

UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO ACADÊMICA RECENTE SOBRE O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO BRASIL

AN ANALYSIS OF RECENT LITERATURE ON MODERN AND CONTEMPORARY PHYSICS TEACHING IN BRAZIL

Alexsandro Pereira de Pereira¹

Fernanda Ostermann^{*2}

¹Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física / UFRGS,
alexandro.pereira@ufrgs.br

²Instituto de Física / Departamento de Física / UFRGS, fernanda.ostermann@ufrgs.br

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados de uma revisão da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea realizada através da consulta a artigos publicados nas principais revistas brasileiras de ensino de ciências. A pesquisa concentrou-se nas publicações direcionadas ao ensino da física, tanto em nível médio e universitário, como em cursos de formação de professores, realizadas no período de 2001 a 2006. Os trabalhos revisados foram classificados em cinco categorias. Foi possível constatar que, apesar do constante aumento do número de trabalhos publicados que apresentam novas estratégias de ensino com resultados de aprendizagem, bem como levantamentos de concepções de professores e alunos acerca de temas de física moderna e contemporânea, a maioria das publicações ainda se refere à divulgação de recursos didáticos ou textos apresentados como bibliografias de consulta para professores de física do ensino médio.

Palavras-chave: ensino de física moderna e contemporânea, pesquisa em ensino de física, revisão da literatura.

Abstract

This paper presents the findings of a review of the literature regarding the teaching of modern and contemporary physics contents based on research papers published in Brazilian journals of science teaching. This review focus on publications targeting the teaching of physics both at high school and college level, as well as studys focusing on the preparation of high school physics teacher, published on the period of 2001 to 2006. Five categories of studies were identified. It was possible to note that, despite of the constant increasing number of papers regarding classroom proposal with actual learning outcomes as well as teacher' and student's misconception about modern and contemporary physics contents, most reviewed papers still deal with bibliographical reference for high school physics teachers.

Key-words: modern and contemporary physics teaching, research on physics teaching, review of the literature.

* Auxílio Parcial CNPq.

INTRODUÇÃO

Devido ao crescente número de publicações de artigos sobre estudos relativos ao ensino de física moderna e contemporânea (FMC), desde as revisões bibliográficas de Ostermann & Moreira (2000) sobre a introdução de “FMC no ensino médio” e de Greca & Moreira (2001) sobre o ensino de mecânica quântica (MQ) em cursos introdutórios de nível universitário, consideramos oportuna uma nova revisão da literatura sobre referido tema. O presente trabalho envolveu consulta a artigos das principais revistas brasileiras da área de ensino de ciências, publicados no período de 2001 a 2006, e abrangeu pesquisas sobre o ensino de FMC tanto em nível médio e universitário, como em cursos de formação continuada de professores.

A partir dos trabalhos consultados, foi possível identificar as seguintes categorias: (a) Justificativas para pesquisa sobre o ensino de FMC; (b) Propostas testadas em sala de aula que apresentam resultados de aprendizagem; (c) Concepções alternativas sobre temas de FMC; (d) Recursos didáticos e bibliografia de consulta para professores; (e) Análise de livros didáticos e documentos educacionais que contemplam FMC.

A primeira categoria envolve defesas à inserção de alguns temas de FMC no ensino médio, bem como críticas ao ensino tradicional de conteúdos de FMC em nível universitário, em especial ao ensino de MQ introdutória. A segunda categoria refere-se às novas estratégias didáticas para o ensino de FMC, tanto em nível médio e universitário como em cursos de formação de professores, envolvendo atualização curricular, trocas de enfoque e inclusão de recursos virtuais. A terceira categoria engloba os trabalhos que buscaram levantar concepções de professores e alunos acerca de tópicos de FMC. A quarta categoria aborda trabalhos direcionados aos professores de ensino médio, incluindo bibliografia de consulta, desenvolvimento de *softwares*, de unidades didáticas, de recursos visuais e laboratório de FMC. Os artigos presentes nessa categoria não apresentam resultados de pesquisa. A última categoria refere-se aos trabalhos que se dedicaram à análise de livros didáticos e currículos escolares em busca de um panorama sobre o ensino de FMC.

A categorização descrita acima não é a única possível e muitos dos trabalhos revisados encontram-se em mais de uma categoria. Cabe salientar que não é objetivo dessa revisão fazer qualquer análise crítica a respeito do material consultado e que as opiniões transcritas ao longo do texto não são necessariamente compartilhadas pelos autores do presente trabalho.

METODOLOGIA

Para a análise da produção acadêmica recente relativa ao ensino de FMC, foi utilizada a seguinte metodologia: i) o levantamento do universo completo de trabalhos sobre o ensino de FMC posteriores à revisão de Ostermann & Moreira (2000); ii) definição dos temas presentes nos artigos revisados; e iii) categorização dos temas.

O universo de trabalhos é constituído do total de artigos publicados nas principais revistas brasileiras de ensino de ciências (A Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ciência & Educação, Ciência & Ensino, Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Física e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências) no período de 2001 a 2006. O levantamento desse universo teve início em janeiro de 2007 e resultou em uma amostra de trinta e quatro artigos.

A definição dos temas (atualização curricular, trocas de enfoque, inclusão de recursos virtuais, etc.) foi feita a partir da análise do conteúdo presente nos trabalhos e procurou-se, desde o início, verificar os objetivos dos autores e enquadrar a diversidade dos temas abordados em

categorias que fossem mais abrangentes.

As categorias utilizadas para análise, por sua vez, foram elaboradas com base na classificação usada na revisão bibliográfica de Ostermann & Moreira. A partir da análise do conteúdo dos artigos, no entanto, fez-se necessário adaptar algumas das categorias de modo a contemplar todos os trabalhos recentes. Esse procedimento possibilitou, entre outras mudanças, a elaboração do item (e), mencionado na seção anterior. A ausência de posicionamento, da parte dos autores, em relação às três vertentes metodológicas apontadas por Ostermann & Moreira implicaram na exclusão de uma das categorias usadas pelos mesmos.

JUSTIFICATIVAS PARA PESQUISA SOBRE O ENSINO DE FMC

Em defesa da atualização curricular, Ostermann & Cavalcanti (2001) destacam a deterioração da qualidade do ensino de física das escolas públicas evidenciada pela baixa qualificação acadêmica de professores, desmotivação dos estudantes, demasiada ênfase na cinemática e pela ausência de temas de física moderna e contemporânea.

Segundo Greca & Moreira (2001), o estudo de MQ é recomendável em diversas áreas devido ao grande sucesso da teoria, tanto pela variedade de fenômenos que ela descreve e prevê, como pela sua impressionante aplicação tecnológica. Os autores não defendem de forma explícita, nesse trabalho, a inserção do tema no ensino médio, embora sugiram que o estudo da mecânica quântica ocorra cada vez mais cedo.

Em defesa da inserção de tópicos de MQ no ensino médio, Brockington & Pietrocola (2005) chamam atenção para a necessidade de professores e a comunidade escolar em geral libertarem-se das regras de Transposição Didática de Chevallard que geraram o saber escolar tradicional, pois o sucesso de um novo saber escolar deve estar mais relacionado ao seu entendimento, prazer e significação do que a sua capacidade de adaptação ao regime educacional vigente.

Arriassecq & Greca (2006) argumentam que o ensino da teoria da relatividade restrita (TRR) em nível médio se justifica por várias razões além das estritamente científicas. No âmbito do ensino de ciências, a TRR (ARRIASSECQ, GRECA 2006):

“... é um tema particularmente rico dado que os primeiros contatos dos alunos com o mesmo deveriam implicar um verdadeiro ponto de inflexão no conhecimento da física, pois o que pode haver de continuidade entre a física clássica e a relatividade é menos relevante do que aquilo que as diferenciam”.

Quanto às críticas ao atual ensino de FMC em nível universitário, Greca *et al.* (2001) afirmam que a abordagem tradicional nas disciplinas introdutórias de MQ, nos cursos de ciências exatas, tem o enfoque demasiadamente centrado nos aspectos históricos, destacando mais as características clássicas dos sistemas microscópicos do que as quânticas. Segundo os autores, as informações são apresentadas em formas de equações, com pouco vínculo com a fenomenologia.

Peduzzi (2004) faz uma crítica sobre a forma como a MQ e a TRR tendem a ser vistas por pesquisadores, professores e autores de livros didáticos como estruturas conceituais definidas. Segundo o autor (PEDUZZI 2004):

“... a linearidade com que usualmente os conteúdos de física são veiculados pelos livros didáticos confere uma ênfase quase que exclusiva aos produtos do conhecimento científico, ignorando os processos de sua construção. Nessa perspectiva, a mecânica quântica é apresentada ao estudante como uma estrutura consensual, acabada, não problemática, dentro de uma ‘seqüência natural’ de desenvolvimento da física. [...] a

descontextualização histórica das teorias fragmenta o conhecimento científico, tornando qualquer seqüência didática artificial”.

Em outro estudo Ostermann & Ricci (2005) argumentam sobre a necessidade de uma nova abordagem para o ensino de MQ que rompa com o quadro vigente nos cursos de graduação nos quais as disciplinas avançadas buscam desenvolver no aluno um domínio dos aspectos operatórios da teoria enquanto que as disciplinas introdutórias apresentam a MQ de maneira correlacionada à física clássica. Segundo os autores (OSTERMANN, RICCI 2005):

“Esse tipo de abordagem acaba relegando a um segundo plano questões cruciais, como a de que objetos quânticos são de uma natureza muito diversa dos objetos clássicos”.

Na próxima seção, é apresentado um resumo dos trabalhos que buscaram implementar na prática novas estratégias didáticas e apontaram resultados de aprendizagem.

PROPOSTAS TESTADAS EM SALA DE AULA QUE APRESENTAM RESULTADOS DE APRENDIZAGEM

Os trabalhos classificados nessa categoria pertencem a dois grandes grupos: implementações de inovações didáticas no ensino médio; implementações de inovações didáticas em nível de graduação e pós-graduação. A partir da revisão que apresentamos no presente texto, foi possível identificar quatro linhas de pesquisa: (a) mudança de enfoque no ensino de FMC; (b) história e filosofia da ciência articulada ao ensino de FMC; (c) FMC no contexto CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade); (d) utilização de recursos computacionais no ensino de FMC.

Santiago *et al.* (2001) elaboraram e avaliaram um curso introdutório de física de plasma para nível universitário. A metodologia adotada baseou-se em aulas expositivas e atividades experimentais, ministradas por quatro professores. Os temas abordados foram: caracterização e produção de plasma; funções de distribuição de energia; parâmetros de plasma; descarga gasosa em gases; lei de Child-Langmuir; lei de Paschen; teoria de órbita; magnetohidrodinâmica (MHD); ondas de plasma; descrição cinética de plasma e modelo híbrido de plasma limitado. Os resultados da avaliação do curso mostraram-se satisfatórios.

Greca *et al.* (2001) desenvolveram e avaliaram uma unidade didática organizada para introduzir a MQ a estudantes de graduação. Rompendo com a abordagem semiclássica centrada na seqüência histórica, a proposta didática desenvolveu os conteúdos numa seqüência em forma de espiral. Os resultados do teste de agrupamentos hierárquicos, além de outras técnicas de análise, mostraram que a abordagem fenomenológico-conceitual foi bem sucedida. Em outro estudo (GRECA, HERSCOVITZ 2005), os autores deram ênfase ao princípio da superposição de estados, tema pouco abordado nos cursos introdutórios de MQ tradicionais. Os resultados apresentados mostram que, apesar de manterem algumas concepções errôneas, os estudantes tiveram uma melhor compreensão da teoria quando comparados a outros que receberam instrução numa abordagem tradicional e a estudantes de física de semestres mais avançados que foram submetidos aos mesmos testes.

Ao trabalharem com professores de física do ensino médio, Ostermann e Ricci (2004) implementaram uma unidade didática conceitual sobre MQ elaborada com base nos trabalhos de Müller & Wiesner, Pessoa Jr. e Ireson. Os autores usaram como “porta de entrada ao mundo quântico” a óptica ondulatória e deram ênfase aos experimentos de interferência quântica a partir de dois *softwares* tipo “bancada virtual”. Esse estudo permitiu o levantamento de concepções errôneas dos professores acerca de conceitos de FMC e os resultados do pré e pós-testes indicaram a mudança dessas concepções. Em uma outra pesquisa (OSTERMANN, RICCI 2005), os autores apresentaram os resultados de um estudo envolvendo uma nova versão da unidade

didática, com maior ênfase nos experimentos virtuais. Além dos roteiros exploratórios elaborados para as atividades com os *softwares*, foram utilizados como material de apoio o livro “Alice no país do quantum” de Gilmore e um texto produzido pelos autores. Os resultados dos pré e pós-testes mostraram mudanças nas concepções dos professores, principalmente às que se referem às diferenças entre os objetos clássicos e quânticos.

Peduzzi (2004), ao trabalhar com alunos universitários, utilizou um material instrucional produzido a partir de notas de aula, à luz de referenciais epistemológicos. A proposta foi de aproximar a física da filosofia a partir das raízes históricas da física atômica na disciplina Estrutura da Matéria. Após uma sondagem exploratória, os alunos demonstraram bastante receptividade com o material. Os principais aspectos analisados foram: a importância do papel do professor, como facilitador da compreensão do texto; as dificuldades inerentes aos conteúdos estudados; a falta de clareza de conteúdos específicos.

Paulo & Moreira (2004) implementaram uma unidade didática sobre MQ em turmas de primeiro e segundo anos do ensino médio em duas escolas da rede pública de ensino. As turmas de primeiro ano tiveram aulas sobre óptica ondulatória e sobre o experimento de dupla fenda antes da implementação da unidade didática. Os autores afirmam que os resultados da investigação parecem indicar que não houve dificuldades de aprender conceitos da teoria quântica que fossem maiores que as dificuldades de aprendizagem inerente à física clássica e que o conhecimento prévio sobre ondulatória clássica, por parte dos alunos, não parece influenciar criticamente os resultados de aprendizagem.

Samagaia & Peduzzi (2004), preocupados em manter o estudante como centro das atividades em sala de aulas, implementaram numa turma de 8º série do ensino fundamental um módulo didático sobre FMC no contexto do Projeto Manhattan (1945-1945). Os autores utilizaram, como estratégia didática, uma técnica psicoterápica RPG (*Roleplaying Game*) e estruturaram uma história (supostamente fictícia) que reproduziu o quadro da 2ª Guerra Mundial. Os conteúdos contemplados ao longo da unidade didática foram: fissão nuclear; a radiação; a pesquisa e o uso de armas químicas e biológicas; a energia. Os resultados da pesquisa mostram uma grande receptividade da proposta por parte dos estudantes, além de evidências de aprendizagem dos conteúdos envolvidos.

Köhnlein & Peduzzi (2005) implementaram em uma turma de ensino médio um módulo didático baseado em uma abordagem histórico-filosófica da relatividade restrita. A proposta foi organizada de acordo com os três momentos pedagógicos de Angotti & Delizoicov. A problematização inicial consistiu do levantamento de concepções dos alunos acerca dos métodos de construção do conhecimento científico. A organização do conhecimento se fundamentou a partir das discussões sobre a concepção empirista-indutivista e suas limitações. Finalmente, a aplicação do conhecimento teve como pano de fundo a mecânica clássica (transformações de Galileu), o eletromagnetismo (éter e as transformações de Lorentz) e a relativística restrita, abordados numa perspectiva de ruptura entre paradigmas. Os resultados do trabalho mostraram mudanças significativas nas concepções de ciência vigentes.

Machado & Nardi (2006) avaliaram em um curso de extensão para alunos do terceiro ano do ensino médio um *software* educacional sobre temas de FMC. Trata-se de um hipertexto elaborado numa perspectiva ausubeliana que busca desenvolver os seguintes conceitos: (a) a equivalência entre massa e energia; (b) o caráter descontínuo da evolução do conhecimento e sua provisoriade; (c) relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente; (d) o papel da ética na ciência. O *software* é constituído de seis módulos didáticos: visão geral (textos introdutórios sobre física clássica e FMC); a teoria da relatividade (postulados, dilatação do tempo e contração do espaço, momentum e energia relativística, teoria da relatividade geral); 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). Os resultados da avaliação mostraram que o uso do computador foi fator de motivação, a variedade de recursos de mídia favoreceu a visualização e interpretação dos fenômenos abordados e a estruturação do hipertexto com base em princípios ausubelianos foi um elemento facilitador da aprendizagem.

CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE TEMAS DE FMC

Num trabalho realizado com uma turma do curso de mestrado profissional, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ostermann & Ricci (2004) levantaram algumas concepções dos professores de física de ensino médio acerca da natureza dos objetos quânticos. Para a maioria dos professores da amostra (dezoito no total): falta clareza sobre os limites de validade da MQ e da física clássica; massa é uma propriedade exclusiva da física clássica; as leis de conservação de massa e momentum só se aplicam aos objetos clássicos; os objetos quânticos são necessariamente relativísticos; os objetos quânticos possuem necessariamente propriedades físicas discretas; a impossibilidade de se observar diretamente os objetos quânticos está associada à sua natureza probabilística; os fótons só existem nas transições atômicas.

Montenegro & Pessoa Jr. (2002) investigaram as interpretações “privadas” que alunos de MQ desenvolveram sobre essa teoria. O instrumento utilizado pelos autores foi aplicado em cinco turmas de graduação e em três turmas de pós-graduação e constitui-se de questões abertas e fechadas sobre: (a) o experimento de dupla fenda; (b) princípio da incerteza; estado quântico; retrodição; e postulado da projeção. Os resultados mostraram, entre outros aspectos, que as interpretações adotadas pelos alunos acerca da teoria quântica mudam conforme a situação-problema apresentada.

Em um estudo realizado na Argentina, Arriasecq & Greca (2006) levantaram algumas concepções que estudantes de nível médio possuem acerca de conceitos fundamentais da física clássica considerados necessários para uma adequada conceitualização dos aspectos mais relevantes da TRR. Dentre os aspectos mais importantes investigados pelas autoras, destacam-se: (a) a simultaneidade; (b) sincronismo de relógios; (c) tempo; (d) espaço; (e) observador; (f) sistema de referência. A análise dos dados obtidos nesse estudo foi feita com base na teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e os resultados mostraram evidência de alguns teoremas-emoção, tais como: o tempo é difícil de definir; o tempo é uma unidade; o tempo é absoluto; o tempo é relativo; representa-se o tempo com um relógio; o tempo é uma variável independente de um sistema de coordenadas; o tempo não se pode representar; não se pode viajar no tempo por questões tecnológicas; não é possível viajar no tempo fisicamente; o espaço não se pode representar; observador pode ser um indivíduo ou um instrumento que registra dados detalhadamente; dois eventos são simultâneos quando ocorrem ao mesmo tempo e no mesmo lugar; o mais importante no processo de medição é o instrumento; para resolver problemas de física não é necessário levar em conta o sistema de referência; os postulados são crenças que podem se converter em teorias científicas; as teorias científicas permitem explicar fenômenos.

Baseados na noção de perfil conceitual de Mortimer, Karam *et al.* (2006) implementaram em uma turma de primeiro ano do ensino médio uma unidade didática que aborda tópicos da TRR logo após o estudo da cinemática. Os resultados do pré e pós-teste evidenciaram uma ampliação do perfil conceitual do tempo por partes dos estudantes. As concepções de tempo identificadas pelos autores, ao final da unidade, foram: 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 (TRR).

Após a implementação de uma unidade sobre MQ segundo a interpretação de Copenhagen, Paulo & Moreira (2004), num estudo envolvendo cerca de 100 alunos de ensino

médio, levantaram algumas concepções referentes aos conceitos de complementaridade e não-determinismo a partir de um pós-teste sobre o experimento imaginário do gato de Schrödinger. As categorias identificadas nesse estudo foram: soma das partes diferentes do todo (auto-interferência de aspectos antagônicos); superposição de estados (coexistência harmônica de opostos); interação sujeito-objeto (características dependentes do contexto); colapso da função de onda (a medida prepara o estado); incompreensibilidade (dificuldade inerente à teoria); separação do mundo clássico e quântico (limite de validade da teoria); clássico/ probabilístico (coexistência de probabilidades e não de estados); clássico/ livre-arbítrio (probabilidades determinadas pelas escolhas); clássico/ ignorância (incerteza relacionada à ignorância).

RECURSOS DIDÁTICOS E BIBLIOGRAFIAS DE CONSULTA PARA PROFESSORES

Nos trabalhos classificados nessa categoria, foi possível identificar quatro grandes temas abordados: (a) bibliografias de consulta sobre FMC; (b) divulgação de softwares desenvolvidos para o ensino de FMC; (c) desenvolvimento de recursos visuais e laboratório de FMC; (d) elaboração de unidades didáticas.

Ostermann & Cavalcanti (2001) apresentaram um pôster sobre as interações fundamentais e as partículas elementares. Desenvolvido para facilitar a inserção desse tema no ensino médio, o pôster traz informação a respeito das quatro interações fundamentais da natureza (gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca), além das propriedades da matéria (cor, carga, massa), classificação das partículas elementares (quarks, léptons e partículas mediadoras) e combinações das mesmas (hádrons: bárions e mésons). O material didático descrito acima também apresenta o modelo atual do átomo, bem como alguns exemplos de leis de conservação como o decaimento beta e a aniquilação quark-antiquark.

Cavalcante *et al.* (2001) apresentaram duas atividades didáticas distintas envolvendo o ensino do efeito fotoelétrico: uma simulação computacional e um experimento prático com LED's (*Light Emitting Diode*). O objetivo é determinar experimentalmente um valor aproximado para a constante de Planck. Além de uma introdução conceitual e geral sobre a descoberta do efeito fotoelétrico, os autores propõem, ao final do texto, uma abordagem interdisciplinar entre professores de física, filosofia e matemática para discutir o comportamento dual da luz.

Cavalcante & Tavolaro (2001) desenvolveram uma oficina de física moderna que visa sua inserção no ensino médio. Utilizando experimentos de baixo custo e simulações computacionais, as autoras apresentam ao longo da oficina uma revisão sobre óptica ondulatória e ondas eletromagnéticas, além de atividades envolvendo o efeito fotoelétrico, a observação de espectros contínuos e discretos e a difração de elétrons.

Para abordar “a descoberta do núcleo”, tema geralmente tratado apenas na disciplina de química, Cavalcante *et al.* (2001) apresentaram um recurso computacional e um equipamento desenvolvido por Ferreira *et al.* O objetivo foi simular o experimento de Geiger-Marsden e obter o espalhamento de Rutherford, desenvolvendo no aluno a capacidade de investigação científica.

Dias *et al.* (2002) elaboraram um laboratório virtual de física nuclear. Esse *software* desenvolvido pelos autores simula um detector de radiação tipo Geiger-Müller, três amostras radioativas e placas absorvedoras. O programa está disponível para *download* no seguinte endereço eletrônico: www.fisica.ufc.br/brindes.html.

A partir de uma construção teórica comprometida com a epistemologia de Toulmin, Arriassecq & Greca (2002) propuseram alguns eixos para a análise de livros didáticos de ensino médio que abordam a TRR. Os aspectos destacados são: contextualização histórica da TRR; reflexão epistemológica referente a gênese da TRR; repercussão da TRR em diferentes âmbitos; discussões conceituais.

Valadares & Moreira (1998)¹ apresentaram um texto didático abordando analogias e sugestões conceituais e práticas para se introduzir tópicos de FMC no ensino médio. O texto abrange: efeito fotoelétrico; Laser e aplicações – fibras ópticas e leitura de código de barras; Radiação do corpo negro – experiência de absorção e emissão de radiação.

Arruda & Toginho Filho (2004) desenvolveram um laboratório caseiro de física moderna utilizando materiais de baixo custo. Entre as montagens descritas no texto, destacam-se os experimentos com lâmpada comercial de vapor de mercúrio, tais como o espectro de mercúrio e o efeito fotoelétrico.

Marques & Silva (2005) desenvolveram e implementaram uma unidade didática sobre astrofísica para preparar estudantes de ensino médio para a V Olimpíada Brasileira de astronomia. Entre os tópicos abordados pelos autores, destacam-se noções de relatividade restrita e geral, comportamento dual da luz e reações nucleares. Infelizmente o trabalho não apresenta resultados de pesquisa.

Medeiros & Medeiros (2005) defenderam a importância da alegria no ensino de ciências e apresentaram a dimensão do mistério e o conflito cognitivo no uso de brinquedos no ensino de física moderna. Fundamentados nos trabalhos de Vygotsky e inspirados nas reflexões de Einstein e outros pensadores, os autores apresentaram o princípio da equivalência entre massa-energia através do intitulado elevador de Einstein.

A partir de experimentos de interferência luminosa, Ostermann & Prado (2005) apresentaram um texto sobre as quatro grandes escolas de interpretações da MQ, dando especial ênfase à interpretação dos universos paralelos de Everett. As autoras discutiram a interferência nos regimes clássico e quântico (experimento monofotônico) e apresentaram as interpretações de cada escola de pensamento, sendo elas: a interpretação ondulatória-realista; interpretação da complementaridade; a interpretação dualista-realista; a interpretação dos muitos mundos.

Eichler *et al.* (2006) apresentaram “A cidade do átomo”, um *software* educativo criado para desenvolver o tema da radioatividade. Esse ambiente virtual permite o uso de uma estratégia didática baseada no jogo de papéis (RPG – *Roleplaying Game*), possibilitando uma discussão sobre a produção de energia elétrica a partir de energia nuclear, permitindo a resolução de problemas relacionados à radiação.

Ostermann *et al.* (2006) desenvolveram um *software* que simula o interferômetro de Mach-Zehnder, um experimento de interferência quântica análogo ao experimento de dupla fenda. O simulador pode operar em regime monofotônico, trazendo à tona discussões a respeito do caráter quântico dos objetos microscópicos.

Santos (2006) propuseram a construção de diagramas para auxiliar o ensino de relatividade restrita. Segundo o autor, este recurso pode ser utilizado para construir instrumentos simples para demonstrar efeitos como a dilatação do tempo e a contração espacial, sem o uso do formalismo matemático. O autor também propôs a construção de um pêndulo equivalente para demonstrar a diferença no avanço temporal entre dois sistemas de referências distintos.

ANÁLISE DE LIVROS DIDÁTICOS E DOCUMENTOS EDUCACIONAIS QUE CONTEMPLAM FMC.

Ostermann & Ricci (2002), ao analisarem criticamente alguns livros didáticos de nível médio que abordam noções da TRR, concluíram que a grande maioria, quando não apresenta a teoria de forma muito superficial, apresenta em seus textos erros conceituais a respeito da contração de Lorentz-FitzGerald e a aparência visual de objetos relativísticos. Em outro estudo (OSTERMANN, RICCI 2004), os autores analisaram dois conceitos amplamente difundidos nos livros didáticos que introduzem a TRR: massa relativística e a equivalência massa-energia. Os

¹ Edição Especial do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21, 2004.

autores constataram que os textos, além de interpretar de forma errônea a equivalência massa-energia, delegam ao conceito de massa relativística uma importância fundamental, quando, de fato, trata-se de um conceito inadequado que não deveria ser abordado. Os livros revisados pelos autores foram: Amaldi (1995); Anjos (1998); Bonjorno *et al.* (2000); Cabral & Lago (2002); Carron & Guimarães (1999); Feynman *et al.* (1963); Fiolhais *et al.* (1996); Gaspar (2000); Gonçalves & Toscano (1997); Hawking (2002); Hewitt (1998); Máximo & Alvarenga (2000); Nicolau *et al.* (2002); Ramalho *et al.* (1999).

Lobato & Greca (2005) fizeram uma análise dos programas curriculares de ensino médio de vários países que contemplam temas de FMC. Foram analisadas as grades curriculares dos seguintes países: Portugal; Espanha; França; Reino Unido; Dinamarca; Suécia; Canadá; Austrália; Itália; Finlândia. Os temas de FMC encontrados nesse estudo são: quantização e a constante de Planck, dualidade onda-partícula, princípio de incerteza, física atômica e nuclear, física de partículas, efeito fotoelétrico e modelos atômicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, apresentamos uma revisão da produção acadêmica recente sobre FMC no Brasil e classificamos os artigos consultados em cinco diferentes categorias. Dos trinta e quatro artigos consultados, somente onze apresentaram propostas testadas em sala de aula com resultados de aprendizagem e apenas cinco levantaram concepções de professores e alunos acerca de temas de FMC. Outro aspecto notável é que a maioria dos autores apenas fez referências aos Parâmetros Curriculares Nacionais e não assumiu de forma explícita o referencial teórico adotado, sendo que somente nove dos trabalhos analisados fundamentam-se em teorias de ensino e aprendizagem, estratégias didáticas ou epistemologias contemporâneas. Os referenciais citados foram: *Angotti & Delizoicov* (Köhnlein & Peduzzi, 2005); *Ausubel* (Machado & Nardi, 2006); *Chevallard* (Brockington & Pietrocola, 2005); *Johnson* (Lobato & Greca, 2005); *Johnson-Laird* (Greca *et al.*, 2001); *Moreira* (Paulo & Moreira, 2004); *Mortimer* (Karam *et al.*, 2006); *Pessoa Jr.* (Ostermann & Ricci, 2004); *Vergnaud* (Arriassecq & Greca, 2006); *Vygotsky* (Medeiros & Medeiros, 2005). Foram raros os artigos dos quais os autores se posicionam em relação às três vertentes metodológicas apontadas por Ostermann & Moreira (2000).

É possível constatar que, apesar do constante aumento do número de trabalhos publicados que apresentam novas estratégias de ensino com resultados de aprendizagem, bem como levantamento de concepções alternativas acerca de temas de FMC, a maioria das publicações ainda diz respeito à divulgação de recursos didáticos e textos apresentados como bibliografia de consulta para o professor de nível médio.

REFERÊNCIAS

Arriassecq, Irene; Greca, Ileana. 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**, v. 11, n. 2, p. 01-21, ago. 2006.

Arriassecq, Irene; Greca, Ileana. Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la relatividad especial en el nivel medio y polimodal. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 1, p. 55-69, mar. 2002.

Arruda, Sergio; Toginho Filho, Dari. Laboratório caseiro de Física Moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, Edição Especial, p. 390- 394, 2004.

- Brockington, Guilherme; Pietrocola, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 10, n. 3, p. 387-404, dez. 2005.
- Cavalcante, Marisa; Piffer, Anderson; Nakamura, Patrícia. O Uso da Internet na Compreensão de Temas de Física Moderna para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 23, n. 1, p. 108-112, mar. 2001.
- Cavalcante, Marisa; Tavoraro, Cristiane; Haag, Rafael. Experiências em Física Moderna. **A Física na Escola**. v. 6, n. 1, p. 75-82, mai. 2005.
- Cavalcante, Marisa; Tavoraro, Cristiane; Souza, Dione; Muzinatti, João. Uma Aula sobre o Efeito Fotoelétrico no Desenvolvimento de Competências e Habilidades. **A Física na Escola**. v. 3, n. 1, p. 24-29, mai. 2002.
- Cavalcante, Marisa; Tavoraro, Cristiane. Uma oficina de Física Moderna que visa sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 18, n. 3, p. 263-276, dez. 2001.
- Dias, Nildo; Pinheiro, Alexandre; Barroso, Giovane. Laboratório Virtual de Física Nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 24, n. 2, p. 232-236, jun. 2002.
- Eichler, Marcelo; Junges, Fernando; Del Pino, José. Cidade do Átomo, um Software para o Debate Escolar sobre Energia Nuclear. **A Física na Escola**. v. 7, n. 1, p. 17-21, mai. 2006.
- Greca, Ileana; Moreira, Marco. Uma revisão de literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 6, n. 1, p. 29-56, mar. 2001.
- Greca, Ileana; Moreira, Marco; Herscovitz, Vitória. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 23, n. 4, p. 444-457, dez. 2001.
- Greca, Ileana; Herscovitz, Vitória. Superposição linear em ensino de mecânica quântica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 5, n. 1, p. 61-77, jan. 2005.
- Karam, Ricardo; Cruz, Sônia; Coimbra, Débora. Tempo relativístico no início do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 28, n. 3, p. 373-386, set. 2006.
- Köhnlein, Janete; Peduzzi, Luiz. 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, abr. 2005.
- Lobato, Teresa; Greca, Ileana. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do Ensino Médio. **Ciência & Educação**. v. 11, n. 1, p. 119-132, mai. 2005.
- Machado, Daniel; Nardi, Roberto. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 28, n. 4, p. 473-485, dez. 2006.
- Marques, Adílio; Silva, Cláudio. Utilização da Olimpíada Brasileira de Astronomia como Introdução à Física Moderna no Ensino Médio. **A Física na Escola**. v. 6, n. 2, p. 34-35, out. 2005.
- Medeiros, Alexandre; Medeiros, Cleide. Einstein, a física dos brinquedos e o princípio da equivalência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 22, n. 3, p. 299-315, dez. 2005.
- Montenegro, Roberto; Pessoa Jr., Osvaldo. Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 7, n. 2, p. 107-126, ago. 2002.

- Ostermann, Fernanda; Cavalcanti, Cláudio. Um Pôster para Ensinar Física de Partículas. **A Física na Escola**. v. 2, n. 1, p. 13-18, out. 2001.
- Ostermann, Fernanda; Moreira, Marco. 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, mar. 2000.
- Ostermann, Fernanda; Prado, Sandra; Ricci, Trieste. Desenvolvimento de um Software para o Ensino de Fundamentos de Física Quântica. **A Física na Escola**. v. 7, n. 1, p. 22-25, mai. 2006.
- Ostermann, Fernanda; Prado, Sandra. Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 27, n. 2, p. 193-203, fev. 2005.
- Ostermann, Fernanda; Ricci, Trieste. Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relatos de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 22, n. 1, p. 09-35, abr. 2005.
- Ostermann, Fernanda; Ricci, Trieste. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 21, n. 1, p. 83- 102, abr. 2004.
- Ostermann, Fernanda; Ricci, Trieste. Construindo uma unidade didática conceitual sobre Mecânica Quântica: um estudo na formação de professores de Física. **Ciência & Educação**. v. 11, n. 2, p. 235-258, mai. 2004.
- Ostermann, Fernanda; Ricci, Trieste. Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e a aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 19, n. 2, p. 176-190, ago. 2002.
- Paulo, Iramaia; Moreira, Marco. Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 4, n. 2, p. 63-73, mai. 2004.
- Peduzzi, Luiz. Física e filosofia: uma aproximação através de um texto na disciplina estrutura da matéria. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 3, n. 2, p. 05-20, mai. 2004.
- Samagaia, Rafaela; Peduzzi, Luiz. Uma experiência com o projeto Manhattam no Ensino Fundamental. **Ciência & Educação**. v. 10, n. 2, p. 259-276, mai. 2004.
- Santiago, Marcus; Tavares, Marília; Cavalcanti, Gildo. Elaboração de um Curso Introdutório de Física de Plasma. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 23, n. 1, p. 104-107, mar, 2001.
- Santos, Ricardo. Relatividade restrita com o auxílio de diagramas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 23, n. 2, p. 238-255, ago. 2006.
- Valadares, Eduardo; Moreira, Alysson. Ensinando física moderna no ensino médio: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 21, Edição Especial, p. 359-371, 2004.