presente investigação, foram analisados quatro livros didáticos de física, sendo um aprovado pelo PNLD e os demais pelo PNLEM. Todas as obras foram implementadas recentemente no Brasil (a partir de 2005).

Os livros analisados foram classificados como LD1, LD2, LD3 e LD4. Em todos estes livros consta algum conteúdo histórico referente à gênese da Teoria da Relatividade Restrita. O objetivo é analisar este conteúdo e discuti-lo baseado em nosso referencial teórico construído com tal propósito.

Livros didáticos	Referências
LD1	YAMAMOTO, K. FUKE, L. P. Física para o Ensino Médio . v. 3, 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
LD2	PENTEADO, P. C. M. TORRES, C. M. A. Física - Ciência e Tecnologia . v.3, 1 ed. São Paulo: Moderna, 2005.
LD3	SAMPAIO, L. J. CALÇADA, C. S. Universo da Física. Ondulatória, Eletromagnetismo e Física Moderna . v.3, 2 ed. São Paulo: Atual, 2005.
LD4	GASPAR, A. Física . Volume Único, São Paulo, SP: Ática, 2009.

Tabela 1. Livros didáticos analisados e as respectivas referências

4.2 Referenciais e procedimentos de análises dos livros didáticos

Para realizarmos a análise dos livros didáticos, previamente, procedemos com a construção de dois referenciais. O primeiro consistiu em uma revisão contemplando a influência que o livro didático exerce no contexto educacional, bem como as principais pesquisas que tem sido feitas em relação a aspectos dos livros didáticos, especificamente em relação a alguns livros didáticos utilizados na educação básica brasileira, focando especificamente em pesquisas sobre as abordagens da Física Moderna e Contemporânea no mencionado material didático.

O outro referencial consistiu de uma revisão contemplando o uso da história e da filosofia da ciência no ensino, bem como a construção de um referencial histórico, no sentido de investigarmos as questões de pesquisa então propostas. Neste referencial histórico, abordamos o conceito de éter e o papel que ele desempenhava no início do século XIX, bem como algumas tentativas para detectar a existência deste meio ao longo do século, bem como outras construções teóricas elaboradas até a proposição da Teoria da Relatividade.

Com o referencial anterior construído, buscamos identificar nas abordagens dos livros didáticos de física, especificamente nos capítulos que explanavam sobre a Teoria da Relatividade Restrita, menções relacionadas com as questões de pesquisa, anteriormente, apresentadas. Diante destas menções, procedemos com uma análise comparativa com os referenciais teóricos construídos.

Por se tratar de uma investigação descritiva e que se detém nos processos, avaliamos que se trata de uma pesquisa de carácter qualitativo (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

5. Pressupostos da Teoria da Relatividade Restrita: Uma breve retrospectiva

5.1 A Idéia de Éter e o Eletromagnetismo Maxwelliano

Durante a primeira metade do século XIX, a teoria ondulatória da luz foi fortalecida pelos experimentos de difração e interferência realizados por Thomas Young, Augustin Fresnel e outros. Na forma que estes experimentos eram interpretados, a teoria ondulatória da luz proporcionava explicações de fenômenos não explicados pela teoria corpuscular. Contudo, assim como as ondas sonoras precisam de um meio para se propagar, a luz agora concebida como onda necessitaria também de um meio para se propagar.

Uma das idéias da época era que esse espaço era preenchido por um meio denominado éter luminífero (CASSINI; LEVINAS, 2005). O éter devia ser um meio sutil onde os planetas e os demais astros podiam se mover livremente e, ao mesmo tempo apresentar também características de um sólido elástico, para propagar ondas luminosas transversais. Este éter que possuía propriedades estranhas, foi concebido como uma espécie de realização de espaço absoluto, exigido por Isaac Newton: contínuo, homogêneo e isotrópico.

Na mesma época, James Clerk Maxwell (1831-1879) influenciado por Michael Faraday (1791-1867), acreditava que as forças eletromagnéticas não podiam ser produzidas diretamente a distâncias. Porém, em vez de se concentrar, principalmente, nas linhas de força, como Faraday, foi gradualmente voltando-se para a idéia de uma substância que preenchia todo o espaço e que transmitia os efeitos eletromagnéticos (MARTINS, 2005).

No início do século XIX, praticamente todos os físicos aceitavam que a luz era uma onda que se propagava no éter. Maxwell adotou a idéia do éter e, quando mostrou que a luz era também um fenômeno eletromagnético, tornou-se então natural pensar que esse mesmo éter era tanto intermediário das forças eletromagnéticas quanto o meio que transmitia as vibrações luminosas. Em sua teoria, o éter possuía diversas propriedades mecânicas: ele produzia forças e tensões; continha energia cinética e potencial; continha momento mecânico. A

versão final da teoria de Maxwell foi publicada em 1873, em seu livro *Treatise on electricity and magnetism* (MARTINS, 2005).

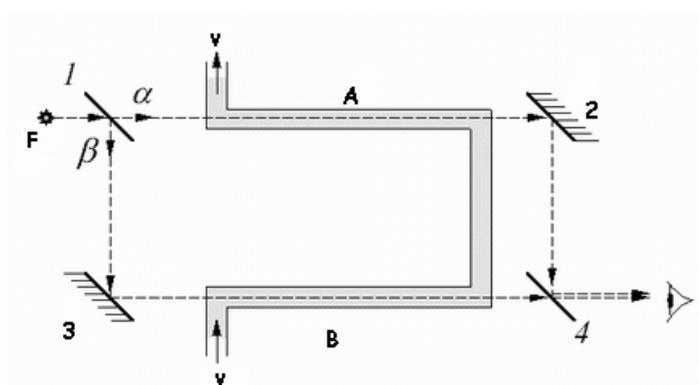
Em 1888, a conjectura de Maxwell foi confirmada com boas previsões, pelos experimentos que Hertz realizou com ondas de rádio (CASSINI; LEVINAS, 2005). Pode-se dizer que, no final do século XIX, quase todos os físicos haviam se convencido de que a teoria de Maxwell descrevia corretamente todos os fenômenos conhecidos e que o éter eletromagnético realmente existia (MARTINS, 2005).

5.2 Tentativas de Detecção do éter em relação ao Movimento da Terra

No século XIX o éter começou a ser bastante estudado pelos físicos da época. Uma grande parte desses estudos foi dedicada a estudar como os movimentos dos corpos em geral poderiam alterar o comportamento do éter, e vice e versa. No período de 1810 e 1890 vários experimentos foram realizados com base na existência do éter, onde destacaremos apenas o realizado por Fizeau, Michelson e Michelson-Morley.

5.2.1 O Experimento de Fizeau

Um dos experimentos mais conhecidos para detectar a influência do movimento sobre fenômenos óticos foi realizado Armand-Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896), em 1851. O propósito do experimento era medir o efeito do arrastamento da luz por um meio transparente em movimento (MARTINS, 2012). Vejamos o esquema abaixo:



Um feixe de luz é emitido por uma fonte F e dividido em dois (α e β) por um espelho semitransparente, os quais seguem os caminhos 1-2-4 e 1-3-4, respectivamente. A água em uma coluna é bombeada a alta pressão seguindo a direção de v . O feixe α segue um caminho em que encontra a água no sentido oposto a sua propagação, enquanto o feixe β segue outro caminho e encontra a água no mesmo sentido de sua propagação.

Um observador na posição 4 vê as franjas de interferência em duas situações, com e sem velocidade da água. O resultado encontrado é um deslocamento muito pequeno das franjas de interferência do caso em que a água estava em repouso para o caso e que a água estava em movimento.

Essa experiência foi realizada com o propósito de decidir entre as várias hipóteses existentes na época sobre o estado do éter luminoso nas proximidades de um corpo em movimento. Ou seja, se o éter tomava parte do movimento dos corpos de maneira completa ou parcial, ou se não era influenciado por esse movimento. O resultado do experimento foi interpretado como compatível apenas com as consequências tiradas da hipótese de Fresnel de um éter parcialmente arrastado. No entanto, Fizeau aceitou a fórmula de Fresnel como uma verdade estabelecida pelo experimento, mas ainda duvidava da realidade descrita pela hipótese que lhe parecia extraordinária (PIETROCOLA, 1993).

Atualmente sabe-se que o resultado do experimento foi positivo, uma vez que ele não se baseou na velocidade da Terra em relação ao éter, mas no movimento da água em relação aos equipamentos de medida. Por ser um experimento que evidenciou efeitos do movimento, teve papel fundamental na proposição da teoria da relatividade.

5.2.2 O Experimento de Michelson (1881) e de Michelson-Morley (1887)

A idéia que se tinha de éter como referencial privilegiado onde a velocidade da luz era constante permitia a princípio medir a velocidade absoluta com o qual um corpo se movia (CASSINI; LEVINAS, 2005). Em 1878, por exemplo, Maxwell analisou novos métodos para determinar a velocidade da Terra através do éter. Um deles se baseia na medida do tempo que a luz leva para ir e voltar entre dois pontos, quando esse movimento é paralelo ou perpendicular à

velocidade da Terra. O efeito seria de segunda ordem em v/c , impossível de se medir diretamente (MARTINS, 2012). A diferença dos tempos, por sua vez, permitiria calcular a velocidade da Terra em relação ao éter.

Em 1881, A. A. Michelson (1852-1931) inicia seus estudos e inicia a construção do seu experimento (conhecido como interferômetro) na cidade de Potsdam, na Alemanha. A idéia com o seu interferômetro era então comparar a velocidade de uma onda que se propagava na direção do éter com a velocidade de outra onda que se propagava perpendicularmente ao éter. Dessa forma, a onda que se propaga paralelamente ao movimento do éter irá estar sujeita a uma alteração em sua velocidade de propagação. Analogamente a onda que se propagasse perpendicularmente ao éter não iria sofrer nenhuma alteração em sua velocidade (CASSINI; LEVINAS, 2005).

O experimento consiste na emissão de um feixe de luz por uma fonte de luz monocromática. Esse feixe se propaga até um espelho semi-refletor, deixando passar metade da luz e refletindo de 90 graus a outra metade. As duas metades então incidem nos dois espelhos, que são totalmente refletores, fazendo assim com que os dois feixes voltem e se superponham novamente no espelho semi-refletor ao centro. O feixe recomposto então incide no anteparo onde se pode analisar a diferença de fase entre os dois feixes.

Michelson realizou o experimento sem, no entanto observar o deslocamento previsto nas franjas de interferência. Assim chegou à seguinte conclusão: *“A interpretação destes resultados é que não há nenhum deslocamento das franjas de interferência. O resultado da hipótese do éter estacionário tem se mostrado incorreta, e a conclusão necessária é que a hipótese está errada”* (MICHELSON, 1881, p.128).

Na verdade, no experimento de Michelson, existia um erro de cálculo na composição de velocidades no braço do experimento orientado perpendicularmente (CASSINI; LEVINAS, 2005). O aparelho apresentava um erro de medida maior que o desvio esperado e por isso era preciso diminuir o erro da observação, aumentando a precisão do aparelho.

Em 1887, na cidade de Cleveland, Estados Unidos, Michelson com o auxílio do cientista estadunidense E. W. Morley (1838-1923) retomou o

experimento deixando ainda mais preciso do que o realizado em 1881. Apesar de ser bastante importante a brilhante forma como os cientistas construíram o experimento ela não será discutida neste trabalho.

Para melhorar a sensibilidade do equipamento, o novo experimento foi feito de maneira que o feixe luminoso refletisse várias vezes entre vários espelhos, aumentando assim o caminho do feixe, o que aumentaria o desvio das franjas a ser medido.

Assim, pela teoria de Fresnel, era de se esperar um desvio de 0,4 da distância entre as franjas de interferência. Infelizmente para os dois cientistas, na rotação do equipamento de 360 graus, não foram observados desvios superiores a 0,02 da distância entre as franjas, ou seja, provavelmente este valor estava associado ao erro do experimento. As observações foram refeitas, mas sem êxito. No artigo "*On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether*" os cientistas cometam: "Parece, de tudo o que precede, razoavelmente certo que se houver qualquer movimento relativo entre a Terra em relação ao éter luminífero, deve ser pequeno, muito pequeno o suficiente para refutar totalmente explicação de Fresnel para o fenômeno da aberração" (MICHELSON; MORLEY, 1887, p. 341).

Na perspectiva anterior o experimento construído por Michelson e Morley para detectar o movimento da Terra em relação ao éter não forneceu o êxito esperado, sendo que desta vez o equipamento possuía boa sensibilidade capaz de detectar o desvio esperado caso ele realmente existisse.

Depois do experimento de Michelson-Morley, muitos outros experimentos foram realizados com o mesmo objetivo (inclusive por Michelson e Morley). Em nenhuma ocasião se detectou a existência do "vento de éter" próximo do previsto. Os poucos resultados positivos como os de Miller, realizado em 1924 – 1925 podiam ser atribuídos a erros experimentais de influencias perturbadoras, como altas temperaturas ou vibrações dos instrumentos (CASSINI; LEVINAS, 2005).

5.3 Relatividade antes do trabalho de Einstein em 1905

As contribuições para construção da Teoria da Relatividade Restrita foram feitas por vários pesquisadores da época, mas nesse trabalho descreveremos em particular as contribuições do físico Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) e do matemático Henri Poincaré (1854-1912).

No século XIX a maioria dos físicos estava particularmente preocupada com a perspectiva de preencher o vácuo deixado pela crise do mecanicismo, através de um programa eletromagnético que se tornasse novamente elemento unificador da física. A teoria eletromagnética de Lorentz é uma tentativa de produzir esta unificação através da interação entre o éter e as cargas elétricas. Esta teoria era compatível, até primeira ordem em v/c , com os resultados da aberração da luz das estrelas, do arrastamento parcial dos raios luminosos pela matéria em movimento, do efeito Doppler, fenômenos nos quais não se podia observar o movimento da Terra em relação ao éter (VILLANI, 1981).

Em 1887, quando Michelson e Morley realizaram o famoso experimento do interferômetro, que são de segunda ordem em v/c , as previsões deveriam ter aparecido. No entanto o resultado nulo do experimento trouxe algumas complicações para as idéias de Lorentz. Em 1892, ele chega à conclusão que este resultado nulo poderia ser explicado se todos os corpos em movimento através do éter sofressem uma contração. Nesse trabalho Lorentz chegou ao resultado aproximado:

$$L = L_0(1 - v^2/2c^2) \quad (1)$$

Posteriormente, Lorentz passou a utilizar a expressão exata $L = L_0(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, que representaria a contração dos corpos através do éter (MARTINS, 2005).

Ainda no ano de 1892, Lorentz já acreditava em uma analogia entre as forças elétricas e moleculares e em 1895 ele desenvolveu a hipótese de que as forças moleculares se transformassem da mesma forma que as elétricas. Dessa maneira a contração dos corpos em movimento dependeria diretamente da manutenção do equilíbrio, a nível molecular. No mesmo trabalho Lorentz

introduziu uma grandeza que tinha função auxiliar: o tempo local, que diferentemente do tempo absoluto não podia ser observado diretamente. Através desta variável fictícia Lorentz pode enunciar o seu teorema dos estados correspondentes, que introduzia uma simetria na dependência funcional entre os campos e as coordenadas espaços-temporais no sistema de referencia do éter e em movimento (VILLANI, 1981). Em 1904, Lorentz publica a versão final de seu trabalho juntamente com suas equações de transformações, que é intitulado “Fenômenos eletromagnéticos num sistema que se move com qualquer velocidade inferior à da luz”. Além disso, o seu trabalho ainda consta uma proposta sobre a forma e a estrutura do elétron. Em sua formulação, a teoria de Lorentz abrangia uma série de estranhos fenômenos, pelas quais a teoria da relatividade é hoje conhecida: contração do comprimento bem como a retardação de processos como função do sistema inercial do observador, e até mesmo o aumento da massa de um corpo com sua velocidade (RENN, 2004).

Contudo, diferentemente do que se considera atualmente, para Lorentz suas transformações não tinham o objetivo de garantir que as leis que valessem num referencial fixo também valessem num referencial que se move com velocidade uniforme. Para ele valiam ainda, acima de tudo, as transformações de Galileu, que, no entanto só garantiam o princípio da relatividade na mecânica (RENN, 2004).

No trabalho de 1905 e publicado em 1906, o matemático Henri Poincaré reinterpreta o tempo local de Lorentz, dando a ele um significado físico, tal como um relógio da localmente. As fórmulas de transformação tiveram como consequência uma lei da adição das velocidades diferente das de Galileu (esta propriedade notada por Poincaré não foi notada por Lorentz). Desta forma, Poincaré obteve a invariância da velocidade da luz e uma forma invariante das equações de Maxwell-Lorentz sob as transformações do referencial de Lorentz, o que implicava respeitar o princípio da relatividade, princípio este que o Poincaré já estava defendendo há alguns anos (PATY, 2010).

A teoria de Poincaré, apesar de possuir uma estrutura e significação conceitual diferente da teoria de Einstein, produzia consequências equivalentes no que diz respeito às fórmulas. Poincaré também não detalha, na sua teoria, a implicação, para a definição de tempo e de espaço, da nova lei da adição de

velocidades, a qual resulta, nele, da hipótese da contração de Lorentz e as transformações que a generalizam. Provavelmente, ele o faria se tivesse percebido a importância, pois ele teria efetuado, em um trabalho independente, uma análise da simultaneidade do tempo em termos de correspondências de sinais. O fato é que ele não considerou essa crítica no seu trabalho de eletrodinâmica, certamente porque ele estava, sobretudo, voltado para suas preocupações com a dinâmica (PATY, 2010).

5.3.1 Quais foram as contribuições de Einstein para a Teoria da Relatividade Restrita?

Como vimos muitos resultados importantes da relatividade foram obtidos, antes do artigo de 1905 de Einstein, por Lorentz, Poincaré e outros. Segundo Martins (2005) quando Einstein publicou seu primeiro trabalho sobre relatividade já se conhecia: o princípio da relatividade; as transformações de Lorentz para o espaço e tempo; as transformações das grandezas eletromagnéticas; e a maior parte da dinâmica relativística. Ainda para Martins (2005) Einstein introduz três novidades na teoria, na qual duas podem ser consideradas como boas contribuições. A primeira é a estruturação da teoria da relatividade restrita de forma mais simples do que fizera Lorentz e Poincaré. Einstein deduziu os resultados básicos a partir de dois postulados (As leis que governam as mudanças de estado em quaisquer sistemas físicos tomam a mesma forma em quaisquer sistemas de coordenadas inerciais; A luz tem velocidade invariante igual a c em relação a qualquer sistema de coordenadas inercial). A segunda novidade é de caráter epistemológico, Einstein negou a existência do éter por acreditar que a física deveria lidar apenas com aquilo que se pode medir e observar. Pode-se dizer que todos os experimentos que confirmaram a teoria de Einstein confirmaram também as teorias de Lorentz e Poincaré, e que essas teorias nada mais são do que interpretações diferentes da mesma teoria física.

6. Interpretação e Análise dos Livros Didáticos

Nesta seção apresentamos alguns das interpretações e análises das abordagens dos quatro livros didáticos, ora analisados, acerca de abordagens sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

6.1) Abordagens do Livro Didático LD1

No início do Capítulo “Teoria da Relatividade Restrita” encontra-se uma breve introdução acerca da Teoria da Relatividade Restrita ressaltando, de forma coerente, que a mencionada teoria é resultante do trabalho de vários cientistas (físicos, matemáticos, filósofos).

Na seção nomeada *Transformações e invariantes* os autores do livro LD1 tratam a relação entre o experimento de Michelson-Morley e as transformações de Lorentz. Acerca desta, comentam:

Havia duas correntes conceituais a respeito da luz: a corpuscular e a ondulatória; segundo a interpretação ondulatória, a luz é uma perturbação que se propaga em um meio impalpável, o éter [...]. Em 1887, Albert Michelson e Edward Morley havia produzido a primeira evidência forte de que o éter não existia. Sabendo que em 1904 o físico holandês Hendrik Lorentz havia aplicado novas transformações nas equações de Maxwell, para mantê-las invariantes, Einstein propôs que fossem aplicadas não apenas aos fenômenos eletromagnéticos, mas a toda física, de modo que essas leis se tornassem invariantes em qualquer referencial (p.236).

Verifica-se que, esta abordagem encontra-se confusa. Pode-se perceber que os autores não aclaram a relação entre o éter e os trabalhos de Lorentz e Einstein. Uma possível interpretação que se pode ter a respeito da menção é a de que Einstein generalizou as transformações de Lorentz devido ao resultado nulo do experimento de Michelson-Morley.

Em primeiro lugar, até hoje não se sabe ao certo se Einstein tinha conhecimento desse experimento quando desenvolveu sua Teoria da Relatividade Restrita (TRR). Em segundo, a existência do éter não invalidaria a generalização feita por Einstein, ao contrário do que se interpreta no contexto acima.

No decorrer do capítulo tem-se uma seção nomeada *Para saber mais*, na qual os autores do livro LD1 mencionam uma obra referente a Einstein. Na seção seguinte, nomeada *A física na história*, os autores descrevem de forma breve apenas a vida e obra de Einstein.

Opinamos que, a partir da abordagem anterior, o leitor poderá ter a conclusão de que praticamente toda a Teoria Relatividade Restrita foi desenvolvida exclusivamente por Einstein.

6.2) Abordagens do Livro Didático LD2

O livro didático LD2 inicia a discussão histórica da gênese da Teoria da Relatividade Restrita no capítulo “Relatividade Especial”. A mencionada discussão inicia-se a partir dos resultados conflitantes encontrados no eletromagnetismo quando sujeito as transformações de Galileu.

Na sequência, os autores discutem a importância do éter no eletromagnetismo bem como as experiências para detectar esse meio. Porém ao citar o experimento de Michelson-Morley faz um comentário equivocado

[...] cogitava-se a existência de um meio universal, absolutamente estacionário, denominado éter, que preenchia todo o espaço através do qual a luz se propagaria com velocidade constante. Muitas experiências foram levadas a efeito na tentativa de buscar essa evidência. Uma delas a experiência de Michelson-Morley (1887) demonstrou, com notável precisão, que esse meio não existe (p.187).

O fato de que o experimento de Michelson-Morley não ter detectado o movimento da Terra em relação ao éter não quer dizer que não exista. Até porque, o próprio Michelson nunca deixou de acreditar na sua existência. No caso da incompatibilidade do eletromagnetismo frente às transformações de Galileu o LD2 aponta que esta foi resolvida por Lorentz e Poincaré ao apresentarem um conjunto de relações matemática. Acerca desses, comentam:

Para Lorentz e Poincaré, essas equações não passam de meras curiosidades matemáticas, sem significado físico. Esse significado seria encontrado pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955) (p.190).

A interpretação que se tem é que a única contribuição dada por Lorentz e Poincaré foram as transformações e que ainda sim, eles não sabiam o que estavam fazendo. Daí Einstein aparece e as interpreta de forma correta e desenvolve a Teoria da Relatividade Restrita. Essa abordagem, sem dúvida nenhuma, prejudica o uso da HFC no ensino uma vez que não proporcionar a visão da ciência como construção humana.

6.3) Abordagens do Livro Didático LD3

O livro didático LD3, no capítulo “A Teoria da Relatividade”, inicia o primeiro tópico intitulado “A origem da relatividade” expondo

A teoria da relatividade restrita foi criada pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955) em duas etapas: em 1905 ele publicou um trabalho que mais tarde ficou conhecido pelo nome de Teoria da Relatividade Especial, que trata do movimento uniforme; e em 1915, publicou a Teoria da Relatividade Geral, que trata do movimento acelerado e da gravitação. [...] As reflexões de Einstein, que mais tarde o levaram à criação da Teoria da Relatividade, começaram quando ele tinha 16 anos. Em uma carta enviada a um tio, juntou um pequeno trabalho sobre alguns problemas (da luz e do eletromagnetismo) que ocupavam sua mente [...] (p.456).

A ideia que se tem aqui é de uma teoria construída única e exclusivamente por Albert Einstein. Em momento algum o livro faz menção a Lorentz (nem mesmos as transformações que levam seu nome), Poincaré e outros pesquisadores, dando a ideia equivocada de uma ciência construída apenas por “grandes gênios”.

Na seção seguinte, denominada “Os postulados de Einstein” o livro traz

Einstein apresentou a solução desses problemas em um trabalho intitulado “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” [...]. A argumentação de Einstein se desenvolveu a partir de dois postulados [...]. Com o segundo postulado, Einstein elimina o éter da física [...] (p.458).

Como já foi dito neste trabalho a ideia do éter é compatível com os postulados da teoria da relatividade restrita, e o fato de Einstein ter negado o éter

é atribuída a uma questão epistemológica, ele acreditava que a física não devia lidar com aquilo que não se pode medir e observar.

6.4) Abordagens do Livro Didático LD4

O livro didático LD4, diferentemente dos demais, não dedica um capítulo a TRR. No capítulo “Física Moderna” o LD4 trata da relatividade em um único tópico (Da inexistência do éter à Teoria da Relatividade Restrita), onde se inicia discutindo a natureza da luz e sua propagação num meio denominado éter. O éter como meio hipotético deveria então ser encontrado experimentalmente, mas segundo o LD4

Todas as tentativas experimentais para detectá-lo [...] fracassaram. [...] Mas havia outra questão conceitual que ainda precisava do éter: a necessidade de um referencial universal absoluto exigido pela física clássica [...]. Essa dificuldade teórica também foi resolvida por Einstein em 1905, em outro celebre artigo – Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento-, no qual estabelece os dois postulados básicos da Teoria da Relatividade Restrita (p.522).

Pode-se perceber que o livro didático LD4 atribuem, equivocadamente, o surgimento da Teoria da Relatividade Restrita a inexistência do éter. Além disso, assim como procederam no LD3, no LD04, os autores não menciona, em nenhum momento, as contribuições de outros pesquisadores dando a entender que a teoria da relatividade restrita é fruto de um trabalho exclusivo de Einstein.

7. Considerações Finais

A análise de como alguns dos mais recentes livros didáticos de física aborda o surgimento da TRR nos mostra que a HFC, apesar de estar mais presente no ensino, ainda é apresentada de maneira equivocada e superficial. As obras se preocupam apenas com os conteúdos por si só deixando de lado outros fatores como o processo de construção do conhecimento, papel dos cientistas no desenvolvimento da ciência entre outros aspectos.

Dos vários problemas encontrados o mais comum é o de que a TRR teria sido originada de um trabalho exclusivo de Einstein. Atribuir, a uma única pessoa, uma teoria complexa como a relatividade, é uma distorção completa da história (MARTINS, 2005). Esta visão simplificada da HFC acaba prejudicando o entendimento dos alunos com respeito à construção do conhecimento científico.

Outro aspecto importante refere-se à ideia clara que alguns livros didáticos expõem de que a TRR teria sido uma consequência do resultado nulo do experimento de Michelson-Morley. Sem dúvida nenhuma, experimentos e observações são importantes na física, mas a relação entre a empiria e a teoria é bem mais complexa do que expõe os livros didáticos. A história empirista não só empobrece a história da ciência, mas também induz a visões distorcidas da natureza da ciência e do empreendimento científico (DA SILVEIRA; PEDUZZI, 2006). Pode-se dizer que a HFC encontrada nas obras supracitadas esta longe de alcançar as potencialidades expostas na introdução deste trabalho.

8. Referencias

- 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 Básica. **Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio, 2009**, Brasília: DF, 2008.
- CASSINI, L. LEVINAS, L. La interpretación radical del experimento de Michelson-Morley por La relatividad especial. **Scientiae Studia**, São Paulo, v.3, n.4, p. 547-81, 2005.
- COSTA, F. V. et al. O uso do livro didático no desenvolvimento da disciplina física no ensino médio. **Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, 2007.
- DA 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, 2006.

DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no ensino médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34 n.2, 2502, (2012).

GUÇÃO, M. F. B. et al . Uma análise do conteúdo histórico nos livros didáticos do ensino médio: eletrostática. in: **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Curitiba: 2008.

GROCH, T. M. BEZERRA JR, A. G. O ensino da relatividade restrita e geral nos livros didáticos de física do PNLEM 2009. In: **Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Vitória: 2009.

MARTINS, R. A. Dinâmica relativística antes de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, n.1, p. 11-26, 2005.

_____ Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 2 – Física moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.15, n.3: 265-300, 1998.

_____ 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- Morley (1818-1880). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.29, n.1: 52-80, 2012.

MICHELSON, A. The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. **American Journal of Science**, 22, p.120-129, 1881.

MICHELSON, A., A. MORLEY, E. W. On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. **American Journal of Science**, 3ª série, 34, pp. 333-345, 1887.

OSTERMANN, F. RICCI, T. F. Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n.2: p. 176-190, 2002.

_____ Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n.1: p. 83-102, 2004.

PAGLIARINI, C. R. SILVA, C. C. A estrutura dos mitos históricos nos livros didáticos de física. in: **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Londrina: 2006.

PATY, M. **Pensamento racional e criação científica em Poincaré**. *Scientiae Studia*, São Paulo, v.8, n.2, p. 177-93, 2010.

PIETROCOLA, M.. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n.2: p. 157-172, 1993.

PNLEM/2007. Edital de convocação para inscrição no processo de avaliação e seleção de obras didáticas a serem incluídas no catálogo Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio. Disponível em :

<http://www.fnde.gov.br/home/ld_ensinomedio/edital_pnlem2007.pdf> Acesso em: 15 jun. 2006.

RENN, J.. A física de cabeça para baixo: Como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.27, n.1, p. 27-36, 2004.

SILVA, C. C. MARTINS, R. A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da historia da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação** 9 (1): 53-65, 2003.

SILVA, C. C. PAGLIARINI, C. R. A natureza da ciência nos livros didáticos de física. in: **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Curitiba: 2008.

SILVA, C. C. PIMENTEL, A. C. Uma análise da historia da eletricidade em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.2 , n.2: 141-159, 2008.

TERRAZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n.3: p. 209-214, 1992.

VILLANI, A. O Confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações. Parte II: A teoria de Lorentz e sua consistência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 3, n. 2, p. 55-76, 1981.