Serviço Público Federal

Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Instituto de Física

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências

Mestrado em Ensino de Ciências

Alanah Garcia da Silva

UMA DISCUSSÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA EM TIRINHAS

Campo Grande – MS
2018

Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Instituto de Física

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências

Mestrado em Ensino de Ciências

Alanah Garcia da Silva

UMA DISCUSSÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DA TEORIA DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA EM TIRINHAS

Relatório de qualificação apresentado ao Instituto de Física, ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de

Orientadora: Prof. Dra. Nádia Cristina G. Errobidart

Campo Grande – MS
2018

UMA DISCUSSÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DA TEORIA DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA EM TIRINHAS

Alanah Garcia da Silva

Relatório de qualificação submetido à banca do curso de Mestrado em Ensino de Ciências constituída dos seguintes membros:

_____

Profa. Dra. Nádia Cristina Guimarães Errobidart
Presidente da banca/orientadora
UFMS

_____

Prof. Dr. Felipe Damasio
Membro externo

_____

Prof. Dr. João José Caluzi
Membro interno
UNESP/UFMS

_____

Profa. Dra. Maria Inês de Affonseca Jardim
Suplente da banca
UFMS

RESUMO

O seguinte trabalho de pesquisa de mestrado tem como objetivo a construção de um texto histórico sobre a Teoria da Relatividade Restrita através de uma visão epistemológica contemporânea da Ciência, e, o transformar em Histórias em Quadrinhos e tirinhas. Para isso, após a construção do texto, começamos o processo de desenho dos quadrinhos, de cada cientista que contribuiu para a teoria, e, as suas ideias, observações e experiências realizadas para comprovar o seu raciocínio, assim como, a aceitação ou não da comunidade científica. Após essa etapa, criamos dois questionários destinados ao professor, relacionados ao texto e aos quadrinhos, e dois questionários destinados aos alunos, com tópicos de Natureza da Ciência e a Teoria da Relatividade Restrita. Apesar do trabalho não ter sido aplicado em sala de aula, concluímos que pode ser utilizado como uma importante ferramenta metodológica por ser capaz de atrais a atenção e motivar os alunos a aprender conceitos de Ciências, e em específico, de Física Moderna e Contemporânea.

Palavras chave: Teoria da relatividade restrita, história e filosofia da ciência, história em quadrinhos e tirinhas

ABSTRACT

The following master's research work has the objective of constructing a historical text on the Theory of Restricted Relativity through a contemporary epistemological view of Science, and transforming it into Comic Books and comic strips. For this, after the construction of the text, we began the process of drawing the comics, of each scientist who contributed to the theory, and his ideas, observations and experiments carried out to prove his reasoning, as well as the acceptance or not of the scientific community. After this step, we created two questionnaires destined to the teacher, related to the text and the comics, and two questionnaires destined to the students, with topics of Nature of Science and the Theory of Restricted Relativity. Although the work was not applied in the classroom, we conclude that it can be used as an important methodological tool because it is able to attract attention and motivate students to learn concepts of Science, and specifically, Modern and Contemporary Physics.

Keywords: Theory of restricted relativity, history and philosophy of science, comics and comic strips

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quantitativo de artigos identificados com as palavras chaves Teoria da Relatividade Restrita (TRR) e Física Moderna e Contemporânea (FMC) 15

Quadro 2: Relação dos artigos selecionados por periódico 16

Quadro 3: Questões a serem respondidas pelo professor para avaliar o texto histórico.....61

Quadro 5: Respostas dos professores.....64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

TRR – Teoria da Relatividade Restrita

TRE – Teoria da Relatividade Especial

HFC – História e Filosofia da Ciência

FM – Física Moderna

FMC – Física Moderna e Contemporânea

HFC - História e Filosofia da Ciência

GPS – Sistema de Posicionamento Global

HQ´s – História em Quadrinhos

EM – Ensino Médio

TEM - Teoria do Eletromagnetismo

Sumário

INTRODUÇÃO 14
1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA 14
1.1 UMA VISÃO SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA: A ANÁLISE 16
1.1.1 A Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio 16
1.1.2 Teoria da Relatividade Restrita e a História e Filosofia da Ciência 20
1.1.3 O ensino da Teoria da Relatividade Restrita por meio de softwares ou outras mídias computacionais: 25
1.1.4 Artigos originais e/ou textos científicos 26
1.1.5 Outros trabalhos encontrados 30
2 A CONSTRUÇÃO COLETIVA DE UMA TEORIA 32
4.1 UMA HISTÓRIA DE GALILEU E KEPLER 33
4.2 NEWTON, O BALDE E A LUZ COMO PARTÍCULA 39
4.3 HUYGENS À MAXWELL: A LUZ É UMA ONDA 41
4.4 O APARATO DE MICHELSON E MORLEY 44
4.5 A RELATIVIDADE E POINCARÉ 47
4.6 OS POSTULADOS DE EINSTEIN 48
4.6.1 Relativo? 50
4.6.2 Paradoxo dos Gêmeos 51
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA 53
3.1 OS CAMINHOS PERCORRIDOS NA PESQUISA 54
3.2 OS OBSTÁCULOS DO USO DA HISTÓRIA E FILOSFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA 56
3.3 A LINGUAGEM EM QUADRINHOS COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO 57
3.4 A LINGUAGEM DOS QUADRINHOS 59
3.5 A ANÁLISE DO TEXTO HISTÓRICO E DAS HQ'S PELO PROFESSOR DE CIÊNCIAS 61

3.6 OS AVALIADORES DO MATERIAL DIDÁTICO 62

RESULTADOS E DISCUSSÕES 64
CONCLUSÃO 69
REFERÊNCIAS 71

INTRODUÇÃO

Todo mundo tem uma história para contar, e a Ciência não poderia ser diferente. Por isso, pensando em maneiras de não elaborar aulas baseadas no ensino tradicional, muitos autores estão defendendo o uso da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino.

Um desses autores, Quintal e Guerra (2009), acredita que os professores estão buscando outras maneiras e metodologias em sala de aula pelo fato de que o ensino atual está imerso a uma crise, que é evidenciada pela grande evasão de alunos (e professores que estão abandonando as salas de aula) devido a um desinteresse em decorar fórmulas, teoremas e teorias de um modo geral.

Pensando nisso, muitos professores de Ciências estão inserindo em suas aulas tópicos de HFC em suas aulas, com questões históricas, filosóficas, políticas e sociológicas, e, essa inclusão está se mostrando muito eficaz e positiva, pois a HFC pode:

> [...] humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do "mar de falta de significação" que se diz ter inundado as salas de aula, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam [...] (QUINTAL e GUERRA, 2009. p. 21)"

Todavia, é necessário realizar essa inclusão sem fugir do referencial utilizado em sala de aula. Então, para tornar o currículo de Ciências mais perto da realidade dos estudantes, cabe ao professor mostrar que o Ensino, em específico nesse trabalho, de Física, não se resume a decorar leis e fórmulas, mas sim, baseia-se em um processo de descoberta do mundo. Apesar das dificuldades encontradas em sala de aula, que vão desde o desinteresse dos alunos até a estrutura física de muitas escolas, concordamos com Frederico e Gianotto ao afirmarem que "[...] o que nos parece mais intrigante neste processo, é fazer com que os alunos saibam assimilar e, principalmente, interligar as informações e conhecimentos discutidos pela escola (FREDERICO e GIANOTTO, 2012, p.200)".

Concordamos com Guerra (2009), Forato, Pietrocola e Martins (2011) e Martins (2007), ao afirmarem que a HFC pode ser pensada tanto como um conteúdo das disciplinas científicas quanto como uma estratégia de ensino. Isso, porque ela permite que o aluno compreenda a evolução das ideias, conceitos e teorias a serem

estudadas, uma vez que possibilita que o estudante visualize os erros científicos, os experimentos e observações realizadas pelas cientistas, a troca de ideias por pares e o abandono de teorias até chegar a uma formulação aceita pela comunidade científica. Esses tópicos são pautados na visão epistemológica contemporânea da ciência.

Por isso, evidenciamos na literatura trabalhos de autores como Machado e Nardi (2006), Pereira e Ostermann (2009), Cunha e Gomes (2012), Barcellos e Guerra (2015) entre outros que estão investigando o uso da HFC no ensino através da elaboração de sequências didáticas, aparatos experimentais, criação de softwares/ jogos educacionais, construção de textos históricos e a criação de Histórias em Quadrinhos e tirinhas (HQ's).

Pensando nesses dois últimos exemplos, a construção de textos históricos e a criação de HQ's, buscamos responder a seguinte questão de pesquisa: qual grau de aceitação de um material didático pautado na linguagem de quadrinhos, que explora aspectos históricos da construção do conhecimento, relacionado a Teoria da Relatividade restrita, por parte de professores da educação básica?

No entanto, antes de responder a essa pergunta e traçar objetos, justificamos a escolha da Teoria da Relatividade Restrita pelos trabalhos de Ostermann e Moreira (2000), Kikuchi, Ortiz e Batista (2005), Guerra, Braga e Reis (2007), Karam, Cruz e Coimbra, Caruso e Freitas (2009), Uchoa (2013),Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014), Jardim, Otoya e Oliveira (20015), Martins (2015), Vanzella (2016) entre outros. Eles afirmam que a inclusão de temas relacionados a Física Moderna e Contemporânea, em específico a Teoria da Relatividade Restrita (tema da pesquisa) é de extrema importância pelo fato de possibilitarem demonstrar aos alunos a evolução das ideias até os dias atuais, assim como, ofereceram explicações para objetos utilizados em nossos cotidianos como microondas, raios X, telefones celulares, Wi-fi, GPS entre outros.

E, para o ensino da TRR, escolhemos o uso da História em Quadrinhos e tirinhas pelo fato de que essa ferramenta pode ser utilizada como um elemento motivador, tornando a aula mais dinâmica, como apontam Caruso, Carvalho e Silveira (2002), Pena (2003), Caruso e Freitas (2009), Frederico e Gianotto (2012) e Silva, Ataíde e Venceslau (2015). Para Souza et al (2013), além de motivacional, o uso das HQ's pode inclusive aumentar o interesse dos alunos pela Ciência, além de se mostrar uma ferramenta efetiva para contextualizar os conteúdos da Física com o momento histórico em que a teoria foi desenvolvida, e, relacionar cada conceito aos cientistas,

e demonstrar as suas contribuições (que muitas vezes aparece nos livros como apenas um busto isolado).

Após a justificativa da escolha do tema e o uso da ferramenta educacional, traçamos os objetivos a serem seguidos. Como queríamos relacionar a História e Filosofia da Ciência com a Teoria da Relatividade Restrita e a História em Quadrinhos e tirinha, os nossos objetivos foram: elaborar um texto histórico sobre a TRR explorando a visão epistemológica contemporânea da Ciência como um material de apoio ao professor (mas que também pode ser utilizado pelos alunos, caso necessite); elaborar uma História em Quadrinhos a partir do texto histórico (para o aluno) e elaborar uma sugestão de plano de aula para utilização do material didático produzido.

Para a realização dessa pesquisa de mestrado, buscamos na literatura trabalhos relacionados a TRR (capítulo 1 – pesquisa bibliográfica) para nos dar subsídios necessários a construção de um texto histórico com uma abordagem epistemológica contemporânea. Para isso, selecionados dez periódicos e realizamos a pesquisa após a definição das palavras chaves. Após realizar as pesquisas, fizemos um fichamento dos textos (objetivos, metodologias, resultados e conclusões) e então, os separados em categorias para facilitar a análise.

Após a análise, separamos os trabalhos que seriam utilizados para a construção do texto histórico, descrito no capítulo 2. Esse texto foi escrito com o objetivo de demonstrar a construção histórica da Teoria da Relatividade Restrita desde o cientista Galileu até a sua formulação final, por Albert Einstein. Para facilitar a leitura, o dividimos em capítulos de acordo com cada ideia do texto, por exemplo: o movimento relativo discutido por Galileu e Kepler; a luz como partícula, proposta por Isaac Newton; a luz como uma onda, por Young e Fresnel, a união da eletrodinâmica e do eletromagnetismo, com Maxwell, o interferômetro de Michelson e Morley; a relatividade de Poincaré e o paradoxo dos gêmeos, por Einstein. Nesse texto, também colocamos notas de rodapé que podem ajudar o professor, e as tirinhas correspondentes as ideias apresentadas no texto.

O terceiro e último capítulo apresenta os elementos teóricos e metodológicos que orientam a pesquisa. Para tais orientações, apresentamos as características de um trabalho com embasamento histórico e filosófico, uma vez que buscamos descrever o processo da construção da teoria levando em consideração os aspectos sociais do cotidiano de cada cientista.

Depois, apresentamos as visões epistemológicas empirista-indutivista e contemporânea da Ciência, sendo essa última a utilizada para a construção do texto. Escolhemos essa visão devido ao fato de possibilitar analisar a produção científica, o desenvolvimento da teoria, as ideias abandonadas e aceitas pela comunidade científica e não apenas a sua formulação final.

Neste capítulo também apresentamos as linguagens dos quadrinhos, descritas por Rama e Vergueiro (2008), como utilizar dos balões de fala e pensamento, narradores, e, além da linguagem verbal, a utilização da linguagem através das imagens.

E, por fim, elaboramos uma sugestão de uso das HQ's, onde sugerimos que o professor comece a aula utilizando os questionários relacionados a Natureza da Ciência e a Teoria da Relatividade Restrita. Após essa aplicação, ler e discutir as tirinhas com os alunos, e por fim, reaplicar os questionários para comparar as respostas.

1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para realizar a pesquisa bibliográfica, demonstrada abaixo, utilizamos como referência os procedimentos sugeridos por Rosa (2015), no qual considera ser preciso:

> Definir um conjunto de palavras chave para orientar o processo de seleção dos artigos que irão compor a pesquisa: Realizar a definição do escopo tomando como referência o tipo de documento, os campos explorados e o intervalo de tempo no qual se pretende realizar a pesquisa. Após essas etapas, inicia-se a análise dos dados coletados, realizando uma leitura em busca de informações que podem contribuir com o estudo que será realizado, produção de um fichamento e por fim, a construção do texto da análise documental. Ele pode ser escrito no formato de crônica, quando [...] descrevemos o que cada um dos trabalhos analisados produziu: qual pergunta respondeu, qual metodologia usou, quais resultados obteve e assim por diante" (ROSA, 2015, p. 87). Ou podemos produzir uma síntese, agrupando resultados semelhantes e diferentes evidenciados durante a leitura, para [...] construir uma visão geral sobre o campo de estudo (ROSA, 2015, p. 88).

Considerando as orientações de Rosa (2015), definimos o conjunto de palavras chave conforme com os nossos objetivos, sendo: teoria da relatividade restrita (TRR), teoria da relatividade especial (TER), o ensino da teoria da relatividade restrita, história da relatividade restrita, sequências didáticas (ou de ensino, ou unidades de ensino) sobre a teoria da relatividade restrita, teoria da relatividade restrita nos livros didáticos e simulações explorando a teoria da relatividade restrita. Além dessas, considerando que a Teoria da Relatividade Restrita é um tema relacionado com o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), realizamos, para efeito de comparação, uma busca usando FMC como palavra chave.

Como escopo, selecionamos dez periódicos, sendo, oito nacionais e dois internacionais, que apresentam WebQualis entre A1 e B2, e, que tradicionalmente apresentam artigos sobre o ensino de física. São eles: Revista Brasileira de Ensino de Física e seu complemento a Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Investigação em Ensino de Ciências, Ciência e Ensino, Ciência e Educação, Revista Electronica de Ensenanza de Las Ciencias e Ensenanza de Las Ciencias.

Utilizando o dispositivo de busca dos próprios periódicos, buscamos pelas palavras chaves em todas as categorias (título, resumo e texto completo) no período de 2005 a 2016. Nela, identificamos o quantitativo apresentado no quadro 1.

Esclarecemos que para representar esses artigos no quadro, vamos para efeito de comparação, apresentar os resultados relacionados com a FMC e usar apenas o termo comum em todas as palavras chaves utilizadas na busca realizada: Teoria da Relatividade.

Quadro 1: Quantitativo de artigos identificados com as palavras chaves Teoria da Relatividade Restrita (TRR) e Física Moderna e Contemporânea (FMC)

Periódicos	TR	FMC
Revista Brasileira de Ensino de Física	20	104
A Física na Escola	1	4
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	6	29
Ciência e Educação	0	18
Ciência e Ensino	0	0
Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência	0	3
Investigações em Ensino de Ciências	2	7
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	2	7
Ensenanza de Las Ciencias	4	3
Revista Electronica de Ensenanza de Las Ciencias	1	47
Total	36	222

Fonte: a autora

Dos 222 artigos identificados com a palavra Física Moderna e Contemporânea, 36 correspondiam a temática Teoria da Relatividade Restrita. Quantitativo este, que representa quase ¼ do montante de artigos que exploram temas associados as pesquisas sobre FMC. Esse resultado sugere um interesse da comunidade acadêmica pelo ensino de Física Moderna e Contemporânea, e por isso, possui uma quantidade considerável de publicações.

Outro aspecto que consideramos interessante destacar é que o quantitativo de 36 artigos identificados nessa pesquisa é próximo ao resultado obtido por Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014). Tais autores realizaram uma pesquisa em periódicos semelhantes aos nossos da área de ensino e educação (com exceção do Journal of Research in Science Teaching, na qual não realizamos a busca, porque já tínhamos definido o escopo de revistas para o Trabalho de conclusão de curso, realizado como pré-requisito para a formação de Licenciatura em Física/UFMS) no período de 2005 a 2009, e, encontraram um total de 35 trabalhos que abordavam a Teoria da Relatividade Restrita.

No quadro 2, listamos os artigos identificados em cada um dos periódicos analisados.

Quadro 2: Relação dos artigos selecionados por periódico

Periódicos	Quantitativo	Artigos
Revista Brasileira de Ensino de Física	20	(BARROS ET AL, 2005); (MARTINS, 2005); (EINSTEIN, 2006); (MACHADO e NARDI, 2006); (DAHMEN (2006); (KARAM, DE SOUZA e COIMBRA, 2007); (GUERRA, BRAGA e REIS, 2007); (DE HOLANDA CAVALCANTI e OSTERMANN, 2007); (FAUTH, et al, 2007); (FALCIANO, 2007); (PORTO e PORTO, 2008); (CABALLERO, 2011); (ZANOTTA, CAPPELLETTO e MATSUOKA, 2011); (DE CONTO, et al, 2013); (ROCHA, RIZZUTI e MOTA, 2013); (RODRIGUES, SAUERWEIN e SAUERWEIN, 2014); (JARDIM, OTOYA e OLIVEIRA, 2015); (OTERO, ARLEGO e PRODANOFF, 2015); (KNEUBIL, 2016); (PELITI, 2016)
A Física na Escola	1	(DAMASIO e PEDUZZI, 2017);
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	6	(KOHNLEIN e PEDUZZI, 2005), (SANTOS, 2006), (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006), (CARUSO e FREITAS, 2009); (GUERRA, REIS e BRAGA, 2010), (DE ANDRADE MARTINS, 2012)
Investigações em Ensino de Ciências	2	(ARRIASSECQ e GRECA, 2006); (AYALA FILHO, 2010)
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	2	(SILVA, et al, 2013); (MOURA e GUERRA, 2013)
Ensenanza de Las Ciencias	4	(VALADARES, 2005), (PÉREZ e SOLBES, 2006); (SÁNCHES e SELVA, 2006), (MACHADO e NARDI, 2006)
Revista Electronica de Ensenanza de Las Ciencias	1	(MACHADO e NARDI, 2007)

Fonte: a autora

Após a leitura dos 36 artigos identificados, realizamos os fichamentos com o objetivo de relatar as ideias centrais de cada trabalho, e apresentá-los em categorias para facilitar a análise.

1.1 UMA VISÃO SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA: A ANÁLISE

1.1.1 A Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio

Nessa categoria, classificamos dez artigos que relatam a importância de inserir tópicos da TRR no ensino médio através da apresentação de sequências didáticas aplicadas (ou não), análises de livros didáticos, atividades experimentais entre outros, sem a exploração de aspectos da história da ciência e/ou uso de ferramentas computacionais (categorias 1.1.2 e 1.1.3, respectivamente).

Iniciamos descrevendo o trabalho de Arriassecq e Grega (2006). Os autores analisaram as noções de conceitos básicos de espaço e tempo dos alunos de uma escola de nível médio, da Argentina, que são consideradas necessárias para compreender a TRR. Para isso, os autores assistiram as aulas de mecânica galileana, que foram aplicada pelos professores desses alunos, e observaram que eles entendem tais conceitos como algo natural, ou então, a ser decorado através de uma equação como “dividir por t; t medido” (ARRIASSECQ e GREGA, 2006, p.193).

Além de assistirem as aulas, os autores também analisaram os livros didáticos que eram utilizados pelos professores, e, perceberam uma grande discordância entre o referencial curricular das escolas e o conteúdo que abordado em sala de aula. Para tentar encontrar uma justificativa entre essa diferença de conteúdo/referencial, realizaram uma entrevista com os professores. Estes, afirmaram que um dos motivos pelos quais a maioria não aborda o tema da pesquisa, era o fato de que não havia um capítulo sobre a TRR no livro didático, ou então, por não compreenderem a teoria.

Santos (2006), apresenta três diagramas que podem ser utilizados como um recurso auxiliar pelo professor, para explicar os conceitos de deformação espacial, e dilatação temporal em diferentes referenciais para alunos do primeiro ano da graduação em Física/Engenharia. Para utilizá-los, o autor propõe o uso de um pêndulo para apresentar a diferença entre sistemas de referencial (inercial e absoluto), pois esse recurso permite demonstrar quando um referencial está inercial ou acelerado.

Destacamos o uso do pêndulo empregado nesse trabalho, uma vez que o evidenciamos como base para a criação da tirinha/texto histórico em que Isaac Newton explica os tipos de referências (tirinha 65).

Perez e Solbes (2006), propõem que o ensino da TRR seja baseado em dois problemas: como dois observadores, em diferentes referenciais, podem observar o mesmo fenômeno? Esse fenômeno não deveria ser diferente? Para responder a tais perguntas, inicialmente os autores analisaram 38 livros didáticos, e posteriormente, montaram questionários baseados nos textos desses livros, para serem aplicados e verificarem a aprendizagem de um grupo de alunos de graduação em Física após um estudo teórico.

Em contrapartida, com outro grupo, fizeram uma abordagem com um outro texto desenvolvido pelos próprios autores. Esse segundo texto era contextualizado, apresentando a biografia do cientista Albert Einstein, demonstrava erros científicos, projetos sociais e as consequências da TRR para a sociedade. Após a comparação

dos resultados, os autores relataram que a abordagem contextualizada se mostrou mais significativa, uma vez que despertou um maior interesse por parte dos alunos.

Destacamos a utilização das perguntas do trabalho de Perez e Solbes (2006) no texto histórico apresentado no capítulo 3 para a criação da tirinha 34, ao relatarem a discussão do experimento imaginário proposto por Galileu Galilei e Johannes Kepler em relação ao movimento de um navio visto por dois observadores em diferentes referenciais (dentro do navio e fora do navio).

Sánchez e Selva (2006), apresentam um guia de atividades que foi desenvolvido como sugestão de ensino sobre os conceitos de espaço-tempo, energia e massa, através de uma abordagem CTS (ciência, tecnologia e sociedade). Esse guia contém um livro e um CD apresentando os conceitos da TRR através da mecânica newtoniana (destinado aos professores), um material digital contendo textos, biografias, teorias e links sobre a TRR e trinta animações computacionais (destinado aos alunos). Após a utilização do guia, os autores prepararam um curso para os professores com o objetivo de sanarem as dificuldades encontradas para a utilização do material.

Karam, De Souza Cruz e Coimbra (2007) apresentam parte de uma sequência didática que aborda tópicos da TRR, para uma turma de estudantes do primeiro ano do ensino médio. Nessa sequência, os autores discutiram os conceitos de movimento retilíneo para baixo, movimento relativo através das transformações galileanas, maneiras de detectar se um objeto está em movimento ou não, variação da velocidade e velocidade da luz, efeitos da dilatação temporal e a contração do movimento.

Os conceitos foram discutidos utilizando objetos comuns aos estudantes, como movimento de caminhões e caçambas, queda de um celular e o movimento de um skate. Ao final da discussão, os autores destacaram a resistência dos alunos à aceitação dos postulados, que não foram aceitas quando apresentadas durante a sequência didática.

Caruso e Freitas (2009), apresentam o resultado de um projeto de ensino sobre a TRR, realizado com alunos do ensino médio, pautado no emprego de histórias em quadrinhos. Nesse projeto, um dos alunos desenvolveu tirinhas após participar da oficina de educação através de histórias em quadrinhos (EDUHQ), ministrada por um dos autores. Os autores destacam que o aluno não tinha conhecimento prévio sobre o assunto e antes da elaboração das tirinhas, ministraram seminários e selecionaram

textos e livros para que o aluno estudasse, com o objetivo de se familiarizar com os conceitos da TRR e então, desenhar as tirinhas.

Para os autores, o uso de Histórias em Quadrinhos e tirinhas pode servir como instrumento de apoio aos professores devido ao fato de prenderem a atenção dos alunos, além do fator motivacional e lúdico. Como destacam que podem ser utilizadas em qualquer conteúdo de Ciências, inclusive em textos históricos, apostamos no nosso trabalho o uso da apresentação da TRR, e também a avaliação da unidade de ensino, através das tirinhas, com o objetivo de verificar se a aprendizagem dos nossos alunos foi potencialmente significativa.

Destacamos o artigo de Caruso e Freitas por ter uma abordagem parecida com a nossa, no entanto, diferente do objetivo do autor, não realizamos uma oficina para o ensino da TRR e a construção das HQ"s. Todavia, propomos o uso das nossas HQ's como objetivo de verificar a aprendizagem dos alunos.

Ayala Filho (2010) utiliza a noção de Perfil Conceitual como instrumento para investigar a aprendizagem da TRR e quais os obstáculos epistemológicos encontrados pelos alunos durante o seu trabalho. Para a investigação, o autor elaborou questões sobre a conservação de momento em colisões, conceitos de referencial segundo a mecânica newtoniana e relativístico, e, propagação da luz. Através das respostas dos alunos, o autor concluiu que eles não possuíam subsunçores em relação a TRR e que utilizavam formas espontâneas de raciocínio, principalmente sobre o conceito de referencial relativístico, respondendo conforme a teoria mecânica.

Silva et al (2013), pesquisaram a interação entre professores de Física durante um grupo de estudo de Física Moderna e Contemporânea, conforme as proposições de Bakhtin, através de discussões de componentes sociais, ideológicos e na interação entre as falas através das potencialidades do discurso.

Para isso, os autores participaram de cinco reuniões dos professores nas quais discutiram conceitos da TRR, e, identificaram regularidades na forma como organizavam as discussões, como exemplo, na ajuda mútua entre os colegas. Em relação a análise e transcrição das falas, utilizaram as contribuições metodológicas da análise textual discursiva, e como resultado, apontaram que a metodologia de discussão em grupo pode surgir efeito significativo em relação ao esclarecimento de dúvidas conceituais.

Jardim, Otoya e Oliveira (2015) analisaram os conceitos de massa relativística e em repouso em 14 livros didáticos, no ano de 2015. Para isso, buscaram na bibliografia argumentos que reforçam a discussão sobre os conceitos de massa, com o objetivo de obter parâmetros para a análise. Após definirem os parâmetros e realizarem a análise, os autores apresentaram os resultados individuais, e, concluíram que a maioria dos livros aprovados pelos PNLD não destacam a quantidade de movimento de uma partícula, assim como, a variação de sua massa. Com a análise, destacaram que além de apresentarem relações inadequadas, os livros também podem colaborar para concepções errôneas sobre a teoria.

Otero, Arlego e Prodanoff (2015), apresentam em seu trabalho a implementação e avaliação de uma sequência didática sobre a TRR, aplicada em uma escola em Buenos Aires – Argentina. A sequência envolve três etapas: a primeira, análise dos conceitos de referenciais e observadores; a segunda, o desenvolvimento da sequência com o objetivo de apresentar a ideia de invariância da luz e o conceito de relatividade; e por fim, a terceira etapa onde os autores realizaram uma discussão sobre as transformações de Galileu e a TRR reformulada por Einstein. Para a avaliação, os alunos deveriam desenvolver um produto final que poderia ser apresentado de forma verbal (oral ou escrito), gráficos e desenhos.

1.1.2 Teoria da Relatividade Restrita e a História e Filosofia da Ciência

Nessa categoria, foram classificados um total de dez artigos que relacionam a Teoria da Relatividade Restrita à História da Filosofia da Ciência. Tais trabalhos podem ser desenvolvidos através de sequências didáticas ou construções de textos históricos, podendo estar relacionados – ou não – ao ensino.

Iniciamos com o trabalho de Kohnlein e Peduzzi (2005), onde os autores apresentam um módulo didático para o ensino da TRR através da abordagem histórico-filosófica proposta por Thomas Kuhn. Para isso, desenvolveram uma unidade de ensino composta por 15 aulas de 45 minutos cada, com base nos três momentos pedagógicos. Inicialmente aplicaram um questionário aos alunos, contendo 15 questões sobre a natureza da ciência, e após essa etapa, apresentaram Histórias em Quadrinhos com o título ‘como um cientista trabalha’. Depois, prosseguiram com discussões históricas sobre os conceitos de referencial, movimento relativo e o princípio da relatividade de Galileu, tempo absoluto, transformações de Lorentz, dilatação temporal e por fim, a biografia do cientista Albert Einstein.

Os autores concluíram que obtiveram resultados positivos ao utilizarem a HC, afirmando que essa abordagem despertou um maior interesse entre os alunos. Destacamos o trabalho de Kohnlein e Peduzzi (2005) uma vez que os autores também desenvolveram um módulo didático utilizando HC, e pelo fato de que adaptamos seus questionários para a nossa avaliação diagnóstica. No entanto, apresentamos uma abordagem diferente a esse trabalho, uma vez que realizamos construção da ciência com enfoque epistemológico contemporâneo e por fim, a criação do texto histórico através de HQ`s.

Barros et al (2005), apresentam os resultados de uma discussão sobre os problemas da contração do comprimento descritos por Lorentz-Fitzgerald em relação do conceito de éter proposto por Fresnel. Para realizar a discussão, os autores elaboraram um texto histórico sobre a natureza do éter e o movimento relativo da Terra, o experimento de Michelson e Morley e a contração de objetos em altas velocidades, e concluíram que a contração do comprimento só surgiu devido a sua relação com o vento de éter. Neste trabalho, observamos o uso da visão epistemológica contemporânea ao descreverem a revisão da teoria por pares, objeto de estudo também utilizado em nosso trabalho.

Valadares (2005), utiliza o Vê de Gowin para apresentar um estudo histórico sobre a TRR ao analisar os trabalhos de Lorentz, em 1904, e de Einstein, em 1905. Após a análise dos textos, o autor elaborou um texto que levava em consideração os problemas a serem investigados a partir de acontecimentos, simultaneidade de dados, crenças a respeito do mundo e a importância da criação de teorias.

Com base nessas considerações, o autor preparou uma estratégia investigativa na qual o aluno procura respostas para os problemas apresentados, permitindo assim, a construção do seu conhecimento. Conforme Valadares, essa estratégia proporcionou uma participação maior por parte dos alunos, além de uma visão correta a respeito da teoria.

Dahmen (2006), apresenta a influência da filosofia de Kant aos pensamentos de Albert Einstein, como uma das raízes epistemológicas da TRR. Para demonstrar essa influência, o autor construiu um texto no qual descreve como a filosofia serviu de suporte para questões sobre a natureza do espaço e do tempo, pois Dahmen afirma ser necessário que o cientista conheça a origem do conhecimento, em específico, a origem da TRR. Conforme o trabalho, a filosofia kantiana permitiu que Einstein questionasse os fundamentos das teorias anteriores de modo que poucos cientistas

fizeram, como por exemplo, desconsiderar a existência do éter, uma vez que não era possível detectá-lo, ao invés de procurar entender a sua natureza.

Assim como o trabalho de Dahmen (2006), o nosso também tem como objetivo descrever o processo histórico da TRR, apontando a origem de ideias e experimentos, como os de Galileu e Kepler, e posteriormente, a necessidade de Newton explicar o que seria a luz, por exemplo, de maneira mais simples possível. Para isso, também utilizamos esse trabalho como base para o texto histórico.

Silveira e Peduzzi (2006), examinam o papel da experimentação na gênese de conhecimentos em três descobertas científicas: a física de Galileu Galilei, a Teoria da Relatividade Restrita e o modelo atômico proposto por Borh. Após a análise, elaboraram dois textos históricos: um sobre a história das descobertas e outro apontando as influências de outros cientistas nessas teorias – com maior enfoque na TRR – demonstrando que a ciência é feita por pares.

Nesses textos, percebemos a presença da visão epistemológica empirista-indutivista, ao apontarem para os resultados científicos através da apresentação de dados e resultados observáveis pela experimentação. Assim, evidenciam que Galileu desbancou a física aristotélica e a partir disso, continuou aplicando o mesmo método científico em outros experimentos, como por exemplo, nas medidas do movimento de um corpo em um plano inclinado.

Outro tópico interessante e também utilizado em nosso trabalho foi a apresentação das influências pitagóricas-platônicas na Física ao demonstrarem que Galileu enfrentou objeções católicas ao afirmar publicamente que acreditava no Sistema Heliocêntrico, já defendido anteriormente por Copérnico.

Podemos identificar nesse trabalho narrativas com enfoque epistemológico contemporâneo, uma vez que demonstra a influência de outros cientistas, a revisão por pares e o principalmente, o cotidiano da época. Com isso, ao utilizarmos tais relatos para a construção do nosso texto histórico, percebemos que os autores apontam para o fato de que Galileu procurava demonstrar o conceito de movimento através de teorias, alegando que a descrição experimental é apenas propagada pela história empirista.

Outro ponto de destaque no trabalho Silveira e Peduzzi (2006) é a relação ao experimento de Michelson-Morley e a teoria da relatividade restrita, onde os autores descrevem a teoria ondulatória da luz, defendida por René Descartes, Christian Huygens, Robert Hooke, Thomas Young e Augustín Fresnel. No entanto, apesar de

vários cientistas afirmarem que a luz tinha um caráter oscilatório, nenhum deles conseguiu de fato observá-lo, e com isso, a teoria corpuscular de Newton prevaleceu por mais de 200 anos.

Em outra parte do texto, os autores relatam o fato de que o interferômetro poderia ter contribuído para a formulação da TRR, todavia, muitos artigos discutem o ato de que Einstein nunca o mencionou. O fato é que, mesmo se Einstein tivesse ciência do aparato, não o considerou diretamente para a sua reformulação final da teoria.

O texto cita outras influências, demonstrando que outros cientistas contribuíam para a construção da ciência, como por exemplo, as transformações de Galileu, as equações de Maxwell e a própria mecânica clássica ao tentar explicar fenômenos com velocidades próximas a da luz. Os autores descrevem que a teoria da relatividade restrita não foi uma resposta ao efeito negativo do interferômetro, mas sim, uma maneira de explicar a gravitação newtoniana para objetos com altas velocidades, como relatamos na tirinha histórica sobre a natureza da luz.

Guerra, Braga e Reis (2007), propõem a inserção da Teoria da Relatividade Restrita e Geral para uma turma do primeiro ano do ensino médio de uma escola da rede federal de ensino, através de debates entre a turma e o professor. Nesse debate, o professor apresenta o contexto das teorias através da cinemática dos movimentos, com um enfoque histórico-filosófico, enfatizando as teorias propostas por Galileu Galilei e os sistemas de referência, através de vídeos e obras de arte. No final da discussão, os alunos deveriam escolher tópicos das teorias e apresentá-las de maneira criativa (jornal, filmagem, poesia, esquetes etc).

Para complementar esse trabalho, Guerra, Braga e Reis (2010) construíram um texto histórico sobre a TRR, abordando tópicos contemporâneos, de forma a permitir que o estudante conheça a biografia dos cientistas, problemas enfrentados durante as observações/experiências, possíveis soluções e também o aspecto histórico da época vivido por cada um.

Concordamos com os autores ao afirmarem que essa abordagem possibilita a exploração de tópicos interdisciplinares, como por exemplo o próprio contexto histórico de cada cientista, as influências artísticas e filosóficas. Para isso, destacamos que seria interessante realizar parcerias com professores de outras áreas, com o objetivo de construir um texto mais abrangente e contextualizado,

proporcionando uma aprendizagem significativa, evitando apenas a resolução de exercícios e aulas tradicionais.

Caballero (2011), elaborou um texto histórico com o objetivo de demonstrar que no decorrer da evolução científica ocorreu um colapso de ideias, representações, regras, normas e conceitos a serem aceitos ou descartados pelas cientistas, até uma formulação final aceita pela comunidade científica.

Com base nesse entendimento, o autor ressaltou que é preciso colocar em dúvida os dados obtidos por Maxwell em relação as suas teorias sobre o eletromagnetismo, e isso nos chamou atenção uma vez que não pretendemos descrever o capítulo histórico como algo irrefutável, mas sim, tais evoluções e mudanças ao longo dos anos. Sendo assim, o autor destaca o fato de que as transformações de Galileu não resolveram alguns problemas apresentados por Poincaré, e, esse preferiu abandoná-las ao invés de procurar outra explicação para o movimento relativístico.

Outro ponto de destaque, é a explicação para a natureza do éter. De acordo com o texto, as explicações para o éter eram baseadas nos resultados de experimentos que tinham como objetivo explicar os fenômenos da aberração da luz. No entanto, outras teorias e fatos científicos não são discutidas, como por exemplo, os estudos de Arago em relação a velocidade da luz das estrelas. Assim, como o próprio autor, nós também destacamos que muitos textos históricos descrevem as teorias como algo irrefutável e/ou desenvolvida por apenas um cientista.

Martins (2012), destaca em seu trabalho o fato de que é muito comum a divulgação do experimento de Michelson e Morley como a principal evidência experimental utilizada para a formulação da TRR. No entanto, o autor pontua que isso acaba distorcendo fatos históricos, pois apresenta uma mensagem inadequada a respeito da evolução científica por não citar outros aspectos importantes para a teoria.

Visando uma abordagem mais contextualizada, Martins (2012) descreve outros experimentos propostos e/ou realizados no Século XIX (anteriores ao interferômetro) com o objetivo de detectarem o movimento da Terra em relação ao éter, sendo: o fenômeno da aberração da luz e a paralaxe estelar; o experimento do telescópio cheio de água que tinha como finalidade medir a velocidade da luz e da Terra; as tentativas de explicar a natureza da luz (partícula e onda); o experimento de Arago e a teoria proposta por Fresnel; o arrastamento do éter e o éter viscoso de Stokes; o

experimento desenvolvido por Fizeau, confirmando a teoria de Fresnel; e a explicação de Maxwell para a natureza do éter.

Ao realizar tais descrições, destacamos que o autor salienta o fato de que a ciência não é desenvolvida de forma simplista, como costuma ser demonstrado em livros didáticos aos alunos, mas sim, uma evolução de ideias e pensamentos, com discussões de vários cientistas. Com isso, utilizamos esse trabalho para fazer tais discussões.

1.1.3 O ensino da Teoria da Relatividade Restrita por meio de softwares ou outras mídias computacionais:

Enquadramos nessa categoria cinco artigos que abordam o ensino da Teoria da Relatividade Restrita utilizando mídias computacionais coo softwares, jogos educacionais, vídeos, equipamentos eletrônicos (GPS, celular) entre outros. Destacamos que dos cinco artigos, três foram elaborados pelos mesmos autores: Machado e Nardi (2006a, 2006b e 2007), e, pelo fato do trabalho de Machado e Nardi (2007) ser o mais completo, descreveremos apenas ele.

Machado e Nardi (2007) apresentam as potencialidades de um sistema de hipermídia para a introdução de conceitos de FMC, denominado como Tópicos de Física Moderna. Ele foi desenvolvido com o objetivo de enfatizar os conceitos básicos da TRR, e para isso foi organizado em seis módulos de forma que reuniam textos por áreas afins, sendo: visão inicial sobre a teoria, com conceitos de física clássica e moderna; teoria da relatividade; tecnologia e sociedade; história da ciência, e, as fronteiras da ciência. Os textos, disponibilizados em links, possuem ilustrações, filmes e animações para facilitar a construção do conceito por parte dos estudantes.

Assim como o nosso trabalho, os autores utilizaram o princípio da diferenciação progressiva, proposta por Ausubel, ao fazerem o uso de sequencias de telas para apresentarem os aspectos mais gerais, e, por fim, os mais específicos. Os links também proporcionavam ligações entre os conhecimentos anteriores dos estudantes e as novas ideias a serem estudadas, possibilitando que os alunos acessassem organizadores prévios quando não houvessem subsunçores para um determinado conceito, algo que consideramos de extrema importância.

Zanotta, Cappelletto e Matsuoka (2011) avaliaram uma atividade explorando os conceitos físicos de referenciais, ondas eletromagnéticas e a tecnologia utilizada no Sistema de Posicionamento Global (GPS) através do ponto de vista histórico e

didático. Para isso, os autores construíram um texto com a descrição histórica do GPS, e, após essa etapa, relacionaram o seu funcionamento à TRR, uma vez que é preciso sincronizar os relógios atômicos utilizados nos satélites aos relógios da estação terrestre, e, paralelamente com as coordenadas.

Conforme os autores, atividades com abordagens tecnológicas podem transformar o local de ensino em um minilaboratório de Física devido ao fato de ocuparem pouco espaço ou serem acessíveis aos alunos (como exemplo o GPS do aparelho celular), além de tornarem as atividades mais atrativas durante o processo de ensino/aprendizagem.

Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014) discutem sobre as potencialidades do ensino da TRR por meio de explicações utilizando o GPS. Para isso, desenvolveram treze aulas e atividades com o objetivo de aproximarem os alunos de situações cotidianas, onde apresentavam aos alunos notícias sobre a obrigatoriedade do georreferenciamento de imóveis rurais e as suas identificações, por exemplo, e como os alunos utilizam um GPS para identificarem determinados locais.

Conforme relatos dos autores, essa atividade despertou um maior interesse dos alunos devido ao fato de ser diferenciada, pois além do uso do GPS, o professor também pode utilizar imagens ou vídeos, saindo do ensino tradicional.

1.1.4 Artigos originais e/ou textos científicos

Nessa categoria, enquadramos 12 artigos e textos científicos que não são relacionados diretamente ao ensino de Ciências, ou seja, abordam a teoria com base no saber sábio, sendo necessário realizar uma transposição didática interna, para utilização no contexto de sala de aula (ERROBIDART, 2010). Também apresentamos o artigo original sobre a Teoria da Relatividade Restrita, publicado em 1907 por Albert Einstein, reimpresso em 2005.

Moreira (2005) relata em seu trabalho as teorias propostas por Einstein em ao longo de sua carreira científica, começando pelo relato sobre o movimento browniano com as cartas trocadas entre Einstein e Conrad Habicht. Também anuncia as ideias sobre a natureza da luz e a teoria sobre a luz ser uma onda eletromagnética. Ainda relata as discussões sobre a unificação de duas áreas que estabeleciam a relatividade especial: a mecânica e a eletrodinâmica. Complementando o ano miraculoso, descreve a TRR. É importante ressaltar que em seu artigo, Moreira (2005) realiza um levantamento de todas as teorias propostas por Einstein, assim como, as suas

observações e contribuições de outros cientistas, desmistificando o fato de que apenas um cientista criou uma teoria sozinho e “do nada”.

Martins (2005) descreve em seu trabalho as ideias e os resultados sobre a dinâmica relativística em relação a massa, energia e momento, antes da publicação feita por Einstein em 1905. Com isso, faz uma comparação entre tais trabalhos e o postulado de Einstein, demonstrando que tais conceitos já tinham sido obtidos através das teorias descritas no eletromagnetismo, realizando uma pequena abordagem histórica em relação a tentativa de provar a existência do éter. Após realizar essa comparação, Martins (2005) cita as teorias que já existiam até o postulado de Einstein, concluindo que até Einstein, os demais cientistas acreditavam que o eletromagnetismo explicava todas as leis da matéria, não sendo válido para a mecânica relativística.

No artigo Física e realidade – traduzido e reimpresso - Einstein (2006) apresenta seu método científico abordando a Teoria da Relatividade através de uma discussão filosófica, a criação dos conceitos e o que possuem em comum. Esse artigo foi uma tradução e reimpressão das anotações de Einstein, publicado originalmente no Journal of the Franklin Institute, em 1936.

De Holanda Cavalcanti e Ostermann (2007) realiza uma análise sobre as deformações geométricas em três objetos em movimento relativístico: uma barra retilínea, um aro circular e uma esfera. Escolheram estudar tais deformações devido ao fato de que muitos livros de física apontam tais objetos, quando em movimento relativístico, vistos pelo observador de maneira contraída em relação ao movimento. Com isso, os autores destacam que essa contração poderia ser medida e não vista pelo observador, concluindo que esse movimento aparece de maneira confusa nos livros didáticos de física, levando muitas vezes a um entendimento errôneo sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

Falciano (2007) realizou uma releitura sobre a abordagem do paradoxo dos gêmeos em sua formação convencional, apresentando seus pontos chave e as dimensões espaciais de maneira compactada. Nessa versão, os gêmeos se reencontram de forma com que nenhum sofra aceleração, ou seja, sem a assimetria que é convencionalmente utilizada para a resolução do problema. Com isso, o autor afirma que é possível analisar qual o verdadeiro papel da aceleração na relatividade restrita.

Fauth et al (2007) apresentam em seu trabalho uma atividade experimental de física moderna realizada com um telescópio de múons da radiação cósmica. Os autores escolheram a pesquisa com raios cósmicos devido ao fato de que as suas partículas elementares estão relacionadas diretamente com a matéria e também, para buscarem mais respostas quanto a origem dessa radiação. Essa atividade foi realizada utilizando um telescópio de múon, composto de placas de cintiladores plásticos alinhados verticalmente e operando em regime de coincidência temporal de sinais, que permite contar a taxa de partículas em função de um fluxo de múon descentendes. Essa quantidade de fluxo só pode ser explicada pela Teoria da Relatividade Restrita devido ao fato de sua alta velocidade. Os autores concluíram nesse experimento que a utilização dos múon é uma das maneiras mais eficientes e seguras de se demonstrar os efeitos da cinemática relativística, uma vez que a altas velocidades, a mecânica clássica se torna inconsistente devido a dilatação do tempo e a contração do comprimento, ambos previstos pela TRR.

O trabalho de Porto e Porto (2008) apresenta uma exposição de conceitos e ideias sobre o espaço e o tempo, desde a mecânica newtoniana até o conceito de espaço absoluto e as transformações citadas por Einstein em seu trabalho. Também enfatizam as críticas filosóficas em relação a ideia do movimento absoluto que deram origem a Teoria da Relatividade Restrita e Geral. Os autores concluem que é preciso compreender tais ideias para poder transmiti-las em uma linguagem acessível aos estudantes, sendo um grande desafio a ser superado na transposição científica para o ensino.

De Conto et al (2013) apresentam uma abordagem alternativa realizada por Bondi sobre a discussão do fator K: o momento linear relativístico e a energia total relativístico. Para isso, o autor discute primeiramente quais foram os resultados pela Relatividade Restrita de Einstein, como a dilatação temporal, contração espacial e simultaneidade de eventos. Os resultados apontam que o cálculo K possui maior vantagem pois facilita a compreensão dos efeitos relativísticos.

Rocha, Rizzuti e Mota (2013) destacam em seu trabalho a conexão entre a teoria de grupos e as transformações entre referenciais, representadas por Galileu e Lorentz sobre o espaço-tempo. Com isso, os autores caracterizaram as ligações de referenciais absolutos e inerciais, esse em especial devido ao fato de fornecer uma alternativa para a TRR. Para isso, dividiram o trabalho em duas seções. Na seção 1, utilizaram a teoria de grupos como ferramenta matemática, demonstrando que os

grupos estão ligados tanto na mecânica clássica, quanto na mecânica relativística, dividindo o trabalho em seções.

Na seção 2, utilizam a teoria de grupos para estabelecer a conexão entre referenciais distintos; na seção 3, relacionam as transformações de Galileu com a representação da teoria de grupo sobre o espaço-tempo; na seção 4, discutem porque o grupo de simetrias da mecânica clássica deveria ser substituído por outro que também poderia ser aplicado as equações de Maxwell; e na seção 5, analisam o grupo das transformações de Lorentz. Os autores concluíram que ao dividirem a TRR em seções, fornecem uma introdução alternativa e didática para a TRR, uma vez que se evita deduções usuais comuns de serem encontradas na literatura, podendo então fornecer um material acessível e complementar para esse estudo.

Peliti (2016) apresenta em seu trabalho as deduções das expressões do momento e da energia de uma partícula, que devido à alta velocidade, está sujeita ao princípio da relatividade. O autor escolheu esse tema devido ao fato de considerar alguns textos pouco satisfatórios, não abordando a dedução, ou então, não levando em consideração o movimento quântico e a abordagem eletrodinâmica; e até mesmo, não apresentando conceitos errôneos sobre a massa relativística. O autor conclui que a elaboração desse trabalho possibilita a introdução clara e lógica dos conceitos básicos a respeito da dinâmica relativística.

Kneubil (2016) apresenta em seu trabalho a inter-relação entre as grandezas relativas e absolutas, presentes na geometria espacial e na TRR. Para isso, realizou uma discussão sobre a geometria e a existência das entidades dependentes independentes do referencial, comparando-a com o espaço geométrico tridimensional. Com isso, demonstra que a geometria cúbica é invariante em relação a qualquer um dos vértices, levando a repensar se na relatividade não há mais uma coordenada a ser analisada, dando origem a relatividade proposta por Minkowski, percebendo essa distinção entre o espaço-tempo. A autora conclui que o tratamento dos fenômenos físicos em mais de três dimensões precisa de um novo tipo de matemática, uma vez que é preciso levar em consideração as coordenadas espaciais e temporais.

O artigo original, “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”, publicado em 1907, reimpresso e traduzido em 2005 aborda o Princípio da Relatividade e as suas implicações para as áreas da Física, assim como as transformações de Lorentz sobre o experimento negativo de Michelson e Morley ao tentar provar a existência do

éter. E completando o seu trabalho, o cientista realiza uma abordagem geral nos trabalhos que surgiram na época, a partir de seu trabalho e de Lorentz.

1.1.5 Outros trabalhos encontrados

Apesar da pesquisa bibliográfica contemplar apenas o período de 2005 a 2016, encontramos um trabalho, publicado em um dos periódicos em 2017, que consideramos importante realizar uma pequena descrição, sendo: Afinal, Einstein usou ou não dados experimentais para propor sua relatividade restrita? Com a palavra, ele mesmo (DAMÁSIO E PEDUZZI, 2017).

Os autores investigam a ideia empirista dos resultados negativos dos experimentos de Michelson e Morley, que tinham como objetivo detectar o movimento da Terra em relação ao éter, o qual serviu como base para a formulação final da Teoria da Relatividade Restrita proposta por Albert Einstein. Para isso, os autores construíram um texto, no qual simulam entrevistas e falas sobre a teoria com o cientista.

O texto começa questionando a importância do experimento do interferômetro para a TRR, descrito de forma bem detalhada, na qual acreditava-se que era uma onda que se propagava no em um meio, que denominavam éter; e posteriormente, discutem sobre o artigo publicado em 1905, intitulado como “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento). Nesse texto, apontam para o fato de que Einstein conhecia dos estudos de Maxwell em relação ao eletromagnetismo; e o resultado negativo do interferômetro (descartado pelo cientista), afirmando que esse teve importância fundamental na teoria.

Os autores afirmam que ao realizar a construção histórica das questões relacionadas a TRR, possibilita a desconstrução de opiniões ditas problemáticas em relação ao conhecimento científico, uma vez que muitos estudantes acreditam que a ciência é feita apenas de forma individual, o que não é o caso, uma vez que é necessário a revisão em pares e ambas discussões científicas para validar uma teoria.

Essa pesquisa bibliográfica teve como principal objetivo demonstrar que a inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino possibilita o desenvolvimento de competências propostas pelos PCNs, no qual o aluno deve ser um cidadão crítico e criativo, capaz de participar e alterar positivamente na sociedade.

Dessa maneira, essa pesquisa apresenta uma proposta de estudo em enfoque na histórico relacionado a Teoria da Relatividade Restrita, por isso a maior descrição

dessa seção. Através dessa proposta, planeja-se verificar a possibilidade de o estudo através da HFC contribui significativamente para o entendimento da TRR, uma vez que este auxilia para que o estudante não tenha uma visão errônea da ciência. Para isso, é preciso levar em consideração as concepções espontâneas dos alunos para evitar ao máximo a aprendizagem mecânica.

Optamos por realizar essa descrição devido ao fato de que esse trabalho teve grande influência no capítulo 2, que retrata sobre a História da Teoria da Relatividade Restrita.

Nesse sentido, descrevemos no próximo capítulo, a fundamentação teórica que será utilizada para a produção da unidade de ensino potencialmente significativa sobre a Teoria da Relatividade Restrita, apresentada nesse trabalho.

2 A CONSTRUÇÃO COLETIVA DE UMA TEORIA

Quando o assunto é a Teoria da Relatividade Restrita, automaticamente, muitas pessoas a associam ao cientista Albert Einstein. Em uma breve pesquisa em livros acadêmicos, encontramos frases, como por exemplo:

> $E = mc^2$ estava certo. A pequena e elegante sequência de símbolos que inicia o título desse box e, certamente, a fórmula mais famosa da ciência. Ela foi idealizada pelo físico de origem alemã Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, como consequência de sua teoria da Relatividade Restrita (BISCUOLA, BÔAS e DOCA, 2013, p. 291, grifo nosso).

Muitos dos livros didáticos utilizados para o ensino de Física não levam em consideração relatos históricos, mas sim, trazem concepções que devem ser aceitas como verdades absolutas. Todavia, muito antes da formulação de 1905, outros cientistas e filósofos realizavam pesquisas sobre o tema e por isso, muitos historiadores tentam desmistificar essa visão, dedicando-se a explanar outras ideias, fatos e experimentos (PORTO e PORTO, 2008; DAMASIO e RICCI, 2009; PATY, 2010; MARTINS, 2015).

Dentre as contribuições, destacamos cientistas como Galileu Galilei, Isaac Newton, que já utilizavam o conceito que estrutura a teoria na área da mecânica, e Hendrik Lorentz, James Clerck Maxwell e Henri Poincaré por desenvolverem trabalhos parecidos a formulação final. Em alguns livros didáticos, encontramos menções a esses cientistas.

> A Teoria da Relatividade Especial é o resultado do trabalho dos cientistas – físicos, matemáticos, filósofos – que, trabalhando em áreas aparentemente desconexas como a mecânica e o eletromagnetismo, levantaram singularidades que não podemos perceber em nosso cotidiano, mas mudaram completamente a maneira como entendemos o espaço e o tempo (YAMAMOTO e FUKE, 2013, p.246).

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

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

> desenvolvimento da teoria da relatividade, tanto da especial quanto da geral (MAXIMO e ALVARENGA, 2013, p. 304, grifo nosso).

Visando demonstrar tais contribuições (e de outros cientistas), elaboramos um texto histórico com o objetivo de relatar a evolução das ideias, pensamentos, experimentos entre outros, desde Galileu Galilei, até a formulação final apresentada por Albert Einstein, em 1905. Durante a construção, tomamos o cuidado de evitar os problemas listados na literatura relacionados à abordagem de aspectos históricos no Ensino de Ciências, discutidos no capítulo 3.

Esse texto tem como principal objetivo auxiliar o professor de Ciências na construção histórica da Teoria da Relatividade Restrita.

4.1 UMA HISTÓRIA DE GALILEU E KEPLER

Quando Albert Einstein, com o objetivo de verificar qual seria o resultado de experimentos imaginários sobre o comportamento da luz em diferentes referenciais, apresentou a sua formulação da Teoria da Relatividade Restrita, a fez com base em pois postulados, sendo: o princípio da relatividade e o princípio da constância da luz. A descrição desses postulados é a seguinte:

> [...] as tentativas sem sucesso de verificar que a Terra se move em relação ao "meio luminoso" [éter] levaram à conjetura de que, não apenas na mecânica, mas também na eletrodinâmica, não há propriedades observáveis associadas à ideia de repouso absoluto, mas as mesmas leis eletrodinâmicas e ópticas se aplicam a todos os sistemas de coordenadas nos quais são válidas as equações da mecânica [...]. Elevaremos essa conjetura (cujo conteúdo será daqui por diante chamado de "princípio da relatividade") à posição de um postulado; e, além disso, introduziremos um outro postulado que é apenas aparentemente inconsistente com o primeiro, a saber, que a luz no espaço vazio sempre se propaga com uma velocidade definida V que é independente do estado de movimento do corpo que a emite (EINSTEIN, 1905, p. 2 apud MARTINS, 2008, p.5, grifo nosso).

Ao apresentar o primeiro postulado, o princípio da relatividade, Einstein não afirmou que esse estava de acordo com todas as leis da Física, mas sim, apenas para com as leis da Óptica e do Eletromagnetismo, tal como destacado na citação. Esses postulados estão relacionados a uma proposição anterior, datada do século XVI.

Nesse período, um famoso físico e astrônomo italiano, Galileu Galilei (1564 – 1642), assim como Einstein, acreditava que as suas ideias descreviam a natureza de

maneira correta, e por isso, teve muitos problemas. Um desses problemas estava relacionado com as órbitas planetárias, onde conforme os seus estudos, observou que elas descreviam um movimento circular uniforme ao redor do Sol[1].

Para comprovar a sua teoria, Galileu aperfeiçoou um telescópio[2] que estava sendo vendido em Veneza por um alto custo, utilizando espelhos, lentes de vidro e técnicas de polimentos. Para chegar ao telescópio adequado, Galileu construiu reconstruiu inicialmente quatro outros, conseguindo apenas observar velas de navios distantes. Apenas o quinto telescópio[3], com poder 30 vezes maior que o seu primeiro, teve alcance suficiente para observar manchas do Sol, montanhas da Lua, anéis de Saturno e as fases de Vênus, entre outros. A observação das fases de Vênus foi uma de suas mais importantes descoberta, pois comprovou a teoria Heliocêntrica (TOSSATO, 2004; MARTINS, 2009).

As descobertas de Galileu eram consideradas inaceitáveis pelos conservadores e mais religiosos da época. Para os matemáticos e astrônomos, era a prova que faltava contra o fracasso do modelo aristotélico-ptolomaico e o ponto de partida para comprovar o verdadeiro modelo.

Galileu costumava a escrever cartas aos seus amigos, com o objetivo de discutir as suas observações e conclusões. Esse costume era comum no período do Renascentismo, e, para evitar problemas com a Igreja Católica, alguns filósofos e cientistas faziam o uso de nomes fictícios ao assinar as suas cartas e documentos. Esse costume também era observado entre religiosos que contribuíam para a construção do conhecimento científico ou buscavam alternativas para conciliar as Sagradas Escrituras com discussões relacionadas ao sistema planetário. Um desses colaboradores era o padre Benedetto Castelli, amigo de Galileu (MARICONDA, 2000).

Em 1913, Galileu escreveu uma carta para o seu amigo e colaborador, padre Castelli, assumindo publicamente o seu posicionamento sobre o sistema planetário. Ao receber essa carta, o padre mandou fazer cópias e distribuir aos outros colegas religiosos.

---

[1] Galileu, defensor das ideias copernicanas, defendia o Sistema Heliocêntrico.

[2] Em 1609, Galilei comprou o que seria o primeiro telescópio. Esse, foi construído por um aprendiz de oculista, Hans Lippershey, com apenas duas lentes e posteriormente redesenhado por Galileu com o objetivo de ver objetos distantes (MARTINS, 2009).

[3] Nesse quadrinho, o professor pode discutir o fato de que Galileu não foi o inventor do primeiro telescópio, mas que o aperfeiçoou, e após várias tentativas (como evidenciamos ao colocar uma pilha de telescópios no chão) conseguiu construir um telescópio potente o suficiente para observar objetos celestes, assim como o fato de que teve ajudante durante o processo, como por exemplo, para o polimento das lentes.

Com essa carta e conforme o aprimoramento da luneta, o descontentamento da comunidade religiosa aumentava, e, por isso a Igreja passou a monitorar as cartas de Galileu. Em suas teorias contra o Sistema Geocêntrico, Galileu discutia sobre satélites de Júpiter, o brilho dos corpos celestes e o movimento dos planetas, indicando que as teorias da Igreja estavam incorretas. Alguns religiosos reclamavam da exposição das Sagradas Escrituras, da pouca reverência de Galileu aos padres jesuítas, que se dedicavam a estudos semelhantes e, principalmente, ao pouco caso a filosofia de Aristóteles (MARICONDA, 2000).

Os jesuítas começaram a pressionar o Papa, que era um simpatizante das ideias de Galileu, a tomar um posicionamento a respeito. Para acalmar os ânimos dos integrantes da Igreja, um dos Cardeais sugeriu que Galileu deveria escrever uma solução de compromisso, tornando pública que as suas conclusões sobre as observações astronômicas eram apenas hipóteses.

Contudo, Galileu se recusou a fazer esse compromisso, argumentando que aqueles que o questionavam não tinham como base resultados astronômicos, e isso provocou mais revolta na comunidade religiosa. Em 1616, Galileu foi convocado pelo Papa a prestar esclarecimentos. Com isso, Galileu viajou até Roma com o objetivo de convencer as autoridades da Igreja Católica, demonstrando os resultados de suas observações com a luneta.

Nesse encontro, Galilei foi apenas advertido verbalmente pelo Papa, ficando proibido de defender publicamente o Sistema Heliocêntrico. Galileu foi avisado que se insistisse em continuar divulgando as suas ideias, seria intimado pelo Tribunal do Santo ofício, e que a sua pena resultaria em seu encarceramento.

Apesar de ser advertido, Galileu continuou os seus estudos com acompanhamento da Igreja. Essa vigilância durou aproximadamente 17 anos, provavelmente porque Galileu era um dos poucos membros da academia de Lince[4]. Nesse período, Galileu vivenciou uma intensa competição científica com os jesuítas, que se dedicavam aos estudos das ciências naturais (MARICONDA, 2000). Eles eram responsáveis pelo movimento educacional humanista do período renascentista. As

[4] Fundada pelo príncipe Frederico Cesi, em 1603, a Academia dos Lince tinha como objetivo permitir que seus membros trocassem informações sobre os mais diversos assuntos. Galileu foi convidado pelo príncipe a ingressar na academia como um dos mais importantes membros (MARICONDA, 2005).

divergências entre eles estavam associadas as observações e conclusões sobre as manchas solares e a natureza dos cometas, principalmente.

O tribunal da Inquisição foi criado pela Igreja Católica muito tempo antes do Século XVI. Ele era o instrumento do conhecimento em astronomia, matemática e filosofia. Os problemas de Galileu com a Igreja, que culminaram na advertência recebida em 1616 e persistiu até a sua condenação, em 1632, tinham como fontes as divergências com o Padre Orazio Grassi (usava Lotario Sasi como pseudônimo).

Orazio era membro da Companhia de Jesus, que tinha muita influência no Tribunal. A ridicularização dos estudos de Orazio sobre os cometas foi considerada pela ordem dos jesuítas como uma afronta a todos os seus teólogos, filósofos e cientistas da época, mas, como o livro de Galileu recebeu a benção do Papa Urbano VII para ser publicado, contestá-lo publicamente seria a mesma coisa que afrontar a autoridade da Igreja. Alguns estudos indicam que o Papa era amigo de Galileu e esse poderia ser um dos motivos do processo contra Galileu demorar tanto tempo.

Apesar de seu livro, Diálogo sobre os principais sistemas do mundo – o ptolomaico e o copernicano, ter sido aclamado por toda a Itália, a Igreja não gostou muito de suas provas, condenando Galileu a Inquisição, que, sob ameaça de tortura e morte, se viu obrigado a retratar-se publicamente ou teria o mesmo destino que Giordano Bruno (1548 – 1600) - condenado pela inquisição à fogueira[5] (MARTINS, 2009).

Apesar de sua idade avança, já com 69 anos, em 1633, Galileu foi julgado e condenado à prisão domiciliar perpétua, e, só não foi condenado a morte porque declarou publicamente que a Terra está imóvel e todos o restante dos corpos celestes giram ao seu redor. Infelizmente, o seu perdão só foi dado 200 anos depois da sua morte (DAMASIO, 2009).

Antes disso, Galileu também realizou estudos sobre a questão das forças necessárias para manter um corpo em movimento. Diferente de Aristóteles, que afirmava ser preciso exercer uma força sobre um corpo para que ele entre em movimento, e consequentemente, permaneça em movimento, Galilei acreditava que quando um objeto se movia com velocidade constante, iria permanecer assim até que uma força externa o parasse, ou então, alterasse a sua velocidade.

---

[5] Quadrinho 29 e 30, no qual o Papa ameaça Galileu, dizendo-lhe para retirar as suas afirmações ou terá o mesmo destino de Giordano Bruno, que foi condenado a morte pela Inquisição. O professor pode pedir para os alunos pesquisarem a vida e obra de Giordano Bruno, assim, como o motivo de sua morte.

Dessa forma não existiria diferença entre um corpo em repouso e outro em movimento uniforme, e, por esse motivo, não teria como saber o estado de movimento de um corpo sobre essas condições, como por exemplo, o movimento da Terra. No entanto, para Galileu, a teoria da inércia não seria válida para os corpos celestes, uma vez que as suas órbitas eram circulares, e precisariam de forças externas para alterar o movimento.

Pensando em como comprovar a sua teoria, Galileu, organizou uma geometrização da mecânica, com o objetivo de descrever o movimento com base em um experimento imaginário no interior de uma cabine de um navio (em duas situações – uma em movimento uniforme e outra com o navio parado) (PORTO e PORTO, 2008; DAMASIO, 2011). Como Johannes Kepler (1571 – 1630) também realizava estudos sobre o movimento dos planetas, trocaram cartas[6] com o objetivo de encontrarem uma resposta[7]. Concluíram que em ambos os casos, deveriam constatar o mesmo resultado, independente do estado de movimento do navio. Como assim?

Conforme apontaram, não é possível detectar o movimento uniforme, pois se o navio parasse ou mudasse sua velocidade, seria perceptível aos tripulantes do navio, e o mesmo deveria acontecer com a Terra. Para descrever tais suas conclusões, Galileu enunciou o que podemos chamar de os primeiros passos para a construção da Teoria da Relatividade Restrita:

> Princípio da relatividade: se as leis da mecânica são válidas num dado referencial, então são também válidas em qualquer referencial que se mova com velocidade retilínea e uniforme em relação ao primeiro. Princípio da inércia: um corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme a menos que forças ajam sobre ele alterando assim seu estado (SEIXAS, 2006, p. 45, grifo do autor).

No entanto, como já citado anteriormente, o Princípio da Inércia não incluía os corpos celestes, pois Galileu acreditava que o movimento circular era mais apropriado, assim como Copérnico (1473 – 1543), que descreveu o Sistema Geocêntrico ao estudar o movimento retrógado dos planetas, refutando o Sistema Heliocêntrico

[6] Apesar de encontrarmos artigos evidenciando que os cientistas trocaram apenas cartas a respeito do movimento dos corpos celestes e da geometrização da mecânica, optamos por construir um diálogo com ambos para demonstrar que vários cientistas podem ter pensamentos iguais apesar de não estarem debatendo a ideia juntos.

[7] Nos quadrinhos 37 narramos os dois cientistas discutindo sobre o movimento de um navio, e Kepler dizendo a Galileu que irá pedir para uma colabora para fazer ilustrações das situações. Optamos por construir esse quadrinho para evidenciar a participação das mulheres na ciência, porém, por serem consideradas fracas física e moralmente, como Tosi (1998) relata em seu trabalho.

proposto por Ptolomeu (85 – 165). Apesar de concordar com tais princípios copernicanos, Kepler relutou em aceitar as órbitas circulares dos planetas (SEIXAS, 2006).

Ao se tornar discípulo de Tycho Brahe (1546 – 1601), Kepler, ainda jovem, começou os seus estudos sobre os movimentos dos corpos celestes, tentando por mais de 70 vezes desvendar a órbita excêntrica de Marte, porém sem sucesso. Ele só conseguiu quando, por um descuido da família, se apropriou dos dados precisos de Tycho – um catálogo com dados astronômicos precisos de mais de mil estrelas – e assim, ao estuda-los, percebeu que as órbitas planetárias descreviam elipses ao redor do Sol (DAMASIO, 2011; PORTO e PORTO, 2008).

Até essa constatação, as órbitas circulares exerciam fortes influências nos trabalhos de muitos cientistas, inclusive nos de Kepler. Ele, buscando ficar de acordo com o princípio da inércia (de Galileu), propôs que o Sol era a fonte de todo o movimento, sugerindo que havia uma força motora entre as órbitas planetárias e a estrela. Com isso, elaborou a primeira representação planetária com órbitas autogovernadas, nas quais as elipses[8] eram constantes de acordo com o tamanho da órbita de cada planeta. Essas constatações ficaram conhecidas como Leis de Kepler (PORTO e PORTO, 2008).

A concepção dos planetas autogovernados foi reforçada por René Descartes (1596 – 1650), que, apesar de também defender a teoria de Copérnico, afirmava que "[...] todo movimento é uma mudança de posição em relação a algum objeto (só existem movimentos relativos)" (MARTINS, 2015, p. 34). Com essa afirmação, Descartes chamou atenção para o movimento relativo, mas, que apenas movimentos vizinhos teriam importância, como as pessoas na superfície da Terra.

Descartes também deduziu outras três leis do movimento, que mais tarde seriam reformuladas por Isaac Newton:

> Lei I: corpos em repouso permanecem em repouso, e corpos em movimentos permanecem em movimento, a não ser que algum outro corpo aja sobre eles. Lei II: o movimento inercial dá-se em linha reta. Lei III (a): se um corpo em movimento colide com um segundo corpo que apresente uma resistência ao movimento maior que a força do primeiro corpo para continuar o movimento, então este primeiro corpo muda de direção, sem perder nada do seu movimento. Lei III (b): se o primeiro corpo possui uma força maior do que a resistência do segundo corpo, ele carrega consigo este segundo corpo,

[8] Lembrando que conforme os estudos de Galileu, as órbitas eram circulares.

> perdendo tanto o seu movimento quanto ele entrega ao outro (SEIXAS, 2006, p. 46, negrito nosso).

4.2 NEWTON, O BALDE E A LUZ COMO PARTÍCULA

Isaac Newton (1643 – 1727) foi um físico, astrônomo e matemático inglês que nasceu no mesmo ano em que Galileu faleceu, e teve grande contribuição para a TRR ao chamar atenção para o movimento de rotação da Terra. Diferente de Descartes, que afirmava não ser possível detectar o movimento da Terra porque ela não se movia em relação ao éter, mas sim, junto com ele, Newton afirmava que o movimento de rotação deveria produzir efeitos absolutos, assim como o movimento de translação deveria ser comum a todas as partes, ou seja, se vários corpos estão se movendo na mesma direção, os fenômenos observáveis devem ser comuns.

Para comprovar a sua teoria, Newton usou como exemplo o movimento de um balde com água: supondo que se tem um balde cheio de água, preso ao teto por uma corda. Quando o balde está parado, a superfície da água é plana e horizontal, porém, se o balde começar a rotacionar, a água não começará a rotacionar instantaneamente, mas sim, depois de algum tempo tem-se o balde e a água girando juntos. Nesse momento, a superfície da água deixará de ser plana e passará a ser côncava (mais baixa no centro do balde e mais alta nas paredes) (MARTINS, 2015).

Tanto antes de colocar o balde em movimento quanto agora, a água está parada em relação ao balde, que é aquilo que está em contato com ela. Assim, de acordo com Descartes, não deveria surgir nenhum efeito físico e a água deveria continuar plana. De acordo com Galileu, também, “o movimento comum é como se não existisse”; portanto, quando a água e o balde estão se movendo juntos, esse movimento é como se não existisse e não poderia produzir efeitos (MARTINS, 2015, p. 35).

Segundo esse entendimento, o movimento da Terra deveria produzir efeitos observáveis, contradizendo o próprio Copérnico, Galileu e Descartes. No entanto, o movimento de translação da Terra não altera os seus fenômenos internos, ou, se um corpo está se movendo na mesma direção, com a mesma velocidade, seus fenômenos produzidos não devem depender da velocidade (como no caso do experimento de Galileu). O mesmo também acontece caso os objetos estejam acelerados na mesma direção, como por exemplo: se vários corpos estão caindo juntos, para eles, é como se estivessem parados um em relação ao outro.

Contrariando a física aristotélica, Newton afirmou que os objetos caiam em direção a Terra devido a ação de uma força atrativa entre todos os corpos do universo que possuíam massa. Formulou então, com base nesses estudos, uma lei relacionando a massa e a distância dos corpos envolvidos, a conhecida lei da gravitação universal. Segundo ela, "[...] quanto maior for a massa dos corpos, maior será a intensidade da atração gravitacional entre eles, e quanto maior for a distância entre os corpos, menor será a intensidade da atração*"* (DAMASIO, 2009, p. 11).

Essa lei explica porque a Lua orbita em torno da Terra, e esta, assim como os outros planetas orbitam em torno do Sol, que por sua vez gira em torno da Via Láctea, assim como, outros exemplos explicados pela atração, como em uma das histórias mais famosas envolvendo Newton e a maça.

Com a previsão teórica da posição do planeta Netuno, Newton complementou a obra de Galileu em relação ao movimento dos corpos celestes, e as suas leis podiam descrever e explicar todos os fenômenos da época. Com isso, temos o que é conhecido hoje como o Princípio da Relatividade de Galileu como "as leis do movimento são igualmente válidas em todos os sistemas de referência não-acelerados (inerciais) (DAMASIO, 2009, p12). De acordo com esse princípio, o sistema de coordenadas utilizado não pode ser acelerado, ou seja, deve ser inercial. Mas com isso, surgiram algumas perguntas: como saber se o sistema é inercial? Inercial a que?

Pensando em como resolver esse problema, Newton propôs um experimento utilizando um dispositivo mecânico, o pêndulo, com o mesmo propósito do experimento do balde: fixa-se o pêndulo no objeto (ou sistema de referência utilizado), depois de solto, se o pêndulo se manter na vertical, sabe-se que o sistema utilizado é inercial; caso o pêndulo se incline em uma direção qualquer, trata-se de um referencial não-inercial, ou no caso, acelerado.

Além de suas teorias aceca do movimento, Newton também se pautou nos estudos de outros cientistas como Galileu e Descartes, ao sinalizar seu entendimento de que o princípio da relatividade restrita deveria ser aplicado a luz. A análise de seus escritos possibilita afirmar que Newton acreditava que a luz era formada por pequenas partículas que se moviam em grandes velocidades pelo espaço, mas que outros estudos eram necessários, pois muitas eram as dúvidas quanto as suas propriedades.

No caso das ideias anteriores as de Newton, relativas a natureza da luz, evidenciamos estudos de Galileu ao afirmar que a sua velocidade era extremamente grande e de Descartes, que considerava que ela era infinita e que não poderia ser constituída por partículas. Ao estudar um eclipse lunar, Descartes concluiu que a luz seria uma espécie de pressão que se propaga do Sol até a Terra, atravessando um material invisível, com uma estrutura semelhante a uma esponja[9], que preenche todo o espaço celeste (MARTINS, 2015).

4.3 HUYGENS À MAXWELL: A LUZ É UMA ONDA

A concepção formulada por Newton para explicar a natureza da luz (como partícula), permaneceu como a mais adequada durante todo o século XVIII. No entanto, nem todos os cientistas concordavam com essa teoria. Um deles foi o físico holandês Christiaan Huygens (1629 – 1695), que descrevia a luz como sendo uma perturbação que se propaga em um fluído universal, o éter, em uma analogia ao som[10]. Mais tarde, a comunidade científica passou a aceitar a teoria ondulatória com maior credibilidade graças aos estudos do médico inglês Thomas Young (1773 – 1829) e o engenheiro francês August Jean Fresnel (1788 – 1827) (PIETROCOLA, 1993).

Esses dois cientistas dedicaram-se aos estudos relacionados aos fenômenos de difração e interferência luminosa e confirmaram que a luz seria uma onda periódica, que se propaga num meio denominado éter, que cada cor do espectro luminoso possuía uma frequência específica, explicando a polarização da luz. Todavia, ainda tinham fenômenos que não podiam ser explicados.

---

[9] O éter teria a forma de uma esponja, onde conseguiria absorver a luz. Esta, era absorvida pelo éter como uma espécie de pressão. Descartes faz uma analogia com uma esponja de banho e a água.

[10] Para o professor: os cientistas acreditavam que a luz era uma onda (em analogia com o som) pelo fato de que assim como as ondas mecânicas, a luz precisaria de um meio para se propagar – o éter.

Um desses fenômenos era a paralaxe estelar: se a Terra se move em torno do Sol, deveriam surgir efeitos visíveis em diferentes épocas do ano, por causa da órbita elíptica da Terra. Todavia, cientistas como Robert Hooke (1635 – 1703), James Bradley[11] (1693 – 1762) entre outros não conseguiam definir de forma clara as posições de algumas estrelas. Durante vários meses de observação, mediaram a posição de uma estrela, e conforme o movimento de translação da Terra, sempre havia uma mudança em sua posição, que foi denominada como "aberração da luz" (MARTINS, 2012).

Em 1809, François Jean Dominique Arago (1786 – 1853), realizou um experimento com o objetivo de verificar a deflexão que a luz de uma estrela sofria em relação a Terra, utilizando um prisma[12]. Em sua experiência, Arago considerou que a velocidade da luz dentro do prisma seria sempre a mesma, independente do movimento da Terra, e que fora do prisma, seria menor se a Terra estivesse se afastando da estrela, ou maior, se ela estivesse se aproximando. Se a sua teoria estivesse correta, seria possível calcular com precisão a velocidade da Terra em relação as estrelas. Porém, não foi o que aconteceu, pois, a velocidade da luz era sempre constante (MARTINS, 2012; MARTINS, 2015).

Arago realizou o seu experimento acreditando na teoria corpuscular da luz (de Newton), e, como não obteve o resultado esperado, acabou o abandonando. Em 1817, a Academia de Ciências francesa concedeu um prêmio de melhor trabalho sobre o fenômeno de difração a Fresnel, que defendia a teoria ondulatória da luz, e por fazer parte da comissão julgadora, Arago resolveu escrever uma carta pedindo maiores explicações a respeito do seu trabalho.

Em resposta, em 1818, Fresnel escreveu um artigo denominado Carta de Augustin Fresnel a François Arago sobre a influência do movimento terrestre em alguns fenômenos de óptica. Nele, Fresnel afirmava que a luz era uma onda que se propagava no éter com velocidade constante, sendo considerado como um sólido elástico (e não um fluido). A partir dessas discussões e os novos estudos realizados

[11] O astrônomo James Bradley descobriu o fenômeno da aberração da luz ao observar a paralaxe das estrelas ocasionadas pela órbita terrestre, e, percebeu que durante o ano, essa posição sempre variava com uma posição diferente do previsto matematicamente. Por não conseguir uma explicação precisa, denominou esse fenômeno como aberração da luz (MARTINS, 2012).

[12] Arago acreditava que a luz vinda de uma estrela, ao atingir o prisma, deveria sofrer um desvio. Esse desvio poderia mudar conforme o ângulo da luz da estrela em relação ao movimento da Terra, ou no sentido contrário (MARTINS, 2015).

na comunidade científica sobre a natureza da luz, evidenciou-se que a teoria ondulatória, tal como formulada por Young e Fresnel apresentava alguns problemas.

Fresnel propôs que o éter preencheria todos os espaços vazios do universo, e que estaria em repouso, e que, por isso não seria movido junto com o deslocamento dos corpos celestes, afirmando que“ [...] até agora eu só pude conceber claramente este fenômeno supondo que o éter passa livremente através do globo e que a velocidade calculada a este fluído é somente uma parte daquela da Terra; não excede o centésimo por exemplo” (PIETROCOLA, 1993, p.9).

Contudo, mesmo imóvel, deveria ter algum tipo de interação entre o éter e os corpos celestes, e por analogia com o som, a velocidade da luz no éter deveria depender da densidade do meio, sendo mais lenta nas regiões mais densas (ou com menor pressão, como a teoria de Descartes). Mas, como os cientistas da época não conheciam a natureza específica do éter, não conseguiam determinar de forma coerente um valor para a velocidade da luz nesse meio material.

Além de precisarem definir a natureza do éter, a comunidade científica se deparou com outro problema: se a luz é uma onda, qual é a sua natureza?

Em 1879, um físico e matemático escocês, James Clerck Maxwell[13] (1831 – 1879), demonstrou matematicamente em seu trabalho denominado Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo a existência de ondas eletromagnéticas, que transportavam energia e quantidade de movimento (e não matéria). Ao estudar uma equação de onda em uma região onde não possui cargas elétricas (como no espaço interestrelar), também calculou teoricamente a velocidade dessas ondas, chegando a um valor de 300.000 km/s (DAMASIO, 2009).

Todavia, Maxwell (e toda a comunidade científica) se deparou com uma importante questão: a luz tinha uma velocidade de 300.000 km/s em relação a que? Para explicar esse problema, Maxwell começou a buscar meios de identificar a velocidade da luz em relação ao éter observando os momentos dos eclipses dos satélites de Júpiter, e, comparar os seus atrasos e adiantamentos com seus dados teóricos. Conforme Maxwell,

O único método praticável de determinar diretamente a velocidade relativa do éter e do sistema solar é comparar os valores da velocidade da luz deduzidos da

[13] Uma das principais contribuições de Maxwell foi a unificação de duas áreas da física: eletrodinâmica e eletromagnetismo, que ficou conhecida como eletromagnetismo.

observação do eclipse dos satélites de Júpiter, quando Júpiter é visto da Terra em pontos aproximadamente opostos da eclíptica (MARTINS, 2015, p. 70).

Nesse caso, Maxwell estava tentando determinar os efeitos do sistema solar como um todo, e não apenas a velocidade da Terra em relação ao éter. Assim, se o sistema solar se movesse em relação ao éter, sua velocidade seria sempre a mesma, mas, se houvesse um vento de éter vindo de Júpiter para a Terra, essa velocidade da luz seria maior, assim como, se houvesse um vento de éter indo da Terra para Júpiter, a velocidade da luz deveria ser menor (isso porque se a luz é uma onda do éter, sua velocidade deveria ser influenciada pelo vento do éter). O problema é que pela longa distância entre a Terra e Júpiter, os eclipses ocorriam em meia a 12 anos[14].

Apesar de ser uma proposta inovadora, Maxwell não tinha os dados astronômicos necessários, sendo impossível concluir as suas observações. Por isso, em 1879, escreveu uma carta a David Peck Todd, um famoso astrônomo da época, perguntando se ele não teria esses dados. Todd respondeu que não possuía dados completos, pois na época era impossível determinar o instante do início dos eclipses com uma precisão menor que 0,1 s. infelizmente, no mesmo ano Maxwell faleceu. No ano seguinte, Todd mandou que publicasse a carta de Maxwell, que seria discutida mais tarde pelo cientista Albert Abraham Michelson (1852 – 1931)

4.4 O APARATO DE MICHELSON E MORLEY

Ainda em 1880, Todd e Michelson discutiram a possibilidade de determinar a velocidade da Terra através do éter utilizando a velocidade da luz como base (calculada por Maxwell como 300.000 km/s). Estudando as teorias formuladas por Maxwell e outros cientistas, Michelson concluiu que a única maneira de medir uma variação tão pequena no tempo de ida e volta da luz, seria utilizando um aparato experimental específico, denominado interferômetro. Como esse equipamento só era encontrado na Europa, Michelson resolveu ir para a Europa com o objetivo de estagiar e desenvolver o seu equipamento no Collège de France e na Escola Politécnica (MUNERA, 2007 MARTINS, 2015). Como objetivo pessoal, iria medir a variação como uma resposta a um desafio proposto por Maxwell (DAMASIO, 2017).

Com a experiência necessária, em 1881, buscando um patrocinador para produzir o aparato planejado, Michelson procurou apoio financeiro de Alexander

[14] Para o professor: discutir com os alunos os tempos das órbitas dos planetas do Sistema Solar.

Graham Bell, estudioso que se dedicava a compreender fenômenos sonoros e que apoiava financeiramente estudos de jovens cientistas. O dinheiro para o financiamento concedido por Bell à Michelson e outros cientistas, era resultante da invenção do aparelho de telefone, demonstrado em 1876 na Exposição do Centenário da Filadélfia.

Além dessa invenção, que lhe concedeu fama internacional e possibilitou-lhe constituir fortuna, Graham Bell era reconhecido por seus estudos relacionados com a emissão de sons e passagem de luz por diagramas finos, resultados associados a descoberta do efeito fotoacústico e origem da espectroscopia acústica (MUNERA, 2007).

O aparato planejado por Michelson para realizar a medida dessa velocidade foi construído pela empresa Schmidt e Haensch, de Berlim, responsável pela produção e aprimoramento das invenções de Graham Bell (MUNERA, 2007). Com ele, Michelson, previu de forma teórica, que a medida do tempo que a luz levaria para percorrer dois pontos distintos, por meio da emissão de um feixe de luz de uma fonte monocromática, seria diferente e produziria um padrão de franjas devido ao arrastamento da Terra no éter. Porém, experimentalmente, observou que as franjas não tinham um padrão regular, parecendo simples erros experimentais.

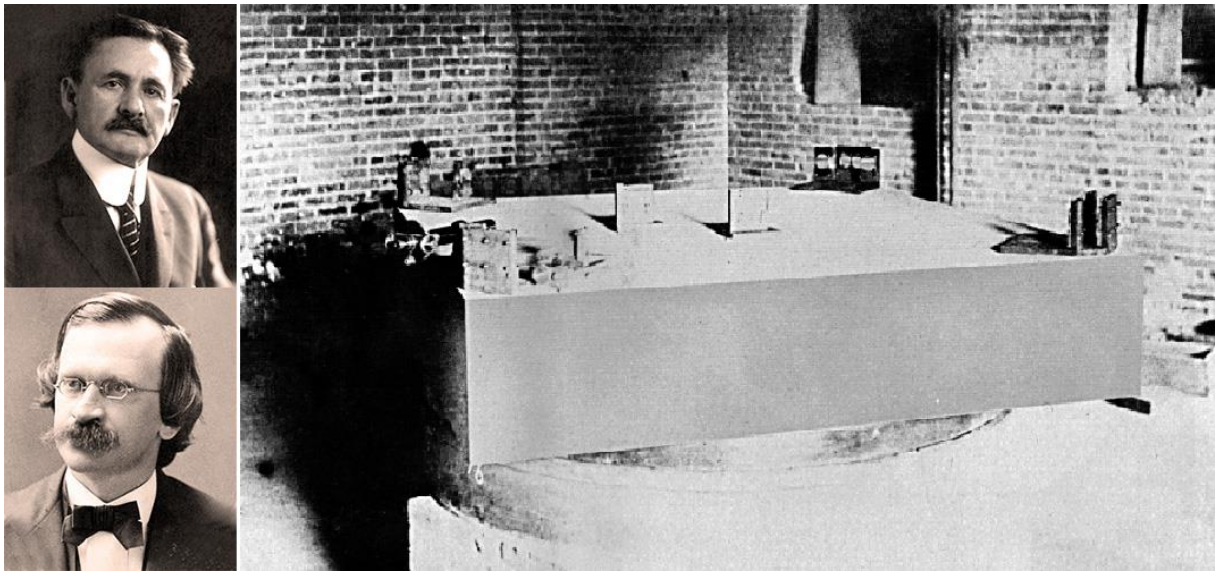
Então, ele concluiu que não haveria “[...] nenhum deslocamento das franjas de interferência. O resultado da hipótese do éter estacionário tem se mostrado incorreta, e a conclusão necessária é que a hipótese está errada” (MICHELSON, 1881, p. 128 apud FERREIRA, 2013, p. 16).

Quando Michelson apresentou em 1881, em Paris, o artigo com os resultados de suas pesquisas para a comunidade científica, não concluiu que o éter não existia, apenas afirmou que ele não era arrastado pela Terra. Além de deixar a sua conclusão teórica em aberto, foi muito criticado por outros cientistas (MARTINS, 2012; FERREIRA, 2013; MARTINS, 2015). Nessa apresentação, Potier indicou um erro teórico em seu experimento: Michelson não levou em consideração o tempo de ida e volta do feixe perpendicular ao vento de éter, pois não era nula, como Michelson pensava. Com seu fracasso, Michelson se sentiu extremamente frustrado, abandonando os experimentos (MARTINS, 2015).

Em 1887, com o auxílio do químico Edward Morley, construíram um novo interferômetro (figura 1) com uma precisão melhor daquele utilizado na experiência anterior. Ao invés do aparato estar em uma estrutura de aço, construíram sobre uma placa cilíndrica de mármore, ficando mais estável e livre de vibrações, uma vez que

sua base flutuava livremente sobre o mercúrio líquido, livrando o sistema de qualquer oscilação e atrito. Além disso, esse novo interferômetro possibilitava que o feixe de luz incidente refletisse várias vezes entre os espelhos, permitindo a realização de uma série de medidas durante quatro dias, observando apenas pequenas variações na interferência (MARTINS, 2012).

Figura 1: Foto do segundo aparato experimental desenvolvido por Michelson com a ajuda do engenheiro Morley.



Fonte: interferômetros. Disponível em: https://writescience.wordpress.com/tag/gravitational-waves/

Todavia, os novos resultados foram inesperados para Michelson e Morley: eles observaram pequenas variações de interferências, concluindo que o efeito era nulo e que não seria possível detectar o movimento da Terra em relação ao éter (FERREIRA, 2013; MARTINS, 2015).

Esse resultado era diferente do obtido anteriormente: o primeiro experimento havia confirmado a teoria para o arrastamento do éter por corpos transparentes e o outro refutava a teoria do éter estacionário de Fresnel[15]. Apesar das evidências experimentais, Michelson e Morley não cogitaram a hipótese de abandonar a teoria do éter, provavelmente porque ela era uma das bases da óptica e do eletromagnetismo (FERREIRA, 2013; MARTINS, 2015).

[15] A teoria do arrastamento do éter por corpos transparentes, proposta por Huygens, ao fazer uma analogia com o som, e, o éter estacionário, de Fresnel, explicando o fato de que não vemos o vento de éter devido ao fato dele estar em repouso.

O não abandono a teoria do éter era partilhada por outros cientistas como o inglês George Francis FitzGerald e o holandês Hendrik Lorentz, os quais tentaram explicar os resultados negativos do experimento. A explicação elaborada por esses cientistas, para o resultado não adequado do experimento de Michelson-Morley, pautava-se nas hipóteses de que os braços do interferômetro e os outros objetos utilizados no procedimento sofreriam uma contração em seus movimentos, e isso poderia anular o efeito que seria previsto (MARTINS, 2015).

Tal encurtamento seria devido ao fato de que o objeto sofreria uma contração material, quando em movimento em relação ao éter. Dessa forma, Lorentz propôs que o braço do interferômetro que se move paralelamente ao vento de éter deveria sofrer uma contração, passando do comprimento L para $L'=L(1-v^2/2c^2)$, e os tempos de ida e volta da luz nos dois braços passariam a ser iguais, no qual o movimento da Terra não deveria produzir um efeito considerável no interferômetro. Com base nessas hipóteses elaboraram uma descrição matemática conhecida como contração de Lorentz-FitzGerald (DAMASIO, 2009, MARTINS, 2015).

Nessa época, não havia motivos para imaginar que tais contrações deveriam acontecer, e Lorentz e FitzGerald provavelmente se basearam apenas pela ideia de algo deveria anular o resultado negativo, buscando encontrar uma solução para o cancelamento do vento do éter (MARTINS, 2015).

4.5 A RELATIVIDADE E POINCARÉ

Em 1895, ao estudar a base do éter, o matemático Henri Poincaré concluiu que "[...] era impossível medir o movimento absoluto da matéria, ou melhor, o movimento relativo da matéria em relação ao éter. Só se pode evidenciar o movimento da matéria em relação à matéria (MARTINS, 2015, p.104). Ele enfatizou que era preciso desenvolver teorias exatas do eletromagnetismo para encontrar a resposta que faltava, e, que a hipótese de contração dos corpos proposta por Lorentz era uma explicação insatisfatória, buscando apenas justificar o resultado inesperado do experimento de Michelson e Morley.

Em 1899, após estudos sobre o movimento dos corpos materiais e os efeitos físicos, Poincaré pontuou que era preciso desenvolver uma teoria que explicasse todos os fenômenos de uma só vez ao invés de ficar criando uma explicação diferente para cada. Tentando provar o seu pensamento, Poincaré começou a considerar que a velocidade da luz também deveria ser válida para a velocidade da gravitação. Se

ele estivesse certo, as Leis de Newton iriam precisar de uma nova formulação (PATY, 2010).

No ano seguinte, publicou um novo trabalho denominado como ‘princípio do movimento relativo’, no qual demonstrava que a velocidade da luz deveria ser utilizada como uma invariante, ou seja, a sua velocidade deveria ter o mesmo valor em relação a todos os referenciais que estivessem se movendo em relação ao éter, ou em repouso. (MARTINS, 2015). Porém, por mais que tentasse, Poincaré não conseguia encontrar uma maneira de medir a velocidade da Terra em relação ao éter (UCHOA, 2013).

No ano de 1905, Poincaré publicou dois trabalhos muito significativos para a teoria. No primeiro trabalho, corrigiu alguns problemas evidenciados na proposição de Lorentz, demonstrando que era necessário levar em consideração que todos os fenômenos eletromagnéticos deveriam ser idênticos em quaisquer referenciais. No outro, demonstrou que o tempo deveria ser manipulado como uma quarta dimensão e discutiu as consequências do princípio da relatividade no estudo da gravitação (PATY, 2010; FILHO, FILHO e FIRME, 2011).

O resultado desses trabalhos é a Teoria da Relatividade Restrita, pois, como conclusão, Poincaré afirmou que todos os fenômenos devem ser os mesmos, tanto para observadores fixos quanto em movimento uniforme. Pode-se dizer que faltou pouco para Poincaré descrever o princípio da relatividade restrita (PATY, 2010; FILHO, FILHO e FIRME, 2011).

4.6 OS POSTULADOS DE EINSTEIN

Nesse mesmo ano, Albert Einstein (1879 – 1955) publicou dois artigos relacionados a Teoria da Relatividade Restrita no periódico Annalen der Physik. Em um deles, denominado *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*, explicava a eletrodinâmica dos corpos a partir das teorias de Maxwell. Conforme Einstein afirmava, “[...] a eletrodinâmica de Maxwell, como geralmente entendida no tempo presente, quando aplicava a corpos em movimento, leva a assimetrias que não parecem ser inerentes aos fenômenos (DAMASIO, 2017, p. 6).

No outro artigo, Einstein apresentou a relação entre a massa e energia, no que viria a ser uma das mais famosas equações ($E=mc^2$). Através dessa equação, ele mostrou que é possível transformar massa em energia ou energia em massa, e dessa forma, uma era dependente da outra.

Um cientista da época, que lesse o seu primeiro artigo, iria perceber pelo título que Einstein estaria discutindo um assunto já abordado por outros autores anteriormente, como Maxwell, Lorentz e Poincaré. Mas, o que diferenciava os trabalhos de Einstein desses outros autores?

É a resposta é que Einstein: negou a existência de um meio material já muito discutido por outros cientistas, o éter; propôs a equação $E=mc^2$ como uma relação que poderia ser aplicada em todos os casos; e, interpretou os resultados obtidos por outros cientistas de uma maneira diferente e mais simples: “aquilo que não pode ser detectado deveria ser excluído da Física” (MARTINS, 2015, p. 248; DAMASIO, 2017). Ao invalidar a existência do éter, todos os referenciais inerciais seriam equivalentes. Com essa teoria, enunciou o primeiro postulado:

> *Princípio da relatividade,* que afirma que as leis básicas da física são as mesmas em todos os referencias inerciais em movimento relativo uniforme. Seu conteúdo físico pode ser descrito de outra forma: os fenômenos físicos que ocorrem em um sistema isolado não dependem de sua velocidade e, portanto, não se pode medir a velocidade de um sistema por experiências puramente internas. Em particular, não se pode medir a velocidade da Terra utilizando observações terrestres (MARTINS, 2015, p. 17).

Esse postulado resolvia a inconsistência que existia entre o eletromagnetismo e a mecânica newtoniana por causa do valor fixo da velocidade da luz no vácuo, e, que ninguém até então conseguia explicar em relação a quê. Os cientistas da época acreditavam que o eletromagnetismo era válido apenas para um referencial em repouso em relação ao éter. Com isso, descreveu o segundo postulado:

> *Princípio da constância da velocidade da luz,* que afirma que a velocidade da luz (ou qualquer outra radiação) não depende da velocidade de sua fonte. Por exemplo: a luz emitida por uma lâmpada parada tem a mesma velocidade que a luz emitida por uma lâmpada com alta velocidade (MARTINS, 2015, p. 17).

O fim do éter era a chave que faltava para a explicação negativa do experimento de Michelson e Morley (apesar de vários pesquisadores afirmarem que Einstein não ter utilizado esse experimento como base para a teoria), uma vez que retirava um referencial privilegiado do universo, e, deixava a luz livre para se propagar no vácuo (DAMASIO, 2009, PEDUZZI, 2015, MARTINS, 2015).

O fato é que Einstein teve a oportunidade de citar o interferômetro várias vezes em seus trabalhos, e não o fez. Provavelmente, porque Einstein, assim como Galileu e Newton, se fundamentou em explicar uma teoria ao invés de um experimento, ou, no caso, salvar o experimento de Michelson e Morley.

Uma dessas oportunidades está na introdução, quando afirma que o éter não é necessário. A outra, foi quando descreveu os dois postulados: ele não utilizou um experimento como base, ou se referiu a qualquer conjunto experimental conhecido para embasar a sua teoria.

O interessante nessa história é que nem sempre Einstein negou a existência do éter. Muito pelo contrário. Ainda na época da sua graduação em Física, planejou a construção de um aparato experimental para medir a velocidade da Terra em relação ao éter (Einstein acreditou na sua existência até por volta de 1901).

4.6.1 Relativo?

Apesar do nome 'Teoria da Relatividade', Einstein nunca disse de fato que tudo é relativo, mas, que algumas são, mais especificamente: o espaço e o tempo.

A velocidade absoluta da luz em relação a um referencial inercial é uma consequência do segundo postulado, e gera a dilatação temporal. Para explicar esse fenômeno, precisamos definir o que é chama de 'evento': algo que ocorre durante um intervalo de tempo em algum lugar do universo. Logo, para determinar um evento, precisa-se de uma data e um local. Parece algo simples.

Conforme Einstein, "os intervalos de tempo decorridos entre os mesmos dois eventos são diferentes quando medidos por diferentes observadores que estão em movimento relativo" (DAMASIO, 2009, p.25). Para entender melhor essa afirmação, vamos utilizar um relógio de luz: um tubo com a base e topo espelhados, que reflete a luz nas duas pontas, como demonstrado na figura abaixo pelo nosso querido cientista.

O fato é que, dois eventos podem estar separados por um intervalo de tempo, dependendo de quem está o observando por causa da invariância da velocidade da luz no vácuo em relação ao referencial inercial. Para entender melhor, utilizando o relógio de luz, determinamos de evento 1 a partida do feixe de luz, e de evento 2 a sua volta a esse ponto de partida após refletir no espelho superior. Para medir o tempo percorrido por esse feixe, na mecânica, bastava dividir a distância percorrida pela luz com a sua velocidade c, como podemos observar abaixo: (DAMASIO, 2009).

Dessa forma, quando começamos a medir o intervalo de tempo por um observador em repouso em relação ao relógio, a distância percorrida pelo feixe de luz será de $2\Delta S$, e, o tempo medido por esse observador será de $2\Delta S/c$, já que a luz ira percorrer uma distância em linha reta, como descrito na figura.

No entanto, um segundo observador em movimento ao relógio de luz iria observador o mesmo fenômeno? Do ponto de vista físico, o feixe de luz iria se deslocar em relação ao observador 2, como na figura abaixo.

Para medir o intervalo de tempo nessa segunda situação, olhando pela figura, percebe-se que o espaço percorrido pela luz entre os dois espelhos foi maior do que aquele em relação ao observador que estava em repouso. Supondo que essa distância agora seja de 4ΔS, o intervalo de tempo será então de 4ΔS/c.

Como observado, o intervalo de tempo dos dois eventos foi diferente quando medido por observadores com velocidades diferentes, e, o intervalo de tempo para o referencial que estava em repouso foi menor que para o referencial que estava em movimento. Einstein denominou esse evento de dilatação temporal, e, ela só apresenta valores significativos quando as velocidades dos eventos estão próximas a da luz.

4.6.2 Paradoxo dos Gêmeos

Essa dilatação temporal causa uma consequência denominada paradoxo dos gêmeos.

Imagine dois irmãos gêmeos, com exatos 20 anos de idade. Um dos irmãos (Pedro) realiza uma viagem, com velocidade de 0,8c, até uma estrela que fica 20 anos luz da distância da Terra, enquanto o outro (Francisco) permanece na Terra. Ao chegar na estrela, Pedro da meia-volta para a Terra. Pela equação proposta por Lorentz e FitzGerald (contração do comprimento), o tempo de viagem para Pedro, que estava na nave, foi de aproximadamente 30 anos no referencial Terra-estrela, mas, 50 anos para Francisco, que permaneceu na Terra. Então, quando Pedro encontra o seu gêmeo, está 20 anos mais novo, ou seja, Francisco tem 70 anos de idade. Conforme o senso comum, essa diferença é impossível. Mas, conforme a Teoria da Relatividade Restrita, não (DAMASIO. 2009; SANTOS, 2009).

O fato é que tem-se dois pontos a esclarecer nessa história: o primeiro é que Pedro fez uma viagem a uma velocidade próxima a da luz, e, quando retornou, teve a sensação de viajar para o futuro, uma vez que o seu irmão estava com 70 anos de idade; e a segunda, é que embora Pedro tenha envelhecido menos, isso não significa que o seu ciclo vital tenha se alterado.

Mas, como essa diferença pôde acontecer? Lembra que Einstein afirmou que o espaço e o tempo são relativos? Então, isso significa que além do tempo, o espaço também depende do referencial do observador (DAMASIO, 2009).

O fato é que apesar desse evento ser conhecido como paradoxo dos gêmeos, ele é quase absoluto porque não seria possível afirmar qual dos gêmeos envelheceria menos ou mais, porque a situação dos referenciais dos gêmeos é equivalentes. Ou seja, o irmão que ficou na Terra poderia estar se afastando do irmão que está na nave.

Entretanto, na realidade, a situação deles não é igual porque apenas o irmão que ficou na Terra está em um referencial inercial, e, dessa forma, a relatividade restrita vale apenas para Francisco, já que Pedro não constitui um referencial inercial uma vez que é possível acelerar a nave (lembrando que as conclusões da relatividade restrita são válidas apenas para referenciais inerciais).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Neste capítulo, apresentamos os elementos teóricos e metodológicos que orientam a pesquisa qualitativa e a construção do produto educacional.

Considerando a pretensão de produzir um material utilizando Histórias em Quadrinhos e tirinhas e História e Filosofia da Ciência em sua estruturação, decidimos pela realização de um estudo com uma abordagem do tipo qualitativa. Um estudo com abordagem do tipo qualitativa almeja a

> [...] objetivação do fenômeno; hierarquização das ações de *descrever*, *compreender*, *explicar*, a precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno; observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural; respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos; busca de resultados os mais fidedignos possíveis; oposições ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências (SILVEIRA e CORDOVA, 2009, p.32).

Todavia, para realizar um trabalho com tais características, o pesquisador precisa tomar alguns cuidados, pois durante a descrição de fenômenos, deve estar atento a questões subjetivas particulares, sendo:

> [...] excessiva confiança no investigador como instrumento de coleta de dados; risco de que reflexão exaustiva acerca das notas de campo possa representar uma tentativa de dar conta da totalidade do objeto estudado, além de controlar a influência do observador sobre o objeto de estudo; falta de detalhes sobre os processos através dos quais as conclusões foram alcançadas; falta de observância de aspectos diferentes sob enfoques diferentes; certeza do próprio pesquisador com relação a seus dados; sensação de dominar profundamente seu objeto de estudo (SILVEIRA e CORDOVA, 2009, p.32).

Tomados os devidos cuidados para realizar a pesquisa qualitativa e a descrição dos fenômenos, buscamos obter uma maior familiaridade com o problema de pesquisa para então construir o texto histórico, que leva em consideração a evolução do conhecimento científico e o contexto histórico da época.

Para obter essa familiaridade, realizamos os fichamentos dos trabalhos encontrados na pesquisa bibliográfica, e após essa etapa, selecionamos os trabalhos que pudessem ser utilizados no texto histórico. Por fim, coletamos as informações que propiciassem um exame minucioso do problema por meio da análise de obras científicas e artigos, fontes primárias e secundárias de diversas áreas do conhecimento, que apresentavam algum tipo de relação com o objeto de estudo.

Especificamente, buscamos descrever o processo de construção da teoria da relatividade restrita valorizando aspectos sociais do cotidiano em que os fatos ocorreram, buscando compreendê-los e explicá-los. Buscamos com a pesquisa bibliográfica "[...] o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis" (SILVEIRA e CORDOVA, 2009, p.32).

Dessa forma, construímos um texto histórico para apoio do professor, e, um material que ele possa utilizar em sala de aula para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita.

3.1 OS CAMINHOS PERCORRIDOS NA PESQUISA

Finalizada a pesquisa bibliográfica, passamos para a parte que constituiu na construção do material histórico sobre a Teoria da Relatividade Restrita com um enfoque epistemológico contemporâneo. As classificações dos tipos de visões epistemológicas são divididas em visão epistemológica contemporânea e visão epistemológica empirista-indutivista, sendo essas:

> Visão epistemológica contemporânea: 1- O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter não absoluto; 2 - o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, nas evidências experimentais, nos argumentos racionais e no ceticismo; 3 - não existe uma maneira única de se fazer ciência, ou seja, não há um método científico universal; 4 - a ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais; 5 - leis e teorias exercem papéis diferentes na ciência, sendo que teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais ficam disponíveis; 6 - pessoas de todas as culturas contribuem para com a construção/desenvolvimento da ciência; 7 - os novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta; os cientistas necessitam de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade dos estudos realizados; 8 - as observações são carregadas de teorias; cientistas são criativos; 9 - a ciência é parte das tradições culturais e sociais; 10 - a história da ciência apresenta um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário; 11 - a ciência e a tecnologia impactam uma à outra; 12 - ideias científicas são afetadas pelo seu meio social e histórico (MCCOMAS, ALMAZROA e CLOUGH, 1998, p.513, tradução nossa).

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

> empíricos, sendo a ciência neutra, livre de pressupostos ou preconceitos (SILVEIRA, 1992, p. 36).

Dessa forma, ao escolher a visão epistemológica contemporânea, temos como possibilidade analisar a produção científica, o desenvolvimento da teoria, o cientista como participante do processo histórico e como um produtor das ideias através de um contexto colaborativo. Logo o nosso material enfatiza o processo evolutivo da construção da Teoria, e não apenas a sua formulação final.

Após definida o tipo de visão epistemológica, começamos a construção do texto histórico para o professor, que tem como principal objetivo ser um material de uso do professor em sala de aula. Esse material foi desenvolvido a partir dos textos selecionados durante a pesquisa bibliográfica (apesar de também conter textos que não fazem parte da pesquisa) com base no entendimento presente em pesquisas da área de ensino, que sugerem que o uso da História e Filosofia da Ciência pode contribuir com o processo de ensino porque favorece a compreensão do processo de construção de uma teoria.

Assim, buscamos apresentar, ao professor e aluno, algumas das dificuldades enfrentadas pelos cientistas, os erros e acertos experimentais e teóricos e a evolução do conhecimento científico no decorrer dos anos.

Para a última etapa, destinada aos alunos, construímos um material em Histórias em Quadrinhos e tirinhas baseado no texto histórico do professor. Para isso, desenhamos inicialmente todos os cientistas presentes no texto histórico. Após essa primeira etapa de desenho, definimos as falas das personagens e as narrativas necessárias para ligar um quadrinho ao outro, e então, desenhamos cada cena separadamente em um tablet.

As HQ’s materializam um modelo de ensino que pode ser utilizada pelo professor como ferramenta de apoio para a sua aula, um organizador prévio, uma ferramenta para facilitar a consolidação do conteúdo, uma atividade de tarefa ou avaliação da aprendizagem significativa. Isso porque, de acordo com Rama e Vergueiro (2008, p. 21), “[...] palavras e imagens, juntos, ensinam de forma mais eficiente”, e para isso, buscamos apresentar um “[...] alto nível de informação nos quadrinhos.

3.2 OS OBSTÁCULOS DO USO DA HISTÓRIA E FILOSFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Para descrever a construção histórica, é preciso evidenciar quais foram as questões iniciais sobre um determinado problema, as ideias e teorias apresentadas como resposta e as contribuições de todos os colaboradores no processo. Deve-se buscar compreender os eventos investigados e possíveis relações entre os envolvidos. Para isso, é necessário "[...] ir à gênese da questão, procurando reconstruir a história de sua origem e de seu desenvolvimento" (FREITAS, 2002, p. 27).

Para a construção do roteiro das Histórias em Quadrinhos partimos do entendimento de que:

> a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época; teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência; o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo (FORATO, 2009, p.51).

Além disso, nos preocupamos com a seleção do conteúdo histórico, o tempo didático disponível, a simplificação e omissão de informações, o relativismo de ideias, as inequações dos trabalhos especializados da história da ciência para o ensino médio, as narrativas históricas dos livros didáticos, os benefícios das reconstruções, tal como pontua Forato (2009, p. 51).

Segundo esse autor existem alguns obstáculos para esse tipo de construção. O primeiro obstáculo, a seleção do conteúdo histórico, aponta para a necessidade de avaliar inicialmente quais serão os tópicos abordados de acordo com o objetivo desejado e realizar a busca. O Segundo é o tempo didático, ou seja, o tempo disponível para trabalhar todo o conteúdo da sequência didática, no qual varia de acordo com o ambiente e a quantidade de alunos e do conteúdo histórico proposto, no qual "é necessário selecionar episódios históricos bem delimitados sem incorrer em narrativas históricas muito superficiais" (FORATO, 2009, p.51).

O terceiro obstáculo está relacionado com a construção da narrativa histórica apresentada, no qual deve ser apresentado de forma a permitir a problematização e a observação neutra dos fenômenos e experimentos, e ao mesmo tempo, valorizar a importância da observação e a construção do conhecimento científico. Dessa forma,

como Forato (2009) aponta, o nível de profundidade histórico deve ser simplificado, no entanto, deve-se tomar cuidado para não omitir informações importantes.

Lidar com o fazer científico sem distorcê-lo requer apresentar uma quantidade significativa de detalhes envolvidos na elaboração de teorias, na observação dos fenômenos, levando em conta uma contextualização minimamente necessária. *Simplificação* e *omissão* é sem dúvida um desafio a enfrentar (FORATO, 2009, p.52).

O quarto obstáculo aponta para a construção da narrativa histórica, que normalmente é apresentada através de uma visão empiríca-indutivista, fomentando o relativismo das ideias. Para que isso deixe de ocorrer, é preciso apresentar a problematização e observação dos fenômenos de forma neutra, e, valorizar "a importância da observação, da evidência experimental, dos argumentos racionais e do ceticismo na construção do conhecimento científico" (FORATO, 2009, p.52) afim de evitar o esse relativismo.

Provavelmente este obstáculo seria minimizado se os trabalhos de pesquisas realizados pelos historiadores fossem transpostos e adequados para o ensino de ciências. Dessa forma, os resultados teriam que abordar os aspectos contextuais e os conteúdos científicos abordando prescrições historiográficas atuais, aspectos contextualizados e um nível científico compatível com o ensino de ciências. Esse obstáculo também é causa de outro grande problema no ensino de ciências: o uso ingênuo da história apresentado nos livros didáticos. Essa história é configurada como uma pseudo-história, perpetuando uma visão ultrapassada da ciência, na qual apresenta pequenas versões, que muitas vezes são distorcidas da realidade.

3.3 A LINGUAGEM EM QUADRINHOS COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO

O uso de HQ's está sendo cada vez mais frequente no ambiente escolar pois possibilita que os professores realizem discussões conceituais de forma mais simplificada, além de ser um diferencial em sala de aula, que muitas vezes aborda apenas o uso de cálculos matemáticos, muito frequente no ensino de Física. Para Frederico e Gianotto,

> [...] a imagem tem a propriedade de referência em comum com a língua, diferindo, no entanto, nos elementos de leitura, principalmente quanto ao número, pois, na língua esses são finitos, enquanto que na imagem podem ocorrer sem limites (FREDERICO e GIANOTTO, 2012, p.202).

Isso porque as HQ's "tem o objetivo de indicar aquilo que a imagem não mostra, acrescentando elementos temporais e espaciais ao contexto pretendido, conseguindo estabelecer uma união lógica das vinhetas e quadros" (TESTONI e ABIB, 2003, p.4). A imagem carrega o significado sem precisar necessariamente de mais informações, possibilitando que o leitor perceba questões sem maiores explicações, como por exemplo: uma lâmpada sobre a cabeça de um avatar significa que ele teve uma ideia.

A escolha da criação de HQ's no ambiente escolar implica em uma seleção de ideias e desenhos feitos de maneira criteriosa para evitar que seja uma atividade lúdica, e por isso, só deve ser iniciada após a discussão do texto de apoio e a seleção do contexto a ser recriado.

Autores como Santos (2001), Pena (2003), Caruso, Carvalho e Silveira (2012), Frederico e Gianotto (2012) afirmam que as HQ's no ensino têm se mostrado uma ferramenta de ensino eficiente e que pode ser explorada pelos professores, e o mais importante, possui apenas a criatividade do aluno (ou professor) como limite. O professor pode:

> [...] usá-los como motivação antes dos livros didáticos (para iniciar a discussão de um tema, induzir o diálogo, atrair, despertar, instigar a curiosidade para o conteúdo da disciplina e levantar os conhecimentos prévios dos alunos); como exemplo do que foi ensinado (para ratificar a informação dada); apresenta-los nas aulas aos futuros professores da disciplina para que sejam montados projetos com o material (para o futuro professor aprender a desenvolver, através dos "quadrinhos", a crítica e a criatividade dos alunos, corrigindo as distorções conceituais); pedir aos alunos que criem seus próprios "quadrinhos"; após a discussão do conteúdo, distribuir os alunos em pequenos grupos e pedir que relatem o conceito exposto nas "tirinhas", interagindo para discuti-lo e montando perguntas que eles mesmos vão responder, dando aula uns aos outros. Depois o professor os corrige e acrescenta o que é necessário; ler a "historinha" (ou solicitar que os alunos leiam), comentá-la e discuti-la com a turma. Depois dividir os alunos em grupos e propor a realização de alguns experimentos e/ou ilustrações sobre o tema tratado nos "quadrinhos"; criar exercícios e problemas a partir de histórias em quadrinhos; dar aos alunos "quadrinhos" com distorções conceituais, e solicitar aos alunos (divididos em grupos) que encontrem e corrijam as distorções; utilizar "tirinhas" (sem balões de fala) que tratem de um determinado conceito científico, e pedir para que os alunos criem balões de fala que retratem as imagens e falem sobre o conceito científico explícito na "historinha" (PENA, 2003, p.21).

Conforme Vergueiro (2008), além dos itens pontuados acima, o emprego da História em Quadrinhos e tirinhas no contexto educacional se justifica pelo:

> a) [...] fato dos estudantes quererem ler os quadrinhos; b) palavras e imagens, juntos, ensinam de forma mais eficiente; c) existe um alto nível de informação nos quadrinhos; d) as possibilidades de comunicação são enriquecidas pela familiaridade com as histórias em quadrinhos; e) os quadrinhos auxiliam no desenvolvimento do hábito da leitura, f) os quadrinhos enriquecem o

> vocabulário dos estudantes; g) o caráter elíptico da linguagem quadrinhística obriga o leitor a pensar e imaginar; h) os quadrinhos podem ser utilizados em qualquer nível escolar e com qualquer tema (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p.21).

Todavia, antes do uso das HQ's como ferramenta educacional, Rama e Vergueiro (2008, p. 31) salientam a necessidade de se promover um processo de alfabetização da linguagem quadrinhística, pois isso é "indispensável para que o aluno decodifique as múltiplas mensagens neles presentes e, também, para que o professor obtenha melhores resultados em sua utilização".

3.4 A LINGUAGEM DOS QUADRINHOS

Os quadrinhos exploram dois tipos de linguagens para transmitir a mensagem desejada, a verbal e a visual. Sua leitura ocorre da mesma forma que em um texto: do alto para baixo e da esquerda para a direita.

Emprega-se balões para expressar a linguagem verbal que representa a fala ou pensamento dos personagens da HQ, inseridos próximo dos mesmos e que se constituem em códigos que propiciam ao leitor a impressão de ouvir o personagem ao ler as palavras inseridas nos balões. "Isso acontece porque, principalmente pelo balão, as histórias em quadrinhos se transformam em um verdadeiro hibrido de imagem e texto, que não podem mais ser separados. O balão é a intersecção entre imagem e palavra" (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p. 56).

Para a decodificação da mensagem contida no balão, o leitor deve considerar tanto imagem e texto como outros elementos do código que são mais ou menos os icônicos por natureza. Como característica única dos quadrinhos, o balão representa uma densa fonte de informações, que começam a ser transmitidas ao leitor antes mesmo que este leia o texto, ou seja, pela própria existência do balão e sua posição no quadrinho. Ele informa que um personagem está falando na primeira pessoa. A presença do balão ligado por um prolongamento chamado rabicho, apontando para um personagem, é um alerta ao leitor, dando-lhe a seguinte mensagem: eu estou falando. Como mais de um personagem pode falar em um mesmo quadrinho, o balão também funciona, pela sua disposição, como um indicador da ordem dos falantes, acompanhando a direção linear pela qual se lê (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p. 56 - 57).

Os diferentes formatos de balões apresentam ao leitor informações além da mensagem escrita que representa a comunicação entre os personagens: linhas

tracejadas indicam fala em voz baixa ou cochicho; forma de nuvens com rabicho em bolhas indicam pensamento; formato circular/arredondado conversa normal; balões em zig-zag sinalizam voz alta ou grito; múltiplos rabichos indicam vários personagens falando ao mesmo tempo; ligado a um balão inferior indica pausa na conversação; quando o rabicho é levado para fora do quadrinho indica que o personagem não está na ilustração apresentada (RAMA e VERGUEIRO, 2008).

O formato do texto contido dentro dos balões também representa uma mensagem, além do significado expresso pelas palavras propriamente utilizadas:

O tamanho normal que o maior, em negrito – significa que as palavras são pronunciadas em tom mais alto que o normal, em geral ligadas a situações de dominação, a expressão de um comando etc.; o tamanho menor que o normal – representa um tom de voz mais baixo, expressando atitude de submissão, timidez ou a busca de um ambiente confidencial; tremidas – significam medo; se o tamanho da letra for maior que o normal, deve ser interpretado como um grito de pavor ou de susto; em alfabetos ou tipologias diferentes – representam que o emissor da mensagem está se comunicando em um outro idioma, em geral não familiar a outros personagens da história (e, imagina-se, tampouco ao leitor) (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p. 60 - 61).

Alguns quadros podem apresentar além da comunicação entre os personagens a intervenção de um narrador da história, aspecto que pode ocorrer também quando temos apenas a linguagem visual no quadrinho. Nesses casos insere-se no canto superior esquerdo do quadrinho um retângulo, que pode ou não ter o fundo destacado (RAMA e VERGUEIRO, 2008).

Outro recurso que pode ser empregado é um conjunto de palavras ou fonemas que buscam imitar o barulho ou som emitido por uma fonte, as onomatopeias. Elas aparecem em letras maiores e destacadas nos quadros (RAMA e VERGUEIRO, 2008).

Para o aluno ler ou construir um HQ o professor precisa inicialmente promover essa alfabetização, ou pelo menos promover o resgate de subsunçores na estrutura cognitiva do aluno. Salientamos o entendimento de que para desenhar os quadrinhos, o aluno precisa demonstrar determinado nível domínio cognitivo do conteúdo que vai explorar na HQ, o qual pode influenciar no processo de planejamento e construção da comunicação verbal dos personagens e escolha e utilização de cenários

Considerando isso, planejamos uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa utilizando a História e Filosofia da Ciência sobre a Teoria

da Relatividade Restrita. Ela possibilita a apresentação e discussão sobre a evolução das ideias relacionadas a teoria, possibilitando que a partir disso o sujeito realize a construção do seu conhecimento. A discussão histórica busca evitar uma única visão da ciência, como por exemplo, a construção do conhecimento através de apenas um método científico ou que a ideia de que apenas um cientista foi responsável pela formulação de uma teoria. Enfatizamos em diferentes momentos que "[...] a ciência produzida pelos cientistas é dinâmica, mutável e t em um caráter provisório, não existindo um método único, algorítmico, o qual se deve seguir para a produção e obtenção de conhecimento científico" (PAGLIARINI, 2007, p.28).

3.5 A ANÁLISE DO TEXTO HISTÓRICO E DAS HQ'S PELO PROFESSOR DE CIÊNCIAS

Para avaliar a qualidade do material didático produzido fizemos uso de um questionário contendo 13 perguntas, o qual foi adaptado segundo os objetivos desse trabalho (MARQUES, 2016).

Para responder ao questionário, o professor terá as seguintes opções, sendo: CC (concordo completamente), C (concordo), I (indeciso), D (discordo) e DC (discordo completamente). Além dessas opções, solicitamos que o professor identifique nos quadrinhos (que estão numerados) tópicos da visão epistemológica contemporânea. O questionário está descrito no quadro abaixo.

Quadro 3: Questões a serem respondidas pelo professor para avaliar o texto histórico.

Questões relativas ao material didático – Texto histórico do professor					
Questão	CC	C	I	D	DC
1. Apresenta facilidade de uso?					
2. Fornece ajuda para uso?					
3. As instruções presentes no material histórico são claras					
4. Apresenta facilidade de manipulação?					
5. Os textos e imagens estão apresentados de forma clara?					
6. Possui linguagem adequada?					
7. Apresenta o conteúdo de forma clara e objetiva?					
8.O texto facilita a compreensão do conteúdo (das HQ's)?					
9. Apresenta conteúdo contextualizado e coerente com a área e o nível de ensino proposto?					
10. Recorre a exemplificação e analogia?					
11. Apresenta grau satisfatório de interação cientista/teoria e teoria/cientista?					
12. Apresenta conteúdo desnecessário que poderia ser retirado?					

Observações:
_____
_____

Fonte: (MARQUES, 2016).

Esse questionário foi desenvolvido pela autora com o objetivo de identificar o grau de entendimento e afinidade do professor em relação a um material didático. Adaptamos para avaliar aceitação, por parte do professor, de um material didático pautado na linguagem em quadrinhos e história da ciência.

Inserimos após o questionário um espaço para o avaliador inserir observações que achar necessário sobre o material didático avaliado.

3.6 OS AVALIADORES DO MATERIAL DIDÁTICO

O material didático (texto histórico e HQ) e o questionário foi enviado, via e-mail a cinco professores voluntários, licenciados em Física, com experiência no Ensino Médio. Eles tiveram 3 dias para avaliar o material e devolver o questionário.

Professor A, formado em Física/Licenciatura pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) em 1996. Possui mestrado em Física Aplicada, pela UFMS, concluído em 2001. Atuou no Ensino Médio entre os anos de 2000 a 2014, e, atualmente trabalha como técnico da Secretaria de Educação do Estado de Mato Grosso do Sul, no Núcleo de Tecnologia da Informação. Atua desde 2006 no Ensino Superior Privado, lecionando em cursos de Engenharia.

O professor B, formado em Física/Licenciatura pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), em 2013. Atua como professor da Rede Estadual de Ensino desde 2014.

A professora C, formada em Física/Licenciatura pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) em 2011. Concluiu o mestrado profissional em Ensino de Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências (PPEC/UFMS), em 2018. Atua como professora da Rede Estadual de Ensino e também na Rede Privada de Ensino, desde 2012.

Professor D, formado em Física/Licenciatura pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) em 2017. Atua como professor da Rede Estadual de Ensino desde 2018.

Professora E, formado em Física/Licenciatura pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) em 2017. Atua como professor da Rede Estadual de Ensino desde 2018.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os professores A, B e C devolveram o questionário preenchido. Os professores D e E, não encaminharam o questionário no tempo previsto. No quadro a seguir, apresentamos as respostas e em seguida uma discussão das observações dos professores.

Quadro 4: Respostas dos professores

Respostas dos professores					
Questão	CC	C	I	D	DC
1. Apresenta facilidade de uso?	A	C		B	
2. Fornece ajuda para uso?		A		B, C	
3. As instruções presentes no material histórico são claras?		A, B		C	
4. Apresenta facilidade de manipulação?		A, B, C			
5. Os textos e imagens estão apresentados de forma clara?		A, B, C			
6. Possui linguagem adequada?		A, C		B	
7. Apresenta o conteúdo de forma clara e objetiva?		A, B, C			
8.O texto facilita a compreensão do conteúdo (das HQ's)?		A, B, C			
9. Apresenta conteúdo contextualizado e coerente com a área e o nível de ensino proposto?		A, B, C			
10. Recorre a exemplificação e analogia?		B, C	A		
11. Apresenta grau satisfatório de interação cientista/teoria e teoria/cientista?		B, C	A		
12. Apresenta conteúdo desnecessário que poderia ser retirado?	A			B, C	

Podemos evidenciar no quadro que em cinco das respostas todos os professores assinalaram positivamente para o material. Consideram que ele apresenta facilidade de manipulação, clareza na apresentação dos objetivos e nos textos e imagens empregadas na contextualização histórica do conteúdo.

De acordo com a tabela, a maioria dos professores assinalou a opção C (concordo), avaliando a História em Quadrinhos com um aspecto positivo. Os professores B e C assinalaram a opção D (discordo) em relação a facilidade e ajuda para o uso das HQ's, e ao mesmo tempo, não entram em contradição ao não pontuarem a necessidade de retirar conteúdo desnecessário.

Quanto a facilidade do uso do produto como objeto de ensino os avaliadores divergiram na resposta e o professor B pontua que o material não é fácil de usar nem apresenta ajuda. A questão da facilidade de uso pode ser reflexo da pouca proximidade com a história da ciência como estratégia de ensino ou com a falta de entendimento da visão epistemológica contemporânea. Nos dois casos podemos associar esse aspecto com problemas do curso de formação inicial de professores,

pontuado na literatura como deficitário nessa parte da formação. Entretanto, apesar de todos terem concluído Física Licenciatura na mesma instituição de ensino superior, não é possível fazer tal sugestão sem avaliar a matriz curricular do curso no período frequentado pelos sujeitos.

Quanto as observações relatadas pelos professores apresentamos uma discussão individual, buscando respaldo nas respostas do questionário.

Com relação ao emprego da história em quadrinhos, o professor A não faz críticas quanto ao uso das linguagens escrita e visual. Afirma que gostou da iniciativa e que percebe que sua construção tem “objetivo, lógica, coerência temporal, parecendo ser simples”.

Ele complementa afirmando que “tenho alguma objeção com a parte inicial (tive a impressão de estar um pouco longa demais)”. Esse posicionamento sugere que o professor não compreendeu que os primeiros quadrinhos buscavam uma caracterização do processo de construção da ciência a partir da visão epistemológica contemporânea da ciência em alguns pontos.

A primeira parte da história em quadrinhos, mencionada pelo professor como muito longa, apresentamos uma quantidade maior de quadros, buscando retratar o contexto no qual ocorreu a discussão sobre o problema do movimento relativo dos corpos. Retratou-se o papel da mulher na academia e, de certa forma, na sociedade como um todo. Além disso, buscamos retratar a influência de fatores externos na produção do conhecimento científico, explorando um episódio geralmente relatado nos livros didáticos: a pressão exercida pela Igreja em diversos setores da sociedade, inclusive no da produção do conhecimento. Algumas figuras retratam o lado humano dos cientistas, jesuítas e não jesuítas, ilustrando divergência, as intrigas o medo de retaliação e julgamento pelo Tribunal do Santo Ofício.

Outro aspecto que pode ter contribuído para que o professor tenha a visão de que essa parte ficou um pouco longa, foi que inserimos nas HQ’s referências a assuntos tratados em outras disciplinas como o Período do Renascentismo e a Reforma protestante, aspecto que propiciaria uma utilização multidisciplinar do material didático.

Em outro ponto, o professor A afasta-se da visão epistemológica contemporânea da ciência quando sugere que Einstein tenha isoladamente proposto a teoria da relatividade, reclamando a falta de destaque na HQ. Ao afirmar que faltou “falar um pouco mais sobre a moderna teoria da relatividade proposta pelo

protagonista do tema” o professor sinaliza seu entendimento da genialidade de Einstein, aspecto que tentamos descontruir ao inserir uma discussão que se inicia com Galileu Galilei, realçando que a teoria resultou de um processo lento e de construção coletiva.

O professor A sinaliza a influência de documentos com orientações oficiais do ensino básico como os Parâmetros Curriculares Nacional e Referencial Curricular da Rede Estadual de Ensino. Esses documentos sinalizam a necessidade de um ensino contextualizado que propicie a discussão de aplicações do conteúdo no cotidiano do aluno. Segundo o professor faltou uma discussão sobre “O uso da correção relativística para os satélites de geolocalização (GPS) e o seu uso diário para uma parcela significante da população mundial: navegação, aviação, transporte em geral, celulares”, e, “tenho a impressão que coisas modernas usadas no dia-a-dia da criança poderiam faze-las interessar pela aprendizagem”. Esses aspectos estão implícitos nas

> Orientações Curriculares para o Ensino Médio compreendem que: o grande desafio do professor é possibilitar ao estudante desenvolver as habilidades necessárias para a compreensão do papel do homem na natureza. [...] Sendo assim, o docente norteando-se pelas orientações e pelos conteúdos listados nesse documento, poderá concretizar os objetivos educacionais para a área de Ciências da Natureza e, também, proporcionar aos estudantes/cidadãos uma visão de mundo que permita-lhes o conhecimento e posicionamento diante de situações-problema que, certamente vivenciarão. Em relação à disciplina Física, objetiva-se promover o ensino para a formação do cidadão contemporâneo com instrumentos para compreender e intervir na realidade. Partimos da premissa de que no Ensino Médio não se pretende formar físicos e que o ensino dessa disciplina destina-se àqueles que terão na escola uma das poucas oportunidades de acesso formal a esse conhecimento [...]. Desse modo, esta Secretaria propõe um ensino de Física que enfatize a compreensão dos conceitos científicos por meio da construção de significados e não a mera memorização de fórmulas. Assim, o ensino de Física deve levar os estudantes a construírem competências para discutir e analisar fatos cotidianos como, por exemplo: situações ligadas ao trânsito, às vantagens e desvantagens da utilização de novas fontes de energia e seu impacto no desenvolvimento de uma economia sustentável, na descrição dos processos de formação de raios e na elaboração de estratégias para prevenir acidentes com descargas elétricas. A Física Moderna e Contemporânea, de extrema relevância, oportuniza aos estudantes o contato com temas que, muitas vezes são divulgados apenas em jornais ou filmes de ficção científica como, por exemplo, Buracos Negros e Big Bang, e que por falta de oportunidades não são abordados nas aulas de física. Nessa perspectiva, esse documento sugere, também, o ensino a partir do desenvolvimento de situações ou problemas contextualizados, integrados com o conteúdo desenvolvido em outras disciplinas, buscando a interdisciplinaridade e a construção de significado para os conteúdos estudados em sala de aula, dando-lhes sentido por permitir aos estudantes aplicá-los na compreensão de situações do cotidiano (MATO GROSSO DO SUL, 2012, p. 174 - 175)

Outro ponto que destacamos na fala do professor A é reflexo da formação de professores, como ele mesmo pontua “pela minha formação, e gosto, senti falta da

matemática envolvida". Destacamos, entretanto, que as discussões da área de ensino de ciência sinalizam que um dos motivos que dificultam a abordagem de conceitos de física moderna e contemporânea no ensino médio, pode ser o formalismo matemático.

No espaço destinado a observação, o professor B faz uma crítica quanto ao uso excessivo da linguagem verbal nas histórias em quadrinhos "A história é bem estruturada, mas acredito que os quadrinhos são muito carregados de textos, e muitas informações acabam sendo perdidas nesse meio. Levando em consideração o público, perderiam o interesse rápido".

Esse comentário sugere que o professor B conhece as orientações sobre a produção de história em quadrinhos ou é leitor desse tipo de material. Rama e Vergueiro (2008) chamam atenção para esse aspecto como um ponto negativo do processo de construção de uma história em quadrinhos. Entretanto, consideramos necessário inserir alguns quadrinhos para situar o leitor no contexto em que se passava a história descrita.

Nessa mesma fala destacamos o trecho que o professor sugere que o público alvo perderia o interesse se a história ficasse muito longa. Segundo Rama e Vergueiro (2008) esse é ponto positivo do uso de HQ no contexto do ensino, os alunos se motivam para a leitura. Ele indica desconhecer essa e outras funções do emprego de história em quadrinhos como material didático. Ao afirmar que "considerando uma história em quadrinhos, ela deveria ter sido pensada para atrair até mesmo um público mais jovem, como os do ensino fundamental, por exemplo. Sendo assim, se faz necessária uma linguagem mais coloquial, não perdendo o sentido científico" não considera a possibilidade de empregar quadrinhos como ferramenta para promover o aprendizado de novos vocabulários, como pontua Rama e Vergueiro (2008) afirmam que um dos pontos positivos é a possibilidade de conhecer vocabulários diferentes.

Quanto ao saber disciplinar explorado nos quadrinhos o professor não apresenta observações, apenas sugere a necessidade de material didático que seja atrativo aos alunos e que o excesso de texto seria um ponto negativo, desmotivador, pois os alunos não costumam ler.

Apenas um avaliador, o professor C, pontua nas observações a necessidade de um conjunto de orientações para o emprego adequado do material didático, no contexto de sala de aula: "não fica clara as orientações para uso do material pelo professor". Ressaltamos, entretanto, que não é possível identificar o que o professor está sinalizando, pois encaminhamos aos avaliadores apenas os quadrinhos e a

grelha de análise. Sua solicitação pode relacionar a um plano de ensino ou a mais informações sobre o que seria uma abordagem pautada na visão epistemológica contemporânea da ciência, temática anunciada no quadrinho de abertura da HQ.

Ela informa que mostrou o material para uma aluna para saber o que achava:

> “O que você achou dos quadrinhos?
> Aluna: “Que é fácil de entender e pra quem tem dificuldade e não gosta de aprender é legal”.
> Você teve dificuldade em entender alguma palavra?
> Não. “Só a palavra HQ. Deveria ter um negocinho, igual tem no gibi, pra explicar.”

Apesar de não ser o objetivo da avaliação, destacamos que o aspecto motivacional da história foi destacado pelo professor e que assim como pontua Rama e Vergueiro (2008), faz-se necessário um processo de alfabetização para o entendimento da linguagem em quadrinhos.

Pontuamos que os professor D e E não devolveram o questionário.

CONCLUSÃO

Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de construir um material didático que fizesse abordagem histórica da Teoria da Relatividade Restrita, pautada na visão epistemológica contemporânea da ciência.

Considerando a falta de material e as dificuldades apontadas na literatura, buscamos elaborar um material que tivesse um aspecto motivacional sem se afastar do conceito científico, e para isso, realizamos uma profunda pesquisa bibliográfica em periódicos da área de Ensino e Ciências.

Como a visão epistemológica contemporânea explora diferentes aspectos do contexto, como retratar o cotidiano do cientista, sua posição política e religiosa, o papel secundário da mulher na sociedade (como ilustradoras/tradutoras) como um todo, a influência de fatores externos na Ciência, como o domínio da Igreja, o papel da Inquisição e a concorrência científica entre os cientistas da Igreja e os cientistas da comunidade científica, a pesquisa bibliográfica se estendeu em outras áreas do conhecimento.

Como alguns trabalhos indicam a dificuldade de leitura de textos científicos, buscamos uma maneira diferente de apresentar a construção histórica de um saber ao aluno. Essa maneira foi por meio do uso de linguagem de quadrinhos.

A construção do material pautou-se no texto histórico e elaboração das cenas. Dessa forma, após concluir o texto, comecei a desenhar os cientistas e as cenas que representavam a situação do desenvolvimento das ideias, sempre buscando inserir os tópicos da visão epistemológica contemporânea em cada um dos quadrinhos.

Finalizando os quadrinhos, retomamos ao objetivo inicial dessa pesquisa que era avaliar o grau de aceitação do material didático pautado na linguagem dos quadrinhos, que aborda aspectos históricos da construção do conhecimento, relacionados a Teoria da Relatividade Restrita por parte de professores da Educação Básica.

Para a responder ao nosso objetivo, buscamos um grupo de professores voluntários, com experiência no Ensino de Física, para responder a um questionário previamente validado por Marques (2016). Analisando as respostas dos três professores, que devolveram o questionário, encontramos indícios de respostas positivas em relação a aceitação. Entretanto, todos eles pontuaram problemas quanto a possibilidade do emprego em sala de aula, e isso indica a necessidade de uma

orientação mais clara para o uso das Histórias em Quadrinhos. E também, um processo de formação com o objetivo de realizar uma oficina que esclareça os tópicos da visão epistemológica contemporânea da ciência.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, David. Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva. Tradução: Lígia Teopisto, 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana. 2003, 242 p.

ARRIASSECQ, Irene; GRECA, Ileana M. Introducción de la teoría de la relatividad especial en nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-em-acto y determinación de objetivos-obstáculo**. Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 2, p. 189-218, 2006.

AYALA FILHO, Álvaro Leonardi. A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos à aprendizagem da teoria da relatividade restrita. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 155-179, 2010.

BARBOSA, Roberto; BATISTA, Irinéia. Desenvolvendo a criatividade nas aulas de Física. **Física na Escola**, v. 14, n. 1, 2016

BARROS, A. et al. Sobre a contraçao de Lorentz-Fitzgerald. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 27, n. 4, p. 621-623, 2005.

BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra EB. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 194-223, 2007.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. O Ensino de Física Moderna necessita ser real. **Anais do XVI SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro**, 2005.

CABALLERO, José Ricardo Dıaz. La duda creativa y las revoluciones cientıficas. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 33, n. 3, p. 3303, 2011.

CARAÇA, Reinaldo da Silva. Efeitos relativísticos sobre observadores uniformemente acelerados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, n. 4, 2017.

CARDOSO, Nelson Leite. A Utilização do Software Educacional de Simulação e Modelagem" Interactive Physics" como Instrumento de Promoção da Aprendizagem Significativa de Conceitos de Física: Uma Investigação Pedagógica a Partir da Proposição de Situações-Problema. Diss. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CARDOSO, Stênio Octávio de Oliveira. Ensinando o efeito fotoelétrico por meio de simulações computacionais: elaboração de roteiro de aula de acordo om teoria

aprendizagem significativa. 116 f. 2014. Tese de doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Matemática) – Pontífica Universidade Católica, Belo Horizonte, 17 de junho. 2011.

CARUSO, Francisco; ARAÚJO, RMX de. A Física e a Geometrização do mundo: Construindo uma cosmovisão científica. **Rio de Janeiro: CBPF**, 1998.

CARUSO, Francisco; CARVALHO, Miriam; SILVEIRA, Maria Cristina. Uma proposta de ensino e divulgação de ciências através dos quadrinhos. **Ciência & Sociedade**, v. 8, 2002.

CARUSO, Francisco; FREITAS, Nilton. Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 355-366, 2009.

CUNHA, André Rafael; GOMES, Gerson Gregório. Física Moderna no Ensino Médio e sua necessidade de sincronização conceitual. **Física na Escola**, v. 13, n. 1, p. 8-9, 2012

DA SILVA ESTEVÃO, Ana Paula Sodré; DA COSTA, Marco Antonio Ferreira. História em Quadrinhos: estratégias para o processo ensino-aprendizagem do tema "lixo eletrônico". **Revista Práxis**, v.8, n.1 (Sup), 2016.

DAHMEN, Sílvio R. Einstein e a Filosofia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n.1, p. 3 – 7, 2006.

DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, LUIZ O.Q. Afinal, Einstein usou ou não dados experimentais para propor sua relatividade restrita? Com a palavra, ele mesmo**. Física na Escola**, v. 15, n. 1, 2017.

DAMASIO, Felipe. O inıcio da revoluçao cientıfica: questoes acerca de Copérnico e os epiciclos, Kepler e as órbitas elıpticas. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 33, n. 3, p. 3602, 2011.

DE HOLANDA CAVALCANTI, Cláudio José; OSTERMANN, Fernanda. Deformações geométricas e velocidades superluminal aparentes em objetos em movimento relativístico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 355-372, 2007.

DE CONTO, G; LIMA, Adriana; ORTEGA; Paulo Henrique; SCHMITZ, E.R.Cálculo K: uma abordagem alternativa para a relatividade especial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, 4307, 2013.

DE SOUZA, Lolita Lutz; BARCELLOS, Marcília; GUERRA, Andreia. Relatividade Restrita no Ensino Médio: existem subsídios para o professor?. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013.

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, p. 2502, 2012.

EINSTEIN, Albert. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. LORENTZ, HA, EINSTEIN, A. E MINKOWSKI, H. O princípio da relatividade. Lisboa: Calouste Gulbekian, 1983.

EINSTEIN, Albert. Sobre o Princípio da Relatividade e suas implicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 37-61, 2005.

EINSTEIN, Albert. Física e realidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 9-22, 2006.

FALCIANO, Felipe Tovar. Cinemática relativística: paradoxo dos gêmeos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 19-24, 2007.

FAUTH, A. C. et al. Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2007.

FILHO, Álvaro Leonard A. A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos a aprendizagem da teoria da relatividade restrita. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 155-179, 2010

FILHO, Marlen Moura e Silva; FILHO, Francisco Cordeiro; FIRME, André Bessadas Penna. Uma transposição didática da Teoria da Relatividade Especial. **Revista Ensino de Ciências**, v. 2, n. 1, 2011.

FIOLHAIS, Carlos. Einstein e o prazer da Física: passados cem anos, a Física continua divertida. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de casa a partir da história da luz. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011

FREDERICO, Fernando Temporini; GIANOTTO, Dulcinéia Ester Pagani. Metodologia no ensino de ciências: contribuições da utilização de histórias em quadrinhos para ensinar física. **Revista NUPEM**, v. 4, n. 7, p. 199-215, 2012.4

FREITAS, Maria Teresa de Assunçao. Abordagem sócio-histórica como orientadora da pesquisa qualitativa. Cadernos de Pesquisa, n.116, p.21-39, julho/2002.

GERHARDT, Tatiane Engel et al. Métodos de pesquisa. [Organizado por] Tatiana engel Gerhardt e Denise Tolfo Silveira; coordenado pela Universidade Aberta do Brasil-UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica-Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. **Porto Alegre: Editora da UFRGS**, 2009.

GODOY, Arlida Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995a.

GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995b.

GOMES, José Leandro de Albuquerque Macedo et al. Conceito de Calor: Contexto histórico e proposta para a sala de aula. 2013.

GUERRA, Andreia. Introdução – A importância da história da ciência no aprendizado de física. **Física na escola**, v. 10, n. 1, 2009.

GUERRA, Andreia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

GUERRA, Andreia; REIS, José Claudio; BRAGA, Marco. Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, n. 3 : p. 568-583, 2010.

HULSENDEGER, Margarete Jesusa Varela Centeno. Os prós e contras da utilização da ciência no ensino de física. **Anais do XVI SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro**, 2005.

JARDIM, Wagner T.; OTOYA, Victor J. Vasquez; OLIVEIRA, Cristiane Garcia S. A teoria da relatividade restrita e os livros didáticos do Ensino Médio: Discordâncas sobre o conceito de massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2506, 2015.

KAPITANGO-A-SAMBA, Kilwangy Kya. Categorias da inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências da natureza. **Revista de Educação Pública**, v. 23, n. 54, p. 943-970, 2014.

KARAM, Ricardo Alvelar Sotomaior; DE SOUZA CRUZ, Sonia Maria S.C; COIMBRA, Débora. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n.1, p. 105-114, 2007.

KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior; DE SOUZA CRUZ, Sonia Maria S.C; COIMBRA, Débora. Tempo relativístico no ínicio do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 373-386, 2006.

KIKUCHI, Ligia Ayumi; ORTIZ, Adriano José; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto. **Atas do IX ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindóia**, 2013.

KNEUBIL, Fabiana Botelho. Spatial Geometry and Special Relativity: a comparative approach. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 4, 2016.

KOHNLEIN, Janete Francisca K.; PEDUZZI, Luiz O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1 : p. 36-70, 2005.

KOHNLEIN, Janete Francisca Klein. Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. Diss. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

LOPES, Ideusa Celestino. GIORDANO BRUNO CRÍTICA AO GEOCENTRISMO E DEFESA UNIVERSO INFINITO. **I EPEF – UFRN**, 2008

LONDERO, Leandro. As Histórias em Quadrinhos em Manuais Escolares de Física. **Ciência & Ensino (ISSN 1980-8631)**, v. 3, n. 1, p. 20-38, 2014.

MACHADO, Daniel Iria; NARDI, Roberto. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 1, p. 90-116, 2007.

MARICONDA, Pablo Rubem. O diálogo de Galileu e a condenação. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência,** v. 10, n. 1, p. 77-160, 2000.

MARQUES, Adriana de Souza. Doenças respiratórias que podem ser desenvolvidas na indústria da construção civil e o uso de equipamentos de proteção individual como prevenção. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

MARTINS, Roberto de Andrade. A dinâmica relativística antes de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 11-26, 2005.

MARTINS, Patricia Camara. Galileu e o Telescópio. "Qual Carreira Devo Escolher?"-Uma Reflexão Sobre o Lugar dos Cursos de Matemática na Escolha, p. 18, 2009.

MARTINS, Roberto de Andrade. Galileo e princípio da relatividade. **Cadernos de história e filosofia da ciência**, v. 9, p. 69-86, 1986.

MARTINS, Roberto de Andrade. 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, 2012.

MARTINS, Roberto de Andrade. A origem histórica da relatividade especial / Roberto de Andrade Martins. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade. Teoria da relatividade especial / Roberto de Andrade Martins. – São Paulo : Editora da Física, 2012

MEDEIROS, Alexandre. Eric Rogers e o ensino de física moderna. **Física na Escola**, v. 8, n. 1, p. 40-42, 2007.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto. As abordagens dos livros didáticos acerca da Física Moderna e Contemporânea: algumas marcas da natureza da ciência. **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba**, 2008.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; FILHO, Jenner Barretos Bastos. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência e Educação (Bauru)**, p. 557-580, 2009.

MOREIRA, Ildeu de Castro. 1905, um ano miraculoso. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

MOREIRA, Marco Antonio; MASINI, Elcie Fortes Salzano (2001). **Aprendizagem significativa: a teoria da David Ausubel.**

MOREIRA, Marco Antonio. "Mapas conceituais e aprendizagem significativa (concept maps and meaningful learning). Aprendizagem significativa, organizadores

prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas, p.41, 1982.

MOREIRA, Marco Antonio. “APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: da visão clássica à visão crítica (Meaningful learning: from the classical to the critical view). In: **Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, Madrid, Espanha, setembro de 2006.

MOREIRA, Marco Antonio; ROSA, Paulo Ricardo da Silva. **Uma introdução à pesquisa Qualitativa em Ensino**. Editora UFMS, Campo Grande, 2008.

MOREIRA, Marco Antonio. “Aprendizagem significativa crítica. 2010. **Instituto de Física da UFRGS**. 2010.

MOREIRA, Marco Antonio; CABALLERO, María Concesa; RODRÍGUEZ, María Luz. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Actas del II Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo. Servicio de Publicaciones. Universidad de Burgos. Págs,** p.19-44, 1997

MOREIRA, Marco Antonio. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, 2008, p. 23-30. Revisado em 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. “¿ Al afinal, qués es aprendizaje significativo?.” **Qurriculum: revista de teoria, investigación y práctica educativa. La Laguna, Espanha. No. 25(marzo 2012), p. 29-56**, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente signiticativas material de apoio para o curso aprendizagem significativa no ensino superior: teorias e estratégias facilitadoras. **Pontífica Universidade Católica do Paraná**, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha. INTERFACES ENTRE TEORIAS DE APRENDIZAGEM E ENSINO DE CIÊNCIAS/FÍSICA. – Porto Alegre: UFRGS, 2015. 42 p. ; in: Textos de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira e Eliane Angela Veit, ISSN 2448-0606; v. 26 , n.6.

MORAIS, Angelita; GUERRA, Andreia. História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1502, 2013.

MOTA, Elsa; SIMÕES, Ana; CRAWFORD, Paulo. Einstein em Portugal: o primeiro teste da teoria da relatividade geral e o seu impacto na comunidade científica nacional. **Fiolhais, op. cit.(6)**, p. 43-56, 1905.

MUNERA, Héctor A. AL EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY Y EL SEGUNDO POSTULADO DE EINSTEIN: INEXTRICABLEMENTE UNIDOS. **Einstein: científico y filósofo**, 2007.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n.4, p. 543, 2000.

NOGUEIRA, Ignatius Maria Clélia. As teorias de aprendizagem e suas implicações no ensino de matemática.**Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 29, n. 1, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma Revisão Bibliográfica Sobre a Área de Pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

OSTERMANN, Fernando; CAVALCANTI, Cláudio J. de H. Teorias de aprendizagem. **Porto Alegre: UFRGS**, 2010.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores**. Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OTERO, Maria Rita; ARLEGO, Marcelo; PRODANOFF, Fabiana. Design, analysis and reformulation of a didactic sequenc for teaching the special theory of relativity in high school. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, 4301, 2015

PEDUZZI, Luiz OQ.; TENFEN, Danielle Nicolodelli; CORDEIRO, Marinês Domingues. Aspectos da natureza da ciência em animações potencialmente significativas sobre a história da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 758-786, 2012.

PEDUZZI, Luiz OQ. A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica. Florianópolis: publicação interna. Recuperado de http://media. wix. com/ugd/7d71af_5d8925828479433eb694a14a8f294449. pdf, 2015.

PENA, Fábio Luís Alves. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 1-2, 2006

PELITI, Lucas. Elementary derivation of the expressions of momentum and energy in special relativity. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, 2016.

PEREIRA, Alexsandro; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 393-420, 2009

PÉREZ, Héctor; SOLBES, Jordi. Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 24, n. 2, p. 269-283, 2006.

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

PORTO, C. M.; PORTO, M.B.D.S.M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna**. Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, 4601, 2008.

PORTO, CM; PORTO, M.B.D.S.M. Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 1603, 2008.

QUINTAL, João Ricardo; GUERRA, Andréia. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, 2009.

RAMOS, I. R. O. et al. Sobre a indução do campo eletromagnético em referenciais inerciais mediante transformações de Galileu e Lorentz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, 2017.

RENN, Jürgen. A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. **Revista brasileira de ensino de física**, 2004.

RIBEIRO, Marcia Helena. Estudo do calor: sequência de ensino associada à conservação de alimentos. 2015. Dissertação de Mestrado.

ROCHA, A. N.; RIZZUTI, B. F.; MOTA, D. S. Transformaçoes de Galileu e de Lorentz: Um estudo via teoria de grupos. **Revista Brasileira de Ensino de Fısica**, v. 35, n. 4, p. 4304, 2013.

RODRIGUES, Bruno A.; BORGES, A. Tarciso. O ensino de ciências por investigação: reconstrução histórica. **Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2008.

RODRIGUES, Carla Moraes; SAUERWEIN, Inés Prieto Schmidt; SAUERWEIN, Ricardo Andreas. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, 2014.

SÁNCHEZ, Manuel Alonso; SELVA, Vicent Soler. La relatividad en el bachillerato. Una propuesta de unidad didáctica. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 24, n. 3, p. 439-454, 2006.

SANTOS, José Alex Soares. Teorias da Aprendizagem: comportamentalista, cognitivista e humanista. **Revista Cientifica Sigma**, v. 2, n. 2, p. 97-111, 2006.

SANTOS, Ricardo Paupitz B. Relatividade Restrita com o auxílio de Diagramas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2 : p. 238-246, 2006

SEIXAS, Wladimir. O princípio da Relatividade – de Galileu a Einstein. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 5, n. 10, p. 43-56, 2005/2006.

SILVA, Carlos M. L. Fernandes. **Uma proposta para o ensino da teoria da relatividade especial no nível médio**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Natal.

SILVA, Luciano Fernandes; CARVALHO, Luiz Marcelo. Professores de física em formação inicial: o ensino de física, a abordagem cts e os temas controversos (physics training teachers: physics teaching, STS approach and controversial issues). **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 135-148, 2009.

SILVA, Cibelle Celestino. Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para a aplicação no ensino. Editora Livraria da Física, 2006.

SILVA, João Ricardo Neves da et al. O grupo de estudos e discussão como subsídio ao desenvolvimento de interações discursivas entre professores de física sobre a temática teoria da relatividade. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 9-25, 2013.

SILVA, Ronivan Souza. A abordagem do efeito fotoelétrico no ensino médio: contribuições de uma unidade de ensino potencialmente significativa. 2015. Dissertação de Mestrado.

SILVEIRA, Fernando Lang; PEDUZZI, Luiz 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.

STACHEL, John. O manuscrito de Einstein de 1912 como pista para o desenvolvimento da teoria da relatividade restrita. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 4, p. 583-596, 2005.

SOUZA, Eduardo Oliveira Ribeiro. Física em Quadrinhos: uma abordagem de ensino. 2014. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ensino de Biociências e Saúde) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Fevereiro de 2014.

TELLES, Rodrigo Ferreira; MORAES, Rogério Oliveira; SILVA, Luzia Batista de Oliveira. DA GEOMETRIZAÇÃO DO ESPAÇO AO DESENCANTAMENTO DO MUNDO-ASPECTOS SOBRE A FORMAÇÃO DO PENSAMENTO CIENTÍFICO.

TESTONI, Leonardo André; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. A utilização de histórias em quadrinhos no ensino de física. **Anais do IV ENPEC**, 2003.

TOSI, Lúcia. Mulher e ciência: a revolução científica, a caça às bruxas e a ciência moderna. **cadernos pagu**, n. 10, p. 369-397, 1998.

TOSSATO, Claudemir Roque. Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler. **Scientiae Studia**, v. 2, n. 4, p. 537-565, 2004.

VALADARES, Jorge António. Da história da ciência ao ensino da ciência: o exemplo clarificador da construção da teoria da relatividade restrita. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1-5, 2005.

VANZELLA, Daniel Augusto Turolla. Teoria da relatividade geral: 100 anos encurvando como vemos o universo. **Física na Escola**, v. 14, n. 1, 2016

VARGAS, Suzana Lima; MAGALHÃES, Luciene Manera. O gênero tirinhas: uma proposta de sequência didática. **Revista educação em Foco, Juiz de Fora**, v. 16, n.1, p.119-149.

VITAL, Abigail; GUERRA, Andréia. Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino. **Ciência e Educação**, v. 22, n. 2, p. 351-370, 2016.

_____. Einstein: uma breve cronologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/cronologia.pdf. Acesso em 18 de dezembro de 2016

ZANOTTA, Daniel; CAPPELLETTO, Elaine; MATSUOKA, Marcelo. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, 2313, 2011.