

Física moderna no ensino médio: experimento e simulação para abordar o efeito fotoelétrico

Modern physics in high school: experiment and simulation to discuss the photoelectric effect

Ramon Junio Gonçalves Rosa

Curso de Licenciatura em Física – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
ramonjg21@yahoo.com.br

Adriana Gomes Dickman

Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática –
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
adrianadickman@gmail.com

Resumo

Neste trabalho foi elaborada uma sequência de atividades para o ensino do efeito fotoelétrico com a utilização de atividades experimentais e simulação computacional, facilitando a introdução de tópicos da Física moderna no ensino médio. A sequência é composta por pré-teste; aula expositiva; atividade experimental; aplicação da simulação computacional; e teste final. Foi utilizada a simulação do efeito fotoelétrico desenvolvida pelo projeto PhET da Universidade do Colorado e um experimento sobre conversão de energia, exemplificando uma das aplicações do fenômeno. A sequência de atividades foi aplicada a estudantes do primeiro ano do curso de Licenciatura de Física e Matemática. Os resultados indicam que houve um entendimento parcial dos alunos sobre os conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico. Assim, acredita-se que o uso de simulações computacionais juntamente com atividades experimentais pode contribuir para o processo de ensino-aprendizagem na sala de aula.

Palavras chave: física moderna, ensino médio, experimento, simulação computacional, efeito fotoelétrico.

Abstract

To facilitate the introduction of modern physics topics to high school students we elaborate a sequence of activities to teach the photoelectric effect using experiment and computer simulation. The sequence consists of a pre-test; lecture; experimental activity; computer simulation activity; and final test. We use the photoelectric effect simulation developed by the PhET project from University of Colorado, and an experiment involving energy conversion as a practical application of the phenomenon. We applied the sequence of activities to physics and mathematics sophomore students. Our results indicate an improvement of students' understanding about the photoelectric effect and related concepts. Thus, we believe that the use of computer simulations allied with experimental activities can improve the teaching-learning process in the classroom.

Key words: modern physics; high school; experiment; computational simulation; photoelectric effect.

Introdução

A inserção de Física Moderna (FM) no Ensino Médio (EM) tem sido trabalhada por muitos docentes e pesquisadores, visto que a sua compreensão surge como uma necessidade para entender fenômenos ligados a situações de origem natural, tecnológica ou científica ligadas ao cotidiano dos alunos. Vários trabalhos discutem a relevância da inserção da FM no currículo de Física do Ensino Médio no sentido de incentivar a curiosidade e a motivação dos alunos em sala de aula (MESQUITA, 2011; OSTERMANN; MOREIRA, 2001; PIETROCOLA; OFUGI, 2000). Segundo Mesquita (2011, p.18), o uso de FM no EM pode levar os alunos a reconhecerem “a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles”. Por isso, é de extrema importância que se produzam materiais didáticos associados aos temas de Física Moderna que sejam acessíveis aos professores e aos alunos de nível médio (OSTERMANN; MOREIRA 2001, p. 145). Deve-se levar em consideração também o tipo de abordagem, pois “uma discussão acerca do compromisso das teorias físicas com a realidade é uma etapa que não pode ser negligenciada no processo de construção de vínculos entre o mundo subjetivo dos alunos com aquele oferecido pela Física”. (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p.4) Ostermann e Moreira (2001) apontam para a viabilidade do ensino de FM no Ensino Médio, entretanto, estes afirmam que “a questão é como abordar tais tópicos” (OSTERMANN; MOREIRA, 2001, p. 145).

Nesse trabalho foi elaborada e testada uma sequência de atividades que inclui simulação computacional e atividade experimental para abordar o efeito fotoelétrico. O objetivo é criar um roteiro que possa se tornar uma ferramenta didática, que auxilie o professor no desenvolvimento de suas aulas, contribuindo com o processo de ensino-aprendizagem na sala de aula.

Revisão da literatura

A inserção de simulações computacionais e experimentação em sala de aula tem se revelado um importante auxílio no ensino de ciências, particularmente de Física. Os resultados de pesquisas indicam que a utilização de simulações computacionais de fenômenos da física aumenta efetivamente o interesse e a participação dos alunos nas aulas de Física, e em alguns casos, é possível identificar uma clara melhora na compreensão do conceito geral do objeto de estudo e conseqüentemente nos resultados obtidos em exames (GARRAO, 1992). Por outro lado, o grande número de publicações sobre a utilização de experimentos no ensino de Física, atesta a importância deste recurso didático em sala de aula (ARAÚJO; ABIB, 2003). Experimentos são importantes, pois permitem aos alunos associarem a matéria discutida com a Física do cotidiano.

Muitos trabalhos acadêmicos foram realizados sobre a inserção de FM no EM, especialmente sobre o efeito fotoelétrico. Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Rocha Filho et al. (2006) que apresenta o desenvolvimento e a caracterização de uma célula fotoelétrica e um sistema de excitação e de medições adequadas para uso didático em aulas de Física. Em outro trabalho, Cardoso e Dickman (2012) apresentam um produto educacional para o uso de simulações computacionais por meio de um roteiro, visando a assimilação de conceitos do efeito fotoelétrico com embasamento na teoria de aprendizagem significativa. Cavalcante et al. (2002) sugerem um roteiro de trabalho para o professor discutir a natureza dual da luz por

meio de simulação do efeito fotoelétrico, um experimento com diodos semicondutores, e um debate na sala de aula sobre o caráter ondulatório e corpuscular da luz.

Comparando as investigações apresentadas com a proposta deste trabalho, percebe-se que todos têm o mesmo objetivo, inserção de tópicos de FM no EM, a diferença está no fato de a nossa proposta envolver experimentos e simulação computacional enfatizando apenas o efeito fotoelétrico, com o intuito de facilitar a assimilação do conteúdo por parte dos alunos, a partir da manipulação dos vários parâmetros que caracterizam este fenômeno. Acredita-se que, desse modo, a participação ativa do aluno contribuirá para a assimilação de novos conceitos.

Metodologia

Nesta seção, apresenta-se a sequência de atividade proposta para o ensino do efeito fotoelétrico. Explicita-se a metodologia de elaboração de cada etapa do trabalho e seus objetivos. O referencial teórico-metodológico dessa pesquisa é a Testagem de Métodos, Materiais ou Programas, definido por Scarpa e Marandino (1999), em que é testada a eficácia de métodos de ensino, por meio de questionários pré- e pós-teste. A análise dos dados foi feita de acordo com a categorização das respostas em unidades como sugerido por Bogdan e Biklen (1994).

Escolha do conteúdo

Baseando-se em um conteúdo presente no currículo do Ensino Médio e também proposto pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, optou-se por trabalhar o efeito fotoelétrico, por ser um tópico da Física Moderna, e a base de funcionamento de vários equipamentos presentes no cotidiano.

Elaboração dos instrumentos de coleta de dados

Questionário pré-teste
1) Você já ouviu falar sobre o efeito fotoelétrico?
2) Se sim, onde?
3) O que é o efeito fotoelétrico?
Questionário pós-teste
1) O que é o efeito fotoelétrico?
2) Descreva o mais detalhadamente possível as características do efeito fotoelétrico. Explicitando a sua:
a) dependência com a frequência; b) dependência com a intensidade.

Quadro 1: Esquema dos questionários pré- e pós-teste. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência de atividades são aplicados dois questionários, o pré- e o pós-teste (Quadro 1). Os questionários têm o objetivo de verificar o nível de conhecimento dos alunos sobre o conteúdo abordado antes e após a aplicação da proposta de ensino. Espera-se que, desta maneira, seja possível identificar os aspectos positivos e negativos do roteiro.

Primeiramente pergunta-se ao aluno se ele conhece o efeito fotoelétrico, e em caso positivo, pede-se para este informar onde teve contato com o fenômeno, e explicá-lo. As questões do pós-teste são elaboradas levando-se em consideração a relação entre as grandezas físicas que

caracterizam o efeito fotoelétrico. Assim, questiona-se o que é o efeito fotoelétrico, e pede-se que o aluno explicita a sua dependência com a frequência e a intensidade da radiação eletromagnética.

Escolha do vídeo

Opta-se pelo Vídeo: A ideia do Quantum: Efeito fotoelétrico¹, por ter aproximadamente nove minutos de duração, e mostrar por meio de animações como ocorre o efeito fotoelétrico e discutir o comportamento dual da luz. Vale ressaltar também que o vídeo apresenta uma visão de que a ciência é um processo contínuo de construção de conhecimento.

Escolha do experimento

A escolha do experimento teve como prioridade a demonstração de uma das aplicações do efeito fotoelétrico. O experimento “Conversor Solar” consiste de uma placa fotovoltaica de silício que ao receber radiação eletromagnética de uma fonte de luz, gera uma corrente elétrica que faz girar um cooler de computador e acende um LED (Diodo Emissor de Luz).

Escolha da simulação computacional

A simulação computacional utilizada foi “Efeito Fotoelétrico” (Photoelectric Effect)², disponibilizada na plataforma PhET da Universidade do Colorado (EUA). Além de ser um *software* gratuito, e em português, é de fácil compreensão e atestado por sua qualidade.

Elaboração do roteiro

A sequência de atividades elaborada foi implementada por meio de um roteiro de aula, com atividades para explorar o fenômeno do efeito fotoelétrico. Foi estimado um tempo de aproximadamente uma hora e cinquenta minutos para execução do roteiro. A tabela 1 ilustra a divisão do roteiro em atividades e o tempo de aplicação planejado correspondente.

Teste do roteiro

Apresenta-se nesta seção a aplicação do roteiro. Vale mencionar que trata-se de um teste piloto, realizado para a identificação de possíveis falhas nas atividades programadas. A análise dos dados coletados, juntamente com dados observacionais, contribuirá para melhorar a sequência de atividades proposta.

População pesquisada

O terceiro ano do Ensino Médio é o foco desse trabalho, mas por uma questão de logística optou-se em trabalhar com alunos do primeiro e segundo períodos de Licenciatura de Física e Matemática. A maioria destes alunos concluiu o Ensino Médio recentemente e estão tendo o primeiro contato com a física básica no curso.

¹ Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=CEuMnMxD-vI>. Acesso em: 22 abr. 2015.

² Disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric. Acesso em: 22 abr. 2015.

Desta maneira, a sequência foi aplicada, a uma turma de 19 alunos do curso de Licenciatura de Física e Matemática, em um laboratório com 20 computadores. É importante destacar que um aluno do curso de Geografia, interessou-se pela atividade e participou do trabalho.

Etapas da aplicação

Inicialmente foi explicado aos alunos o objetivo do trabalho, e em seguida foi aplicado o questionário pré-teste. Os alunos responderam as questões em 15 minutos. Na sequência de atividades, foi apresentado o vídeo sobre o efeito fotoelétrico, que despertou a curiosidade dos alunos, surgindo as primeiras dúvidas. Em seguida, os alunos assistiram a uma apresentação de slides, em que foi abordado o espectro eletromagnético, e depois discutido o contexto histórico do efeito fotoelétrico. Nessa apresentação, os alunos fizeram muitos questionamentos sobre ondas eletromagnéticas, e até mesmo sobre o efeito Compton. Ao apresentar o experimento “Conversor Solar”, percebeu-se que foi nesta fase que os alunos conseguiram aliar o efeito fotoelétrico ao seu cotidiano, relacionando, assim a teoria à prática. Por último os alunos, um por computador, interagiram com a simulação computacional em que foram destacados os principais recursos do *software*. Nessa etapa, os alunos demonstraram muito entusiasmo. Todas as atividades foram desenvolvidas de acordo com o tempo estimado na tabela 1.

Recurso didático	Pré-Teste	Vídeo	Aula expositiva	Experimento	Simulação	Pós-Teste
Tempo estimado	15 minutos	10 minutos	30 minutos	20 minutos	20 minutos	15 minutos

Tabela 1: Detalhamento das atividades com o tempo estimado. Fonte: Elaborado pelo autor.

Após desenvolverem as atividades propostas, os alunos, perfazendo um total de 14, responderam ao pós-teste. Cinco alunos não puderam ficar até o final do trabalho, sendo que apenas dois deles esclareceram o motivo da saída. Um dos alunos presentes optou por não responder ao questionário.

Discussão dos resultados

Fazendo a apuração das respostas dos alunos ao pré-teste, constata-se que oito alunos (42%) nunca ouviram falar do efeito fotoelétrico. Dentre os 11 alunos que conheciam o fenômeno, a maioria, sete alunos (64%), ouviu falar sobre o efeito fotoelétrico no curso de Física, dois alunos (18%) no Ensino Médio, um aluno (9%) ouviu falar sobre o fenômeno em reportagens de cunho científico na internet, e um aluno (9%) não soube informar.

Analisando as respostas referentes ao conceito do efeito fotoelétrico, percebe-se que apenas um aluno (5%) conceituou o efeito fotoelétrico “*É a capacidade da luz incidente sobre uma placa metálica liberar elétrons*”, sendo classificada como CORRETA. As respostas de quatro alunos (21%) foram consideradas PARCIALMENTE CORRETA, pois apresentaram apenas um conhecimento parcial acerca do conteúdo abordado. Como exemplo destas respostas, três alunos relacionaram o efeito fotoelétrico à emissão de elétrons por luz, sem explicitar de forma clara os detalhes, e um aluno relacionou o efeito fotoelétrico à produção de energia elétrica. Um aluno demonstrou um equívoco ao associar o efeito fotoelétrico ao “*Movimento de elétrons de acordo com a mudança de cor...*”, e o outro aluno confundiu o efeito fotoelétrico com o tubo de raios catódicos, “*... uma quantidade de elétrons passando por um tubo...*”. Com base na definição de efeito fotoelétrico, pode-se classificar as respostas destes dois alunos (11%) como INCORRETA. Quatro alunos (21%) afirmaram que não sabem o que

é o efeito fotoelétrico, definindo a categoria NÃO SABE. Com base nos dados obtidos, pode-se destacar que uma significativa parte desses alunos, aproximadamente 42% nunca ouviram falar do efeito fotoelétrico. Do total de 52% que conheciam o fenômeno, apenas um aluno foi capaz de defini-lo corretamente.

Analisando as respostas dos 14 alunos referentes à definição do efeito fotoelétrico no pós-teste, foram consideradas como CORRETA, as respostas de quatro alunos (29%) que demonstraram um entendimento claro do conceito abordado, como pode ser visto na resposta, “*Quando uma luz incide sobre uma superfície metálica como o sódio, os elétrons ganham energia e saem da superfície metálica.*” Três alunos citaram uma aplicação do efeito fotoelétrico, mas não foram capazes de defini-lo, como em “*A produção de energia através da captação da luz*”; três alunos relacionaram o efeito fotoelétrico à liberação de elétrons, mas não mencionaram a dependência com a incidência de luz, “*Efeito fotoelétrico é a retirada de elétrons...*”. Assim, considera-se que estes seis alunos (43%) apresentaram um conhecimento parcial, sendo suas respostas classificadas como PARCIALMENTE CORRETA. Três alunos não conseguiram definir o efeito fotoelétrico, sendo que um aluno o relacionou à emissão de quantuns, “*É a emissão de Quantuns quando este é exposto a uma frequência de Luz...*”; e os outros dois alunos o relacionaram à absorção de elétrons, “*É a absorção de elétrons com a emissão de ondas eletromagnéticas*”. Estas respostas (21%) foram consideradas INCORRETA. Um aluno (7%) optou por não responder a pergunta, definindo a categoria BRANCO.

O que é o efeito fotoelétrico?					
	Correta	Parcialmente Correta	Incorreta	Não sabe	Branco
Antes (N=19)	5%	21%	11%	21%	42%
Após (N=14)	29%	43%	21%	0%	7%

Tabela 2: Comparação dos resultados obtidos no pré-teste e pós-teste. N é o número de alunos que responderam aos questionários. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela 2 comparam-se os resultados obtidos para a primeira pergunta do pré- e pós-teste. Percebe-se que houve um aumento significativo na porcentagem de respostas corretas e parcialmente corretas, indicando que a sequência de atividades contribuiu para o conhecimento dos alunos acerca do efeito fotoelétrico. O aumento registrado nas respostas incorretas deve ser levado em consideração juntamente com o aumento do número de alunos que tentaram responder à questão, refletindo uma maior participação destes.

A análise das respostas dos alunos em relação à dependência do efeito fotoelétrico com a frequência mostra que dois alunos caracterizaram satisfatoriamente esta dependência, “*...como há constante de Planck, a energia varia de acordo com a frequência*”; sendo que um aluno respondeu de forma mais simples, “*Interfere na velocidade dos elétrons*”. Entretanto, a maioria dos alunos (onze) não conseguiu explicitar essa relação. Um aluno confundiu frequência com intensidade da luz, e um aluno não respondeu a questão.

As respostas dos alunos em relação à dependência do efeito fotoelétrico com a intensidade da onda eletromagnética mostram que com respostas mais elaboradas, ou mais simples, a maioria dos alunos (oito) foi capaz de relacionar satisfatoriamente esta dependência dizendo que “*Quanto maior a intensidade, maior é a quantidade de elétrons passando de uma placa a outra*”. Dois alunos apresentaram um conhecimento parcial sobre a dependência, mencionando apenas que “*interfere na quantidade de elétrons*”, não explicando o que realmente ocorre. Outro apresenta uma resposta mais elaborada dizendo que “*Quanto maior a*

intensidade, mais fótons atingiram a placa, quanto mais fótons atingirem a placa, mais átomos serão afetados, fazendo com que o número de elétrons desprendidos aumente, porém eles mantêm-se com a mesma energia.”, mostrando que entende a relação com a intensidade, mas não condiz com a teoria aceita cientificamente ao dizer que “*mais átomos serão afetados*”. Três alunos não souberam responder corretamente essa pergunta, sendo que um aluno confundiu o efeito da intensidade com a frequência da luz: “*Aumenta a velocidade elétrons*”, outro aluno afirmou apenas que: “*Quanto maior a intensidade, maior a incidência de luz.*” Um aluno não respondeu a questão.

Considerações finais

Neste trabalho foi elaborada uma sequência de atividades para o ensino do efeito fotoelétrico a partir de vídeos, experimentos e simulações computacionais. Os resultados, com base nos dados coletados por meio de questionários, mostram que o nível de entendimento dos alunos em relação ao efeito fotoelétrico foi mais significativo após a participação na sequência de atividades. Isto pode ser comprovado pelas respostas dos alunos em que percebe-se que na maioria dos casos estas foram formuladas com suas próprias palavras, indicando uma apropriação dos conceitos.

Percebe-se que a aula despertou a curiosidade de muitos alunos que após o seu término, nos procurou com o intuito de aprofundar o conhecimento acerca do efeito fotoelétrico, para saber mais sobre a simulação, ou até mesmo para aprender a montar uma bateria solar para o seu telefone móvel.

Vale salientar que os alunos tiveram dificuldade em relacionar a dependência do efeito fotoelétrico com a frequência da luz, confundindo frequência com intensidade. Este fato é recorrente na literatura, Cardoso e Dickman (2012) e Steinberg et al. (1996). Percebe-se assim que o uso de vários recursos didáticos além da simulação, como é feito nos trabalhos mencionados, não foi o suficiente para sanar esta dificuldade. Assim, conclui-se que a utilização de simulações computacionais e experimentos, tornam as aulas mais interativas, permitindo um maior contato do discente com o conteúdo a ser abordado, facilitando o processo de ensino e aprendizagem, como discutido nos trabalhos de Cardoso e Dickman (2012), Rocha Filho (2006) e Pietrocola e Brockinton (2003).

Agradecimentos e apoios

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq/PIBIC-PUC Minas pelo apoio financeiro recebido.

Referências

- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p.176-194, 2003.
- BOGDAN, R.C., BIKLEN, S.K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Tradução de Alvarez, M.J., Santos, S.B., Baptista, T.M. Porto: Porto Editora Ltda, 1994.

BROCKINGTON, G; PIETROCOLA, M. O Ensino de Física Moderna Necessita ser real? In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 16, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: SBF, 2005.

CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: Uma ferramenta da aprendizagem para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Belo Horizonte, v. 29, n.2, p.891-934, 2012.

CAVALCANTE, M.A. et al. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v.3, n.1, p.24-29, 2002.

GARRAO, R.B. Aproximación a la física a través de métodos numéricos y simulación computacional. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n.2, p.143-146, 1992.

MESQUITA, D. S. M. **Matéria e radiação**: uma abordagem contextualizada ao ensino de física. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p.135-151, 2001.

PIETROCOLA, M.; OFUGI, C. D. R. Análise de artigos sobre ensino de relatividade restrita pela transposição didática. In: **Encontro de pesquisa em ensino de física**, 7., 2000, Florianópolis. **Atas...** São Paulo: SBF, p.1-13, 2000.

ROCHA FILHO, J. B.; SALAMI, M. A.; HILLEBRAND, V. Construção de uma célula fotoelétrica para fins didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28. n. 4, p.555-561, 2006.

SCARPA, D. L.; MARANDINO, M. Pesquisa em Ensino de Ciências: um estudo sobre as perspectivas metodológicas. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**, 2., 1999, Valinhos. **Atas...** São Paulo: ABRAPEC, p.1-15, 1999.

STEINBERG, R.N., OBEREM, G.E., McDERMOTT, M.C. Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect. **American Journal of Physics**, v.64, n.11, p.1370-1379, 1996.