

INTERAÇÃO RADIAÇÃO-MATÉRIA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO

RADIATION-MATTER INTERACTION: A DIDACTIC PROPOSAL FOR HIGH SCHOOL

Cléia Neves Bueno^{1,3}, Frederico Ayres^{2,3}

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, www.cleia.com@gmail.com

²Universidade Federal de Mato Grosso/Faculdade de Engenharia/CUVG, ayres@ufmt.br

³Universidade Federal de Mato Grosso/Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais

Resumo

Em geral, a sociedade se adapta às novas tecnologias sem o interesse pelos seus detalhes conceituais. O conhecimento técnico para instalação ou operação de aparelhos comumente ocorre por questões profissionais. Porém, qual seria a resposta da sociedade ao ser estimulada a conhecer os conceitos físicos relacionados ao funcionamento de determinados aparelhos e equipamentos? Um dos objetivos desse trabalho foi observar o desenvolvimento de conceitos de Física, principalmente sobre o Efeito Fotoelétrico, a partir de informações e habilidades relacionadas a aplicações no cotidiano, enquanto proposta didática aplicada a duas turmas de Ensino Médio Integrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Coronel Octayde Jorge da Silva, Cuiabá. Tomando como base a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel, aplicada conforme a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Moreira, os estudantes foram estimulados a manifestar suas percepções sobre o uso de tecnologia, tais como iluminação urbana e portas automáticas, durante conversas direcionadas. Após essa primeira etapa do processo de identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes, foram realizadas atividades expositivas e experimentais. As atividades expositivas visavam a apresentação da teoria sobre interação da radiação com a matéria, bem como as orientações para a montagem, por grupos de alunos, de um circuito elétrico com um LDR (*Light Dependent Resistor*) com o intuito de investigar a sua resposta ao ser estimulado por diferentes frequências luminosas. A organização em grupo permitiu o compartilhamento de conhecimentos prévios, proporcionando a aplicação das habilidades individuais e o desenvolvimento de novos subsunçores. Enfim, a proposta didática para o desenvolvimento de Eletromagnetismo e dos princípios da Mecânica Quântica foi considerada eficaz, sob o ponto de vista da aprendizagem, sendo parte do sucesso dos alunos atribuído à satisfação em associar o conteúdo das aulas a aplicação de tecnologia no cotidiano da sociedade.

Palavras-chave: Interação radiação-matéria, Física Moderna, Eletromagnetismo, Teoria da Aprendizagem Significativa

Abstract

In general, society adapts to new technologies without being interested in their conceptual details. Technical knowledge for installing or operating appliances commonly occurs for professional reasons. However, what would society's response be when encouraged to know the physical concepts related to the functioning of certain devices and equipment? One of the aim of this work was to identify the development of Physics concepts, mainly on the Photoelectric Effect, from information and skills related to everyday applications, as a didactic proposal applied to two classes of integrated high school of the *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso*, campus *Coronel Octayde Jorge*, in Cuiaba. Based on Ausubel's Theory of Meaningful Learning (TAS), applied according to Moreira's Theory of Critical Meaningful Learning (TASC), students were encouraged to express their perceptions about the use of technology, such as urban lighting and automatic doors, during targeted conversations. After this first stage of the process of identifying students' prior knowledge, expository and experimental activities were carried out. The activities of exhibition aimed at presenting the theory on the interaction of radiation with matter, as well as the guidelines for the assembly, by groups of students, of an electrical circuit with an LDR (Light Dependent Resistor) in order to investigate its response when stimulated by different light frequencies. The organization in groups allowed the sharing of previous knowledge, providing the application of individual skills and the development of new knowledge. Finally, the didactic proposal for the development of electromagnetism and the principles of Quantum Mechanics was considered effective, by the learning point of view, being part of the students' success attributed to the satisfaction in associating the content of the classes with the application of technology in their daily lives in society.

Keywords: Radiation-matter interaction, Modern Physics, Electromagnetism, Meaningful Learning Theory

INTRODUÇÃO

A luz e os seus efeitos sempre estiveram entre os assuntos mais debatidos ao longo da história da humanidade. Muitos de seus conceitos, ainda que aparentemente estabelecidos, foram revistos. Em seu artigo de 1905, intitulado "Sobre um ponto de vista heurístico concernente à geração e transformação da luz", Einstein (1905; MOREIRA, 2005) propôs a interpretação do fóton como uma partícula, em um fenômeno de interação entre a luz e a matéria, uma proposta que proporcionou alteração profunda nos paradigmas da época, aceita pela comunidade científica com a laureação de Einstein e Millikan com o prêmio Nobel, respectivamente, em 1921 e em 1923. O contexto histórico do efeito fotoelétrico pode ser importante para estudantes de qualquer grau escolar por esclarecer que as dúvidas estão presentes no processo de desenvolvimento científico e que os conceitos não nascem já consolidados. Há etapas até a formulação das teorias que permanecem até ocorrer nova mudança de paradigma (KUHN, 2010). Em meio aos paradigmas, os subsunçores são gerados pelas vivências cotidianas e pela perspectiva contemporânea (TEODORO, 2000). A concepção de forma subversiva dos conceitos ocorre ao serem, os aspectos culturais e conceituais, orientados pelo

educador, conduzindo à investigação crítica (MOREIRA, 2007). Ao contemplar o desenvolvimento histórico na formação docente, com destaque a concepções sobre a natureza da ciência (CARVALHO, 2004), estudantes são estimulados a conceber a geração dos conceitos sob a perspectiva (em partes) da época em que foram estabelecidos (PRADO, 1989) e, com isso, poderão apresentar maior interesse nos conceitos e em suas aplicações (TEODORO, 2000), minimizando a resistência a mudanças. A compreensão desse processo enquanto proposta didática pode ser vista como uma conquista no ensino e aprendizagem.

O processo de descoberta científica pode ser evidenciado no Ensino Básico por meio da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC), como base didática, ancorada a um tema relevante ao ensino. Nesse trabalho, o tema é a interação radiação/matéria, mais especificamente o efeito fotoelétrico, por conter mudanças de paradigma profundas, contextualização histórica relevante e aplicações tecnológicas importantes. A fim de estimular o desejo dos estudantes pelo conhecimento, inúmeros métodos podem ser empregados para a contextualização histórica e para a percepção dos esforços, tanto os coletivos, quanto os individuais, em cada período de mudança (MOREIRA, 2007). O ensino de Ciências, em si, necessita de um planejamento que contemple o desenvolvimento científico desde a sua origem até o estabelecimento de um novo paradigma, com a apresentação dos subsunçores como naturalmente sujeitos a alterações. As mudanças observadas nos conhecimentos prévios são fundamentalmente relevantes (AUSUBEL, 1980).

A contextualização do efeito fotoelétrico no processo de ensino e aprendizagem contribui para a criticidade do aprendiz, agindo em seus subsunçores, e, conseqüentemente, para o embasamento das teorias científicas relacionadas ao fenômeno. O incentivo à criatividade dos estudantes durante a identificação dos conhecimentos prévios foi associado ao estímulo à afetividade entre todos os envolvidos, gerando um método didático sistematizado de desenvolvimento intelectual e pessoal. Segundo Rinaldi e Santos (2011), a convivência no ambiente escolar deve contemplar as ações e diálogos enquanto prática da afetividade. Ao ancorar os sentimentos e as emoções pela afetividade, há uma ação que promove o indivíduo e o coletivo, com a preparação para receber os novos conhecimentos (MAHONEY, 1993; MCLEOD, 1992).

Esse trabalho tem por objetivo descrever o processo de ensino e aprendizagem de alunos de Ensino Médio desde o estímulo à curiosidade, com a identificação dos conhecimentos prévios, até a atribuição de significados e de sentidos aos conceitos científicos sobre o tema proposto, sendo as bases o Efeito Fotoelétrico e a TASC. A predisposição ao querer saber, associada à afetividade, após a compreensão dos conceitos por meio do saber, sentir e vivenciar (MCLEOD, 1992), foi igualmente estimulada durante todo o processo, enquanto incentivo para a superação dos desafios, conforme as estratégias facilitadoras da TASC (MOREIRA, 2000). Assim, as atividades didáticas sobre os conceitos relacionados à interação radiação/matéria contribuíram para um ambiente favorável ao ensino e aprendizagem, bem como para relacionar o conhecimento dos conceitos com as aplicações tecnológicas, em um processo de geração de novos subsunçores, gradativamente, sem rupturas abruptas.

METODOLOGIA

A escolha da interação radiação/matéria, especificamente o efeito fotoelétrico, como tema de abordagem para o ensino e aprendizagem se deve ao caráter de modernidade e à possibilidade de contextualização, além da aplicação tecnológica, por meio da qual se aproxima ao cotidiano dos estudantes, permitindo a prática da TAS e da TASC durante as atividades didáticas.

A aplicação da proposta foi realizada para quarenta estudantes de terceiro ano de cursos técnicos integrados ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, em Cuiabá – MT. Seus conhecimentos prévios sobre aparelhos de medidas e circuitos elétricos simples foram anteriormente identificados por acesso à matriz curricular dos cursos. Demais conhecimentos foram diagnosticados por diálogos coletivos e por um questionário de entrada, contendo questões relacionadas ao tema.

A proposta foi aplicada em conformidade com procedimentos científicos, no qual os estudantes foram estimulados a refletir criticamente sobre as contribuições tecnológicas à sociedade e os conceitos científicos que as subsidiam, em uma aprendizagem pelo erro, centrada no pensar, sentir e agir, organizada em três etapas básicas:

- **Etapas 1 – Questionário de entrada:** identificação dos conhecimentos prévios;
- **Etapas 2 – Aulas expositivas e aulas práticas:**
 - **Etapas 2.a – Aulas teóricas expositivas:** fase pré-Mecânica Quântica, artigo publicado por Einstein sobre o tema e os trabalhos de Millikan;
 - **Etapas 2.b – Aulas experimentais:** organização dos alunos em grupos para montagem de um circuito elétrico para observação da interação da luz com a matéria.
- **Etapas 3 – Questionário de saída:** diagnóstico do processo de ensino e de aprendizagem.

Os conceitos básicos de Física foram observados em todas as etapas, assim como os aspectos históricos e culturais à época do desenvolvimento das ideias, início do século XX, porém, com mais ênfase na etapa 2.a.

Os questionários de entrada e de saída foram elaborados com as mesmas questões expostas na mesma sequência (quadro 1), embora seus objetivos sejam distintos. O questionário de entrada visou a identificação dos conhecimentos prévios dos alunos, além de fornecer subsídios para as atividades seguintes, e o questionário de saída teve por objetivo, por comparação com o de entrada, a análise do conhecimento estabelecido após a aplicação de todas as etapas. A preparação de cada questão (quadro 1) contemplou importância, necessidade, síntese e objetividade (MCCLELLAND, 1976).

Quadro 1 – Questões de entrada/saída

1) A energia de um fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda.	11) É possível que o efeito fotoelétrico ocorra com luz azul fraca e não ocorra com a luz vermelha intensa.
2) A intensidade da corrente fotoelétrica emitida é proporcional à intensidade da radiação incidente.	12) Albert Einstein recebeu o Prêmio Nobel por contribuições na Teoria da Relatividade.
3) Robert Andrews Millikan recebeu o Nobel de Física de 1923, por trabalhos sobre cargas elétricas elementares e o efeito fotoelétrico.	13) A energia dos elétrons emitidos depende da frequência da radiação incidente.
	14) A teoria do efeito fotoelétrico afirma que, aumentando a

4) De acordo com o Princípio da Complementaridade, se uma medida prova o comportamento ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o comportamento corpuscular na mesma medida.	frequência da luz incidente na superfície metálica, é possível arrancar prótons da superfície do metal.
5) A explicação do efeito fotoelétrico está baseada em um modelo corpuscular da luz.	15) Os modelos corpuscular e ondulatório são complementares.
6) Uma das aplicações do efeito fotoelétrico é permitir acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas.	16) A função trabalho é a energia necessária para se remover um elétron do metal e independe da substância iluminada pela radiação.
7) O efeito fotoelétrico, descoberta de Einstein, evidencia as propriedades ondulatórias de uma onda eletromagnética.	17) Considerando que, no vácuo, o comprimento de onda da luz vermelha é maior do que o comprimento de onda da luz azul, a energia dos quanta de luz vermelha é maior do que a energia dos quanta da luz azul.
8) Para uma determinada radiação incidente, a velocidade dos elétrons ejetados depende do metal usado na experiência.	18) A energia cinética dos fotoelétrons não depende da frequência da radiação incidente.
9) O efeito fotoelétrico fornece evidências das naturezas ondulatória e corpuscular da luz.	19) Emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por uma onda eletromagnética caracteriza o efeito fotoelétrico.
10) O efeito fotoelétrico só ocorre com a utilização de uma onda eletromagnética na faixa de frequência da luz visível.	20) Quando uma luz monocromática incide sobre uma superfície metálica e não arranca elétrons dela, basta aumentar a sua intensidade para que o efeito fotoelétrico ocorra.

Fonte: os autores (BUENO, 2019)

As questões apresentadas no quadro 1 foram organizadas conforme os seguintes assuntos: energia fotoelétrica (questões 1, 13, 17 e 18), intensidade da radiação incidente (questões 2 e 20), princípio da complementaridade (3 e 12), prêmio Nobel de Física em 1921 e em 1923 (questões 4 e 15), caráter corpuscular da radiação (questões 5, 7, 9 e 19), aplicação do efeito fotoelétrico (questão 6), função trabalho (questões 8, 14 e 16) e efeito fotoelétrico e sua relação com a frequência e a intensidade da radiação incidente (questões 10 e 11).

A metodologia empregada visa facilitar o processo de ensino e aprendizagem, com as atividades práticas como núcleo das aplicações da TAS e da TASC.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As aulas práticas tiveram por objetivo a aplicação da aprendizagem significativa e a simulação do método científico. Já era de conhecimento que os alunos possuem habilidades para montagem do circuito elétrico e manuseio dos equipamentos. O circuito foi montado de tal forma que favorecesse a medida de resistência elétrica do elemento LDR (*Light Dependent Resistor*), cuja resistência elétrica é variável com a luz incidente. Apesar de baixa intensidade, LED's (*Light Emitted Diode*) nas cores vermelho, azul e verde foram utilizados no experimento. Os estudantes fizeram leituras da resistência elétrica do LDR em diversas situações de ambiente e de proximidade ao LED, até garantir o procedimento mais adequado e controlado (VALADARES; MOREIRA, 1998).

RESULTADOS

A proposta didática para o estudo da interação radiação/matéria foi concebida para simular o método científico, desde o conhecimento prévio até a verificação do conhecimento adquirido, sendo as aulas práticas o cerne do processo de ensino e aprendizagem.

Nas etapas desse processo (vide Metodologia), foram feitas inúmeras observações. Na etapa 1, vários estudantes demonstraram suas inseguranças ao

entrar em contato com as questões do questionário (quadro 1). Contudo, o diálogo de explicação sobre a proposta e sobre a identificação dos conhecimentos prévios dos participantes auxiliou no envolvimento gradativo dos estudantes. A manifestação a favor das atividades aumentou ao perceberem que não se tratava de uma avaliação, mas de uma prática de ensino. Com isso, responderam às questões do questionário de entrada, o que colaborou na identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.

Na etapa 2.a, foram feitas exposições históricas e conceituais sobre as conquistas científicas desde a pré-Mecânica Quântica até as conquistas do prêmio Nobel por Einstein e por Millikan, bem como sobre a superação dos desafios e as mudanças de paradigmas nesse período tão criativo da história científica da humanidade. A fase de identificação dos conhecimentos prévios dos alunos e os diálogos sobre as aplicações tecnológicas provenientes de descobertas dessa época foram fundamentais, pois foi perceptível a manifestação dos estudantes, que expuseram suas ideias, compreensões e dúvidas com bastante desenvoltura.

Durante as aulas experimentais (etapa 2.b), os alunos, reunidos em grupo, montaram o circuito elétrico, necessário para a observação dos valores de resistência elétrica do LDR ao ser aproximado a cada LED (interação radiação/matéria). Houve reforço de suas habilidades técnicas e os equívocos na montagem do aparato, embora tenham sido corrigidos, foram destacados como fatores importantes para a superação dos desafios no processo de desenvolvimento científico. Montados os equipamentos, houve inúmeros questionamentos sobre a leitura dos dados devido à influência da luz ambiente e a distância ideal do LED ao LDR. Todas essas fases de montagem e leitura dos dados foram comparadas às dificuldades enfrentadas pelos cientistas no início do século XX até a aceitação do efeito fotoelétrico pela academia. Os estudantes manifestaram a compreensão que o processo científico não é algo que surge pronto, mas que exige esforços dos envolvidos.

Após as aulas experimentais e as considerações sobre os conceitos, cada aluno respondeu a um questionário de saída (quadro 1), como uma ferramenta para o diagnóstico de aprendizagem, com intuito de comparação com o questionário de entrada. A postura dos estudantes foi de segurança, embora naturalmente com suas dúvidas. Já na leitura das questões, os alunos manifestaram seus equívocos cometidos no questionário de entrada, expondo que a ausência de conhecimento, tanto histórico, quanto conceitual, os impediam de compreender o que liam.

A quantidade de respostas corretas teve um aumento entre 10 e 34% (BUENO, 2019), o que pode ser considerado bastante satisfatório sob o ponto de vista da aplicação da TAS e da TASC no ensino de interação radiação/matéria a estudantes do Ensino Médio. Naturalmente, os alunos acertaram mais as questões elaboradas com nível de interpretação textual mais simples. Embora tenha sido constatado um aumento significativo (30%) na quantidade de acertos para as questões envolvendo aplicações tecnológicas e, portanto, informações às quais os alunos possuem maior acesso, não foi possível identificar um padrão. Há questões com maior exigência conceitual que o nível de acerto aumentou consideravelmente. Por exemplo, para as questões associadas à relação entre o efeito fotoelétrico e a intensidade e frequência da luz incidente, houve um aumento de acertos da ordem de 34%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a proposta didática tenha sido aplicada em um ambiente escolar com foco na formação técnica e tecnológica, era evidente o desafio em gerar subsunções associados ao método científico e aos conceitos sobre interação radiação/matéria, especificamente os desenvolvidos no início do século XX. As estratégias facilitadoras proporcionadas pela TASC, em conjunto com a afetividade, poderiam transformar o espaço escolar em um local de superação das dificuldades. Percebeu-se, contudo, que a proposta didática, embora auxilie no ensino e aprendizagem, não vence as resistências tradicionalmente vinculadas às aulas de Ciências, se não for acompanhada por um planejamento pedagógico colaborativo. A menos das atividades práticas, normalmente mais aceitas pelos estudantes, houve resistência dos alunos à manifestação verbal, à leitura e à apresentação de seus conteúdos.

A observação e o diálogo durante a aplicação da proposta devem ser considerados como fatores fundamentais para estimular a participação dos estudantes e para incentivar o desejo em aprender. Contudo, as aulas práticas para montagem dos aparatos de medidas foram decisivas. É comum a observação de estudantes cuja autoestima se eleva em aulas práticas, pois é o espaço em que alguns alunos se consideram com habilidades para atuar, ainda que possam não ter compreendido o contexto do experimento.

Deve ser considerado que os resultados dos questionários foram analisados e comparados no coletivo e não individualmente. Um passo importante a ser considerado, que não foi nessa proposta, são as mudanças de paradigmas e as conquistas individuais de conhecimento. Ao considerar as duas turmas de estudantes, pode-se afirmar que houve o desenvolvimento de novos conhecimentos como consequência à mudança de paradigmas proporcionadas pelo estudo da interação radiação/matéria sobre as bases da TASC associada à afetividade.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, sem o qual esse trabalho estaria comprometido. Agradecem, também, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso, campus Cuiabá, que permitiu o desenvolvimento deste trabalho, fornecendo apoio e liberdade para todas as atividades propostas.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BUENO, C.N., **O caráter corpuscular da radiação através do efeito fotoelétrico: uma proposta didática**. 2019. 53 f. Dissertação (mestrado profissional em Ciências Naturais) – IF/UFMT, Cuiabá, 2019.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. In.: Anna Maria Pessoa de Carvalho, (org.). – São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. Vários autores.

EINSTEIN, A. On a heuristic point of view concerning the production and transformation of light. **Annalen der Physik**, v. 17, p. 132-148, 1905.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2010, 324.

LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes**. Archives of Psychology. v. 22, n. 140, 1932.

LUDWIG, J. P.; FAIZ, E. B.; PALOSCHI, R. B.; SOUZA, J. **Planejamento estratégico: análise de eficácia da metodologia aplicada por meio da Escala Likert**. Revista Espacios, v. 36, n. 16, p. 9, maio 2015.

MAHONEY, A. A. **Emoção e ação pedagógica na infância: contribuições da psicologia humanista**. Temas em Psicologia. São Paulo, n. 3, p. 67-72, 1993.

MCCLELLAND, J. A. G. **Técnica de questionário para pesquisa**. Revista brasileira de física: III simpósio nacional de física (ATAS), São Paulo, v. especial, n. 1, p. 93-101, jul./1976.

MCLEOD, D. B. Research on affect in mathematics education: a reconceptualization. In: GROWS, D. A. (Ed). **Handbook of research on mathematics teaching and learning**. New York: Ed. Macmillan N.C.T.M., 1992. p. 575-596.

MOREIRA, I.C. 1905: Um ano miraculoso. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 4-10, 2005.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. Versão revisada e estendida de conferência proferida no *III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, Lisboa (Peniche), 2000. Publicado nas Atas desse Encontro, pp. 33 – 45, com o título original de *Aprendizagem significativa subversiva*.

PRADO, F. D. Experiências Curriculares com História e Filosofia da Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 6, n. 9, 1989.

RINALDI, C.; SANTOS, L. M. P. L. **Psicologias da aprendizagem e educação ética**. Cuiabá, UAB/UFMT, 2011.

ROCHA, D. M.; RICARDO, E. C. **As crenças de autoeficácia de professores de Física: um instrumento para aferição das crenças de autoeficácia ligadas a Física Moderna e Contemporânea**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 2, p. 333-364, 2013.

SILVA, F. F. M.; PERES, V. S.; CUNHA, C. M. **Proposição de uma escala de avaliação psicossocial na paralisia facial periférica**. Revista Distúrbios da Comunicação. São Paulo, v. 28, n. 4, p. 609-620, dez. 2016.

TALIM, S. L. **A atitude no ensino de física**. Caderno brasileiro de ensino de física, Belo Horizonte, v. 21, n. 3, p. 313-324, jul. 2004.

TEODORO, S. R. **A História da ciência e as concepções alternativas de estudantes como subsídios para o planejamento de um curso sobre atração gravitacional**. 2000. 277 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) - Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. **Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.15, n.2, p. 121-135, 1998.