

UM ESTUDO SOBRE O ENSINO DE RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO

A STUDY ON THE TEACHING OF SPECIAL RELATIVITY IN SECONDARY SCHOOL

Claudinéia de Oliveira Martins

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
neiapessatto@gmail.com

Reginaldo Aparecido Zara

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
reginaldo.zara@gmail.com

Tobias Heimfarth

Universidade Federal da Fronteira Sul
tobias.heimfarth@uffs.edu.br

Mara Fernanda Parisoto

Universidade Federal do Paraná
marafisica@hotmail.com

André Ary Leonel

Universidade Federal de Santa Maria
profandrefsc@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho é parte integrante de uma investigação desenvolvida no âmbito da conclusão de curso de Licenciatura em Física e teve como objetivo principal: investigar a aprendizagem dos estudantes submetidos a uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa desenvolvida para o ensino da Teoria da Relatividade Especial. Nele será apresentado uma síntese da revisão da literatura acerca dos trabalhos que se dedicaram a investigação de práticas relacionadas ao ensino deste tópico no Ensino Médio em contextos reais de sala de aula. A pesquisa teve como fonte periódicos da área de educação e ensino de Física, nacionais e internacionais, no período de 2001 a 2015. Um total de dez trabalhos foram encontrados, analisados e classificados em duas categorias: propostas didáticas aplicadas em sala de aula e levantamento de concepções. Os resultados da pesquisa chamam atenção, principalmente, para o baixo número de publicações desenvolvidas em contextos reais de sala de aula.

Palavras chave: ensino de física, relatividade especial, ensino médio, revisão da literatura.

Abstract

This work is an integral part of an investigation carried out in the context of the conclusion of a Licentiate degree in Physics and had as main objective: to investigate the learning of students submitted to a Potentially Meaningful Teaching Unit developed for the teaching of Special Theory of Relativity. We investigated and summarized works that have been dedicated to investigate practices related to the teaching of Special Relativity in High School in the context of the classroom. As for the research source, we used national (Brazil) and International Physics education and teaching journals, from 2001 to 2015. A total of ten works were found, analyzed and classified in two categories: didactic proposals applied in classroom and survey of conceptions. The results of the research call attention, mainly, to the low number of publications developed in real contexts of the classroom.

Keywords: Physics teaching, special relativity, secondary school, review of the literature.

Contextualizando o estudo

A Física, enquanto matéria de estudo, tem passado por várias modificações desde sua implantação no Ensino Médio (ANGOTTI e DELIZOICOV, 1982). Mudanças que vão desde a abordagem até o desenvolvimento dos seus conteúdos específicos, visando sempre a uma melhor compreensão e leitura dos fenômenos estudados, da disciplina propriamente dita e melhorias no processo de ensino-aprendizagem.

Em se tratando dos conteúdos tradicionalmente abordados em sala de aula, destaca-se que estes já não são mais suficientes para responder às questões trazidas pelos alunos, uma vez que eles têm acesso direto a muitos aparelhos e artefatos tecnologicamente avançados e são constantemente bombardeados por questões exploradas na ficção científica, que poderiam potencializar o interesse pela Física (LEONEL, 2010). Entretanto, estas questões não são levadas em consideração pelos professores, que, na maioria das vezes, limitados aos conceitos clássicos, não chegam aos tópicos contemporâneos. De acordo com Terrazan (1992, 1994), é preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido nas escolas, limitado ao conhecimento físico construído até o início do século XX, em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Esta responde a várias questões e situações do mundo atual que são de interesse dos alunos e que a Física clássica não explica. Com isso, se poderia despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próximo dos alunos do que eles mesmos imaginam (LEONEL, 2010).

Por outro lado, algumas pesquisas recentes (OSTERMANN e RICCI, 2004; DOMINGUINI, 2012; JARDIM et al., 2015) mostram que a maioria dos livros didáticos, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de física para a sua adoção a partir do ano de 2015, apresentam erros conceituais ou representações “*que poderiam gerar interpretações equivocadas por parte dos estudantes e professores*” (JARDIM et al., 2015) e, isto implica que a maioria das obras não apresentam, de forma adequada, a discussão sobre temas de FMC (JARDIM et al., 2015). Além de ser escassa a literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino de FMC nas escolas, há várias divergências a respeito de que caminho deve ser seguido (OSTERMANN e MOREIRA, 2000; PANTOJA et al., 2011). Desta forma, a escolha de trabalhar a FMC no EM, partiu dessas problemáticas, principalmente a necessidade de investigar quais aspectos da FMC são possíveis de serem ensinados no EM e quais abordagens devem ser priorizadas. Contudo, ressalta-se que o objetivo principal dessa escolha é a de reduzir a lacuna de pesquisas que investigam os

resultados de aprendizagem em condições reais de sala de aula no EM. Reduzindo assim o fosso que separa as escolas de formação básica das instituições de pesquisa e formação docente.

O ensino de Relatividade Especial

A literatura apresenta várias demandas que estão relacionadas ao Ensino de FMC, dentre elas, destacam-se o desenvolvimento e a avaliação de estratégias para o ensino de conceitos científicos atuais, a carência de profissionais habilitados ou em serviço e, a escassez de trabalhos que investigam tanto as concepções alternativas dos estudantes relativas a temas contemporâneos, quanto os que relatam propostas de ensino aplicadas em sala de aula. E no caso da Relatividade, algumas pesquisas (PEREIRA e OSTERMANN, 2009; MADRUGA e CAPPELLETO, 2011; RODRIGUES et al., 2014) mostram que, embora haja um número considerável de estudos envolvendo o ensino de FMC, dos 102 artigos consultados apenas 24 (PEREIRA e OSTERMANN, 2009) abordam, especificamente, Relatividade Especial (RE) e Relatividade Geral (RG). Entretanto, Pereira e Ostermann (2009) e Madruga e Cappelletto (2011) não deixam claro quantos destes 24 artigos relatam propostas de ensino testadas em condições reais de sala de aula. Por isso, buscou-se realizar uma revisão mais recente da literatura buscando por trabalhos publicados, na área da Relatividade Especial, que relatam propostas didáticas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem no EM, visando assim reduzir a lacuna de trabalhos bem fundamentados no que se refere ao tema deste trabalho de pesquisa. Pois como apontam os trabalhos de Ostermann e Moreira (2002), Greca e Moreira (2001), Pereira e Ostermann (2009), Madruga e Cappelletto (2011), Pantoja et al. (2011), Rodrigues (2011) e Rodrigues et. al (2014) faltam pesquisas que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos relativo a temas de FMC em condições reais de sala de aula.

Metodologia de pesquisa

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão da literatura acerca das propostas didáticas destinadas ao ensino da Teoria da Relatividade Especial (TRE) no Ensino Médio (EM). A partir dos trabalhos consultados, utilizou-se a análise do conteúdo propostas por Bardin (2011) para classificar os trabalhos em duas grandes categorias: 1) Propostas didáticas aplicadas em sala de aula e 2) levantamento de concepções. A primeira categoria se refere à aplicação de novas estratégias didáticas que tencionam promover nos alunos um melhor entendimento de temas atuais e a segunda refere-se aos trabalhos que avaliaram o conhecimento de professores e de alunos sobre temas de FMC.

Levantamento Bibliográfico: Resultados e Análise

Os trabalhos apresentados nesta revisão da literatura é constituído do total de artigos publicados nas principais revistas de Ensino de Física nacionais (A Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ciência & Educação, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Educação Especial, Revista Lusofona de Educação, Revista Brasileira de Ensino de Física e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências) e internacionais (Enseñanza de la Ciencias, Revista Electrónica de Enseñanza de la Ciencias, Revista Electrónica de Investigación Educativa, Cultural Studies of Science Education) no período de 2001 a 2015. O critério de seleção dessas revistas foi feito com base no sistema de avaliação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - (Qualis), relativo à área de ensino de Física. Mas, devido ao grande número de revistas, foram incluídas apenas aquelas classificadas como Nacional A1, Nacional A2 e Internacional A1. Apesar deste trabalho compreender um número considerável de amostras do que se encontra na literatura, ele de modo algum teve a intenção de ser completo, devendo ser considerado

apenas uma primeira aproximação sobre o tema, até porque a pesquisa se concentrou nas publicações direcionadas ao ensino de Física que apresentam propostas didáticas desenvolvidas em sala de aula no EM, evitando assim “artigos gerais”, como por exemplo, artigos sobre descrições experimentais, cálculos teóricos, entre outros, que pudessem “distorcer” a amostragem. Acredita-se que saber para onde os esforços estão sendo dirigidos e como isso vem sendo realizado torna-se um importante conhecimento para a presente pesquisa e também para as futuras investigações na área da Relatividade, justificando assim o porquê de tal revisão.

É importante destacar que foram encontrados 32 trabalhos que abordam, especificamente, RE e RG (sem considerar os 17 trabalhos classificados como divulgação científica), mas como essa pesquisa destina-se ao ensino de RE no EM, optou-se por descrever apenas os resultados de pesquisas dos trabalhos que foram aplicados em sala de aula para este público de ensino. Na sequência, é apresentada inicialmente uma tabela contendo o número de trabalhos encontrados em cada um dos periódicos e a distribuição desses trabalhos nas categorias supracitadas. Em seguida apresenta-se uma breve descrição destes trabalhos.

Periódico	Categoria	Número de trabalhos
Revista Brasileira de Ensino de Física	1. Propostas didáticas aplicadas em sala de aula	4
Caderno Brasileiro de Ensino de Física		1
Enseñanza de la Ciencias		1
Mestrado Profissional em Ensino de Física (Dissertação)		1
Investigação em ensino de Ciências	2. Levantamento de concepções	1
Revista Brasileira de Ensino de Física		1
Enseñanza de la Ciencias		1
Total de trabalhos		10

Tabela 1: Número de trabalhos encontrado na revisão da literatura aplicados em sala de aula no ensino médio.

Descrição dos trabalhos

Categoria 1. Propostas didáticas aplicadas em sala de aula

Os trabalhos que foram classificados nessa categoria além de apresentarem novas estratégias para o ensino de temas de FMC, apresentaram resultados de experiências didáticas. Foi possível identificar uma linha de pesquisa: i) estratégia para abordar FMC no ensino médio.

i) Estratégia para abordar FMC no ensino médio

Köhnlein e Peduzzi (2005) implementaram um módulo didático baseado em uma abordagem histórico-filosófica da relatividade restrita em uma turma da 4ª fase do EM. Tal módulo didático foi organizado de acordo com os três momentos pedagógicos de Angotti e Delizoicov. A partir de uma análise qualitativa e estatística dos dados obtidos, os autores detectaram mudanças significativas nas concepções de ciência vigentes. Concluíram que o

módulo didático elaborado possibilitou o envolvimento dos estudantes nas discussões em sala de aula, bem como promoveu o seu interesse em relação a conteúdos históricos e filosóficos.

Pérez e Solbes (2006) apresentaram e avaliaram uma proposta didática alternativa, baseada em um modelo de ensino-aprendizagem como investigação. Tal estratégia didática foi implementada para três grupos de estudantes (dois experimentais e um de controle) do 2º ano do EM. Como metodologia de pesquisa os autores utilizaram a pesquisa qualitativa e a quantitativa. Para avaliar a proposta didática, os autores aplicaram um questionário conceitual, para 161 estudantes, sobre o tema, realizaram entrevistas com 10 estudantes do grupo experimental e aplicaram um questionário a 31 professores. Os resultados obtidos mostraram uma diferença significativa entre os dois grupos comparados (experimental e controle), com um nível de confiança de 99%. Concluíram, a partir dos dados coletados, que a estratégia didática proporcionou aos estudantes uma melhora substancial na compreensão dos conceitos de espaço e tempo, da equivalência massa-energia e do papel dos princípios de conservação nos fenômenos energéticos, além de promover uma mudança metodológica, atitudinal e conceitual.

Machado e Nardi (2006) em um curso de extensão para 10 alunos da 3ª série do EM avaliaram um software educacional sobre temas de FMC. O software educacional era composto de seis módulos didáticos: visão geral (textos introdutórios sobre FC e FMC); a teoria da RE (postulados, dilatação do tempo e contração do espaço, momentum e energia relativística, teoria da RG); tecnologia & sociedade (textos sobre física nuclear, reatores e armas nucleares, acidentes radioativos); história da ciência (textos sobre o desenvolvimento histórico das teorias modernas, projeto Manhattan e bibliografia de A. Einstein); filosofia & ciência (metodologia dos programas de pesquisa, ciência e ética); fronteiras da ciência (textos sobre buracos negros e ondas gravitacionais). Utilizando uma metodologia qualitativa para análise dos dados, os autores concluíram que: 1) o uso do computador foi fator de motivação, 2) a variedade de recursos de mídia favoreceu a visualização e a interpretação dos fenômenos abordados e 3) a estruturação do hipertexto com base em princípios ausubelianos foi um elemento facilitador da aprendizagem.

Guerra *et al.* (2007) construíram a partir de uma abordagem histórico-filosófica da ciência, uma proposta didática com o objetivo de ensinar conceitos tanto da teoria da RE quanto da teoria da RG. No desenvolvimento das aulas os autores buscaram desenvolver nos alunos uma reflexão sobre as diferentes concepções de tempo e espaço construídas pelos homens ao longo da história, bem como discutir (por meio de trabalhos em grupos) como essas concepções levaram ao desenvolvimento da teoria da relatividade. Os resultados obtidos por meio de uma análise qualitativa, mostraram que a integração da teoria da relatividade restrita e geral ao currículo é um possível caminho para trazer esses temas ao EM. Concluíram que uma proposta didática centrada numa abordagem histórico-filosófica é uma alternativa viável para o estudo das teorias da relatividade restrita e geral no EM.

Rodrigues *et al.* (2014) elaboraram um planejamento didático de treze aulas e suas atividades, que foram desenvolvidas como parte de uma pesquisa de mestrado. Tal proposta didática visava o ensino da teoria da relatividade restrita por meio do estudo e explicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Os autores realizaram uma revisão da literatura¹ sobre o tema de 2005 a 2009 (RODRIGUES, 2011) com o objetivo de elaborar o planejamento didático de acordo com os estudos do tema presentes na literatura. A proposta foi implementada, pela autora da dissertação (RODRIGUES, 2011), em uma turma do 2º ano do EM de uma escola da cidade de Santa Maria-RS. Como metodologia de análise dos dados

¹ Em sua revisão bibliográfica sobre o tema Relatividade os autores não especificam quantos desses trabalhos foram destinados ao EM.

os autores usaram a pesquisa qualitativa com enfoque no procedimento de análise do conteúdo (BARDIN, 1988). Concluíram a partir das respostas dos alunos, que a utilização da tecnologia (aproximação entre o GPS e a teoria da relatividade restrita) como recurso para estudar conteúdos que não estão diretamente ligados ao seu cotidiano é viável. Ressaltaram as dificuldades demonstradas pelos alunos com a matemática, o baixo número de publicações com dados de pesquisas em sala de aula e o escasso número de referências sobre o assunto.

Otero *et al.* (2015) planejaram, implementaram e avaliaram uma sequência didática para ensinar aspectos básicos da teoria da RE no EM. Para a fundamentação das possíveis evidências de aprendizagem os autores analisam o processo de conceitualização segundo o ponto de vista da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. A proposta didática foi implementada em dois cursos de 6º ano da escola secundária (correspondente ao 3º ano do EM no Brasil). Como metodologia de pesquisa os autores utilizam a pesquisa qualitativa do tipo etnográfico. A partir da análise das produções dos estudantes durante as aulas, os autores detectaram que os aspectos mais complexos da teoria estão relacionados com os princípios da relatividade e da invariância da velocidade da luz, o que por consequência, leva a não compreensão do conceito de simultaneidade. Esses teoremas em ação e conceitos em ação (tais como o movimento é absoluto, a velocidade da luz é instantânea, entre outros) de natureza pré galileana, levou os autores a reformular a sequência didática para promover a conceitualização da relatividade galileana e os postulados da RE. Concluíram que é importante conceituar primeiro a relatividade de Galileu para depois ensinar a Física relativística.

Riboldi (2015), Riboldi (2015) construiu, implementou e avaliou uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) desenvolvida a partir de simuladores e do jogo “*a Slower Speed of Light*” para ensinar conteúdos da TRE no EM. O objetivo de tal proposta didática era a de facilitar a Aprendizagem Significativa (AS) dos estudantes acerca do tema. A UEPS foi implementada em duas turmas da 1ª série do EM de uma escola privada, situada no município de Itapira-SP. Para buscar indícios de AS o autor analisou de forma qualitativa os mapas conceituais elaborados pelos estudantes, as questões da avaliação e as atividades desenvolvidas ao longo da implementação da UEPS. Na análise realizada, por meio dos dados obtidos, o autor destaca que apesar da evolução apresentada, ainda se pode notar alguns erros conceituais presentes nos mapas conceituais construídos pelos estudantes, no entanto, ele ressalta que a maioria das atividades realizadas ao longo do processo de instrução mostraram que os alunos foram capazes de responder questões relacionadas a TRE. O autor conclui destacando que o jogo e os simuladores foram importantes ferramentas educacionais utilizadas na UEPS, pois elas motivaram os estudantes a aprender.

Categoria 2. Levantamento de concepções

Os trabalhos classificados nesta categoria mostram resultados da avaliação do conhecimento de professores e de alunos sobre temas de FMC. Essas avaliações incluem o levantamento de modelos mentais, invariantes operatórios, modos de raciocínio, perfis conceituais e concepções errôneas relativas a temas específicos (PEREIRA e OSTERMANN, 2009).

Pérez e Solbes (2003) realizaram uma análise crítica sobre a possibilidade de inserir temas de RE no EM. A investigação é composta de três etapas: (a) análise dos livros didáticos de nível médio; (b) análise das respostas de um questionário aplicado a professores de EM sobre suas atitudes e suas propostas de abordagem acerca do tema; e (c) análise das respostas de um questionário aplicado a estudantes do EM sobre suas concepções acerca de conceitos clássicos relacionados à teoria da RE. A partir de uma análise qualitativa, os autores verificaram que os livros de nível médio não apresentam adequadamente os conceitos de

tempo e de espaço. Essa análise também mostrou que os professores não levam em conta os resultados da investigação didática e que as novas concepções dos estudantes pouco se consolidam.

Arriassecq e Greca (2006) elaboraram uma unidade didática com o objetivo de investigar algumas concepções que os alunos do nível médio possuem sobre conceitos fundamentais da física clássica considerados necessários para uma adequada conceitualização de alguns aspectos mais relevantes da TRE. Para a análise qualitativa dos dados obtidos os autores usaram a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Os resultados obtidos parecem indicar que os subsunçores que os estudantes utilizam frente a várias situações relacionadas com as noções de tempo, espaço, sistema de referência, observador, simultaneidade, postulados e teoria científica não são totalmente adequados para a compreensão dos conceitos relevantes do ponto de vista científico, além disso foi possível identificar evidências de alguns teoremas-em-ação² que os estudantes estariam utilizando para dar sentido nas situações propostas, mas que não são apropriados. Tais resultados serviram de base para a reformulação da proposta didática. Concluíram que a proposta didática constitui um material didático inovador que pode ser utilizado pelos professores que desejam inserir temas da RE em sala de aula.

Karam³ *et al.* (2005; 2006; 2007) baseados na metodologia dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1991) elaboraram uma unidade didática que visava abordar tópicos da RE para estudantes do 1º ano do EM logo após o estudo da cinemática. Em relação à concepção de aprendizagem, os autores, trabalharam em concordância com a noção de perfil conceitual de Mortimer (1994). A partir da análise qualitativa dos pré e pós-testes os autores identificaram algumas concepções que os estudantes possuíam de tempo, tais como: tempo psicológico (realidade subjetiva); tempo cronológico (unidades quantificadas: relógio); tempo absoluto de Newton (independente de referencial); tempo discreto (quadros indivisíveis); tempo determinístico (destino); tempo e probabilidade (futuro incerto); tempo relativístico. Concluíram que os resultados obtidos evidenciaram uma ampliação do perfil conceitual do tempo por partes dos estudantes.

Considerações

No presente trabalho realizou-se uma revisão da literatura acerca dos trabalhos que se dedicaram a investigação de práticas relacionadas ao ensino da TRE no EM. Os resultados da pesquisa mostram o baixo número de publicações com dados de pesquisas em contextos reais de sala de aula e o escasso número de referências sobre o assunto. Tais resultados vão ao encontro dos trabalhos de Greca e Moreira (2001), Pereira e Ostermann (2009) e Rodrigues (2014) que apontam para a escassez de trabalhos que investigam tanto as concepções alternativas dos estudantes relativos ao tema quanto os que relatam propostas didáticas aplicadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem no nível médio.

Como perspectivas de continuação da pesquisa, pretende-se 1) realizar uma revisão da literatura em todas as revistas A1 e A2, nacionais e internacionais, buscando por propostas didáticas acerca da Teoria da Relatividade que tenham sido aplicadas em sala de aula no EM e

² Tais como: o tempo é uma unidade; o tempo é absoluto; o tempo é relativo; o tempo é difícil de definir; representa-se o tempo com um relógio e etc. (PEREIRA; OSTERMANN, 2009).

³ Os trabalhos referem-se a mesma proposta didática desenvolvida por Karam (2005) para obtenção do título de mestre em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Maria no ano de 2005. Tal proposta didática teve como resultado final dois artigos elaborados por Karam; Cruz e Coimbra (2006; 2007).

2) investigar as principais causas da baixa quantidade de pesquisas na área da TRE em contextos reais de sala de aula.

Referências

- ANGOTTI, J. A. P e DELIZOICOV, Demétrio. **Física**. São Paulo, Cortez, 1992.
- ARRIASSECQ, I. e GRECA, I. M. Introducción de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas - en - acto y determinación de objetivos - obstáculo. **Investigações em Ensino de Ciências**, Buenos Aires, Argentina, v. 11, n. 2, p.189-218, 2006.
- DOMINGUINI, L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Criciúma, SC, v. 34, n. 2, p.2502-2502/7, abr. 2012.
- GRECA, I. M; MOREIRA, M. A. Uma revisão de literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 29-56, mar. 2001.
- 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**, Rio de Janeiro, RJ, v. 29, n. 4, p.575-583, 20 set. 2007.
- JARDIM, W. T.; OTOYA, V. J. V. e OLIVEIRA, C. G. S. A teoria da relatividade restrita e os livros didáticos do Ensino Médio: Discordâncias sobre o conceito de massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 37, n. 2, p.2506-2506/7, jun. 2015.
- KARAM, R. A. S., CRUZ, S. M. S. C. S e COIMBRA, D. Tempo relativístico no início do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 28, n. 3, p.373-386, maio 2006.
- KARAM, R. A. S. Relatividade Restrita no Início do Ensino Médio: Elaboração e Análise de uma Proposta. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- KARAM, R. A. S., CRUZ, S. M. S. C. S e COIMBRA, D. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 29, n. 1, p.105-114, dez. 2007.
- KÖHNLEIN, J. F. K. e PEDUZZI, L. 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**, Santa Catarina, SC, v. 22, n. 1, p.36-70, abr. 2005.
- LEONEL, A. A. Nanociência e Nanotecnologia: uma proposta de ilha interdisciplinar de racionalidade para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. 163 f. Mestrado em Educação Científica e Tecnológica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PECT0116-D.pdf>. Acessado em 27 de Jan. de 2017.
- MACHADO, D.i.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hiperfísica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 28, n. 4, p.473-485, maio 2006.
- MADRUGA, J. R. e CAPPELLETTO, E. Uma revisão das propostas de ensino sobre relatividade. **Iv Encontro Estadual de Ensino de Física**, Porto Alegre, RS, 2011.

OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, RS, v. 5, n. 1, p.23-48, jan. 2000.

OSTERMANN, F. e RICCI, T. F. Relatividade Restrita no Ensino Médio: Os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, RS, v. 5, n. 1, p.23-48, jan. 2000.

OTERO, M. R., ARLEGO, M. e PRODANOFF, F. Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the special theory of relativity in high school. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Buenos Aires, Argentina, v. 37, n. 3, p.3401-3410, set. 2015.

PANTOJA, G. C., MOREIRA, M. A. e HERSCOVITZ, V. E. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de Mecânica Quântica no período de 1999 a 2009. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Porto Alegre, RS, v. 4, n. 3, p.1-34, set./dez. 2011.

PEREIRA, A. P. e OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, Rs, v. 14, n. 3, p.393-420, 2009.

PÉRES, H.; SOLBES, J. Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. **Enseñanza de la Ciencias**, Barcelona, v. 21, n.1, p. 135-146, 2003.

PÉREZ, H e SOLBES, J. Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física. **Enseñanza de Las Ciencias**, Sedaví-Valência, v. 24, n. 2, p.269-284, 1 jan. 2006.

RODRIGUES, C. M., SAUERWEIN, I. P. S. e SAUERWEIN, R. A. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Santa Maria, Rs, v. 36, n. 1, p.1401-1407, fev. 2014.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game a slower speed of light. Tese de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2015.

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

TERRAZZAN, A. Perspectivas para inserção da Física Moderna na escola média. Tese de doutorado. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 1994.