

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

YUKYO PEREIRA TAKAHASHI

**INSERÇÃO DE UM TÓPICO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO
MÉDIO: DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

YUKYO PEREIRA TAKAHASHI

**INSERÇÃO DE UM TÓPICO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO
MÉDIO: DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Licenciatura em Física do Departamento Acadêmico de Física – DAFIS – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Arandi Ginane Bezerra Jr.

CURITIBA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: INSERÇÃO DE UM TÓPICO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO.

Autor: YUKYO PEREIRA TAKAHASHI

Orientador: ARANDI GINANE BEZERRA JUNIOR

Este trabalho foi apresentado às 15 horas, do dia 16 /07 /2015, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2), do curso de Licenciatura em Física, do Departamento Acadêmico de Física (DAFIS), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba. A comissão examinadora considerou o trabalho aprovado.

Comissão examinadora:

Prof. Arandi Ginane Bezerra Junior
(Presidente/Orientador)

Prof. Cristóvão Renato Moraes Rincoski
Avaliador 1

Prof. Jorge Alberto Lenz
Avaliador 2

Prof. Noemi Sutil
Professor Responsável pelas Atividades de
Trabalho de Conclusão de Curso/
Curso de Licenciatura em Física
(DAFIS/UTFPR)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do Curso de Licenciatura em Física

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Rubéns Takahashi e Nilza Aparecida Takahashi por estarem sempre ao meu lado.

À minha família por sempre me incentivar.

Ao meu orientador Arandi Ginane Bezerra Jr pela paciência e por fazer com que este trabalho fosse concluído.

Ao professor Cristóvão Renato Morais Rincoski por sua colaboração e contribuição a este trabalho.

Ao professor Jorge Alberto Lenz pelas correções e contribuições a este trabalho.

RESUMO

TAKAHASHI, Yukyo Pereira. Inserção de um Tópico de Física Moderna no Ensino Médio: Desenvolvimento de uma Sequência Didática sobre o Efeito Fotoelétrico. 2015. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Este trabalho descreve a elaboração e aplicação em sala de aula de uma Sequência Didática para o ensino do Efeito Fotoelétrico. A Sequência Didática foi elaborada tendo em vista o contexto educacional em que se faz importante a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Foram utilizados vídeos, *slides*, quadro negro e um objeto educacional (*applet*) numa sequência de três aulas ministradas para uma turma regular do curso técnico de Segurança do Trabalho do oitavo semestre do Ensino Médio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba. Os efeitos da Sequência Didática foram avaliados pela comparação das respostas dadas a Instrumentos de Avaliação pré-teste e pós-teste. A partir da análise destas respostas, conclui-se que, após a aplicação da Sequência Didática, houve um aumento significativo no número de estudantes que passou a conhecer o efeito e a descrevê-lo corretamente, tendo em vista a terminologia e explicações físicas conceitualmente corretas. Além disso, os estudantes também foram capazes, após a realização da Sequência Didática, de fornecer exemplos de aplicação, indicando sua capacidade de contextualização do fenômeno.

Palavras-chaves: Ensino de Física Moderna e Contemporânea. Sequência Didática. Efeito Fotoelétrico.

ABSTRACT

TAKAHASHI, Yukyo Pereira. Inclusion of a Modern and Contemporary Physics Topic at High School: Developing a Didactic Sequence on the Photoelectric Effect. 2015. 75 f. Term paper (Physics Education Degree) – Physics Department, Federal University of Technology, Paraná. Curitiba, 2015.

This work describes the design and classroom implementation of a Didactic Sequence for the teaching of the Photoelectric Effect. The Teaching Sequence has been developed taking into account the educational context in which the inclusion of Modern and Contemporary Physics is an important subject at the High School level. The Didactic Sequence comprises videos, slides, blackboard-based explanations and the use of an applet. It was applied during three classes that were taught for a regular high school classroom at the Federal University of Technology, Paraná, in Curitiba. The effects of the Didactic Sequence were evaluated by comparing the responses to pre-test and post-test assessment tools. From this analysis, there is evidence that, after application of the Didactic Sequence, there was a significant increase in the number of students who came to know the Photoelectric Effect and were able to describe it correctly, including the use of right terminology and correct physical explanations. In addition, the students were also able to describe several applications in which the effect is employed, indicating contextualization capacity as a result of the Didactic Sequence application.

Keywords: Modern and Contemporary Physics Teaching. Didactic Sequence. Photoelectric Effect.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática do experimento do Efeito Fotoelétrico.....	20
Figura 2: Gráfico da Corrente Fotoelétrica X Intensidade luminosa.....	21
Figura 3: Energia dos Fotoelétrons X Frequência de radiação.....	22
Figura 4: Corrente fotoelétrica em função da tensão da bateria, para duas intensidades luminosas (I) incidentes ($I_a > I_b$).....	23
Figura 5: Tela com a visão geral do <i>applet</i> sobre o Efeito Fotoelétrico.....	26
Figura 6: Corrente X Potencial da Bateria.....	28
Figura 7: Corrente X Intensidade da luz.....	29
Figura 8: Energia dos fotoelétrons X Frequência da luz.....	29
Figura 9: Experimento simples do Efeito Fotoelétrico.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Pré-teste: O que é o Efeito Fotoelétrico.....	34
Gráfico 2: Pós-teste: O que é o Efeito Fotoelétrico.....	35
Gráfico 3: Pré-teste: Sabe a explicação do Efeito Fotoelétrico.....	36
Gráfico 4: Pós-teste: Sabe a explicação do Efeito Fotoelétrico.....	37
Gráfico 5: Pré-teste: Descreva previamente.....	38
Gráfico 6: Pós-teste: Descreva previamente.....	39
Gráfico 7: Pré-teste: Você conhece aplicações ou implicações do Efeito Fotoelétrico.....	40
Gráfico 8: Pós-teste: Citações de aplicações e implicação do Efeito Fotoelétrico.....	41
Gráfico 9: Pós-teste: Você conhece aplicações e implicações do Efeito Fotoelétrico.....	41
Gráfico 10: Pós-teste: Citações de aplicações e implicações do Efeito Fotoelétrico.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos artigos.....	18
Quadro 2: Agrupamento das respostas em categorias.....	42

LISTA DE SIGLAS

EF – Efeito Fotoelétrico.

EM – Ensino Médio.

EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade.

FMC – Física Moderna e Contemporânea.

OA – Objeto de Aprendizagem.

PhET – Physics Education Technology.

PIBID – Programa Institucional de Bolsa de Iniciação a Docência.

SEI – Sequência de Ensino Investigativo.

SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física.

SPED – Simple Photoelectric Effect Demo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO.....	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 JUSTIFICATIVA.....	14
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4.1 TEORIA DO EFEITO FOTOELÉTRICO.....	19
5 METODOLOGIA.....	25
5.1 PRIMEIRO MOMENTO: USO DO <i>APPLET</i> INTRODUÇÃO AO TEMA.....	27
5.2 SEGUNDO MOMENTO: INVESTIGAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO COM O USO DO <i>APPLET</i> E UM VÍDEO.....	30
5.3 TERCEIRO MOMENTO: POSTULADOS DE ALBERT EINSTEIN E AS APLICAÇÕES E IMPLICAÇÕES DO EFEITO FOTOELÉTRICO COM O USO DE UM VÍDEO.....	31
6 COLETA DE DADOS.....	33
7 RESULTADOS E ANÁLISE.....	34
8 CONCLUSÃO.....	44
9 REFERÊNCIAS.....	46
APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO PRÉ-TESTE.....	52
APÊNDICE B – MATERIAL DE APOIO.....	53

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço científico e tecnológico tem transformando a sociedade, e cada vez mais os jovens estão voltados para as novas tecnologias ligadas à ciência. Porém, é preocupante como a ementa curricular do Ensino Médio (EM) está desatualizada e descontextualizada em relação à realidade dos alunos, causando uma lacuna na prática pedagógica (GRIEBELER, 2012 e REZENDE JR e CRUZ, 2009).

Diversos trabalhos (MACHADO e NARDI, 2007; MOREIRA, 2007; OSTERMANN e MOREIRA, 2000; REZENDE JR e RICARDO, 2003; GRECA e MOREIRA, 2001; CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001) apontam e defendem a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, destacando: atualização do currículo para o entendimento da tecnologia; contemporaneidade do conhecimento; entendimento da ciência como construção humana; despertar curiosidade dos alunos; atrair os jovens para a carreira científica; e construção de uma imagem científica sobre a natureza (SILVA e ALMEIDA, 2011). Dentre estes, para efeito deste trabalho, destaca-se Rezende Jr e Ricardo (2003), que aponta para a produção de materiais didáticos abordando a Física Moderna e Contemporânea para auxílio e apoio às aulas de professores do Ensino Médio.

Temas recorrentes de Física Moderna e Contemporânea estampam jornais e revistas e estão presentes em programas de televisão e na internet, trazendo assuntos que despertam a curiosidade dos estudantes do Ensino Médio. Alguns exemplos de notícias são: “Nanopartículas de ferro podem fazer nossos cérebros serem programados por computador” (GARCIA, 2015); “Japão vai atrasar retirada de combustível nuclear da usina de Fukushima” (HAMADA, 2015). Além destes, muitos outros exemplos envolvendo Física Moderna e Contemporânea têm atraído o olhar da sociedade para o tema. Neste sentido, são apresentados princípios físicos indispensáveis para o entendimento de diversas tecnologias, tais como, computadores, *notebooks*, celulares, *smartphones*, microscópios eletrônicos, microscópios de tunelamento etc. Alguns desses elementos estão presentes nas escolas e no cotidiano dos alunos.

Além disso, a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no currículo do ensino básico é também fundamental para o aluno desenvolver argumentos críticos sobre temas dessa natureza e ter um posicionamento perante as informações de internet e TV que chegam até ele e que podem ser importantes para sua vida.

Nessa perspectiva, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo desenvolver uma Sequência Didática relacionada ao tema Efeito Fotoelétrico (EF), para alunos do curso técnico de Segurança do Trabalho do Ensino Médio da UTFPR, câmpus Curitiba.

A Sequência Didática foi elaborada a partir de elementos da literatura da área de Ensino de Física e em seu desenvolvimento foram utilizados objetos educacionais como o simulador (*applet*) do Efeito Fotoelétrico do PhET, da Universidade do Colorado e também vídeos sobre o experimento do Efeito Fotoelétrico, incluindo material produzido no âmbito do curso de Licenciatura em Física da UTFPR.

A Sequência Didática foi dividida em três momentos: o primeiro momento trata da introdução ao tema, com o uso do *applet*; o segundo momento refere-se ao uso aprofundado do *applet* para a investigação do Efeito Fotoelétrico, tendo em vista analisar como a corrente fotoelétrica depende dos parâmetros de intensidade, frequência de radiação, material que constitui o catodo e tensão da bateria. Além disso, o segundo momento também compreende um vídeo, no qual é investigado o descarregamento de um eletroscópio caseiro quando da incidência de luz ultravioleta; por fim, o terceiro momento consiste na apresentação dos Postulados de Albert Einstein sobre o efeito e em aplicações e implicações do Efeito Fotoelétrico, mediadas pelo uso de um segundo vídeo, conforme é apresentado no desenvolvimento deste trabalho.

2 OBJETIVO

- Elaborar, aplicar e avaliar efeitos de uma Sequência Didática relacionada ao Tópico Efeito Fotoelétrico, para alunos do Ensino Médio.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver a Sequência Didática em uma turma do curso técnico em Segurança do Trabalho do Ensino Médio da UTFPR.
- Disponibilizar material de apoio relacionado ao Tópico Efeito Fotoelétrico para alunos e professores do Ensino Médio.
- Elaborar e aplicar Instrumentos de Avaliação pré-teste e pós-teste para avaliação da aprendizagem.

3 JUSTIFICATIVA

O interesse em trabalhar com o Efeito Fotoelétrico utilizando-se de simulação e vídeos de experimentação deve-se às aulas de Fundamentos da Teoria da Relatividade e da Física Quântica, cursadas nesta graduação, as quais me entusiasmaram. Além disso, durante a graduação, desenvolvi projetos e atividades de experimentação como Bolsista do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação a Docência (PIBID) por quatro anos, projeto que mobilizou minha atenção para desenvolver atividades que despertassem o interesse dos estudantes.

Partindo do pressuposto que o estudo da Física Moderna e Contemporânea possibilita o entendimento do mundo atual criado pelo homem (TERRAZZAN, 1992), então, o conhecimento da Física “deixa de constituir um objetivo em si mesmo, mas passa a ser compreendido como um instrumento para a compreensão do mundo”. (PCN+, 2001).

A partir dos argumentos anteriores, entende-se que o desenvolvimento de uma Sequência Didática pode contribuir para incrementar as propostas de ensino de conceitos de FMC para alunos e professores do Ensino Médio, num contexto em que é fundamental haver mais e novas propostas (SILVA e ASSIS, 2012; REZENDE JR e CRUZ, 2003; OSTERMANN e MOREIRA, 2001).

Neste contexto, a inspiração do trabalho foi elaborar e investigar quais seriam as possíveis contribuições de uma Sequência Didática relacionada ao tópico Efeito Fotoelétrico na aprendizagem de alunos do Curso Técnico em Segurança do Trabalho do oitavo semestre do Ensino Médio da UTFPR.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Ostermann e Moreira (2001) bem como Lobato e Greca (2005) ressaltam que há uma tendência tanto nacional quanto internacional de reformulação dos currículos de Física. Terrazzan (1992), por sua vez, resalta que a Física (do currículo) do Ensino Médio, muitas vezes, remete-se ao período de 1600 a 1850. Assim, os currículos desatualizados necessitam de reformas. Porém, esse processo de reformulação curricular está apenas iniciando e seriam necessárias ainda muitas pesquisas para melhor compreensão dessa problemática (STEFANEL, 1998, citado por, OSTERMANN e MOREIRA, 2001, p.136).

Destaca-se uma revisão de literatura realizada por Pereira e Ostermann (2009), que consultaram artigos das principais revistas de Ensino de Física e de Ciências do Brasil e do exterior, foram identificados 102 artigos, os quais foram categorizados pelos autores em 4 grupos: I) propostas testadas em sala de aula que apresentam resultados de aprendizagem; II) levantamento de concepções acerca de tópicos de FMC; III) bibliografia de consulta para professores; IV) análise de publicações relacionadas ao ensino de FMC. Na sequência, são descritas brevemente estas categorias.

A primeira categoria trata de trabalhos que visam à “implementação de novas estratégias didáticas” que procuram “promover nos estudantes um melhor entendimento de temas contemporâneos” (PEREIRA e OSTERMANN, 2009, p.394). Foram identificados 23 trabalhos que, de alguma forma, visam à implementação de novas estratégias didáticas.

A segunda categoria buscou trabalhos relativos a levantamentos de concepções, sejam de alunos ou de professores sobre tópicos específicos de FMC. Foram identificados 16 trabalhos, que tratam a identificação de “concepções, atitudes, ideias prévias, modelos mentais, invariantes operatórios ou do perfil conceitual de professores e alunos acerca de tópicos de FMC” (PEREIRA, 2008, p. 16).

A terceira categoria refere-se a bibliografia de consulta para professores do Ensino Médio e superior. Foram identificados 52 trabalhos, relacionados a consulta bibliográfica, sendo 2 trabalhos já citados na primeira categoria.

A última e quarta categoria trata de trabalhos relativos a análise curricular, análise de livros didáticos e revisão de literatura. Foram 3 trabalhos relativos a análise curricular, 2 trabalhos de análise de livros didáticos e 1 trabalho de revisão de literatura.

Na conclusão deste trabalho, os autores apontam um aumento relativo de publicações sobre o ensino de FMC que apresentam resultados de pesquisa, mas comentam que a maioria

dos artigos ainda se refere a bibliografia de consulta aos professores. Os autores também notam ser necessária uma avaliação crítica para verificar em que medida os materiais realmente facilitam os processos de ensino-aprendizagem. Além disso, pontuam que é necessário investigar os processos conduzidos em sala de aula que estruturam e condicionam a aprendizagem.

Ainda que se considere a importância das observações anteriores, no que diz respeito ao presente trabalho, é importante retomar um estudo anterior de Ostermann e Moreira (2001), tendo em vista a atualização do currículo de Física na escola de nível médio e a inserção de tópicos de FMC. Nele, os autores afirmam que: é necessário investir em materiais didáticos para apoio de professores e alunos; é preciso formar professores críticos em relação ao currículo de Física com ferramentas que possibilitem encarar a atualização curricular para que esta seja, de fato, inserida no Ensino Médio; é possível ensinar Física Contemporânea no Ensino Médio, desde que se aborde o conteúdo de forma qualitativa visando o ensino tanto de atitudes quanto de conceitos. Esses resultados apontam para a real possibilidade de se inserir Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. No entanto, é de fundamental importância preparar adequadamente os futuros professores para essa tarefa de inovação curricular complexa, caso o objetivo seja realmente implementá-la nas escolas.

Tendo em vista as observações anteriores, para dar suporte à elaboração da Sequência Didática deste TCC, optou-se por desenvolver um estudo considerando pressupostos de pesquisa tipo estado da arte sobre o tema Efeito Fotoelétrico. Para isso, foi considerada a produção acadêmica brasileira presente nos eventos Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) no período de 2003 a 2013. Nesta pesquisa de estado da arte foram identificados 21 trabalhos que foram divididos em 4 categorias: 1- propostas didáticas testadas em sala de aula; 2- avaliação de concepções; 3- análise curricular; e 4- bibliografia de consulta para professores.

O Quadro 1 apresenta, de maneira esquemática os resultados desta pesquisa de estado da arte, incluindo todas as categorias de análise empregadas. Note-se que alguns trabalhos podem se enquadrar em mais de uma categoria.

Nº	Autor	Descrição	Ano	Categoria
1	Lopes, Elcio De Souza.	Utiliza uma sequência de ensino investigativo (SEI) para promover a alfabetização científica, no âmbito da FMC, por meio da utilização de experimentos, leitura de textos e de vídeos históricos em sala de aula.	2013	Propostas didáticas testadas em sala de aula
2	Cappelletto, Eliane; Moreira, Marco Antonio.	Apresentam resultados preliminares de uma investigação que procura estimular uma integração entre teoria e experimentação envolvendo conceitos fundamentais de Física Moderna e situações exemplares ocorridas em aulas de FMC.	2012	Propostas didáticas testadas em sala de aula
3	Barrelo Junior, Nelson; Carvalho, Anna Maria Pessoa de.	Procuram identificar como o processo de discurso dos alunos se desenvolve durante uma Sequência Didática sobre o conceito de fóton.	2010	Propostas didáticas testadas em sala de aula
4	Pereira, Salomão J; Zara, Reginaldo A.	Relata uma experiência de discussão sobre o conteúdo quantização da energia em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio.	2011	Propostas didáticas testadas em sala de aula
5	Siqueira, Maxwell; Pietrocola, Maurício; Ueta, Nobuko	Desenvolve atividades sobre raios x, a partir de uma analogia das radiografias com papel fotográfico.	2007	Propostas didáticas testadas em sala de aula
6	Valente, Ligia; Barcellos, Marcília Elis; Salem, Sonia; Kawamura, M ^a . Regina D.	Elaboram uma proposta didática baseada na expressão $E=m.c^2$ para formação inicial de professores, mas que pode ser utilizada em nível médio caso haja adaptações com respeito à extensão e à profundidade do assunto.	2006	Propostas didáticas testadas em sala de aula
7	Schuck, Aline Fernanda; Serrano, Agostinho.	Procuram investigar de forma interpretativa as concepções dos alunos durante o uso de um experimento virtual sobre fenômenos quânticos.	2004	Propostas didáticas testadas em sala de aula
8	Melchior, Sandra C. Licerio; Pacca, Jesuína L. de Almeida.	Avaliação das concepções alternativas dos alunos do Ensino Médio a respeito da cor (espectro visível).	2004	Avaliação de concepções
9	Oliveira, Fábio F. de; Vianna, Deise M.	Realiza uma revisão literária do ensino de FMC. Apresenta uma proposta de atualização curricular com um olhar sobre a formação de licenciandos com enfoque CTS.	2006	Avaliação de concepções
10	Sorpreso, Thirza P; Babichak, Cézár C; Almeida, M ^a José P. M. de.	Inserção da FMC com enfoque na formação inicial de professores. Com uma análise do imaginário dos licenciandos sobre Física Quântica e Física Nuclear.	2010	Avaliação de concepções
11	Sanches, Mônica B; Neves, Marcos C. D.	Opiniões de professores e alunos sobre a introdução de FMC no EM. Procurando investigar as deficiências e dificuldades para ensinar Física Nuclear e Física Quântica	2010	Avaliação de concepções

12	Oliveira, José M. de L; Almeida, M ^a José P. M. de.	Quais são as preferências de conteúdos a serem ensinados no EM sobre FMC.	2012	Avaliação de concepções
13	Lawall, Ivani T; Zanellal, Adriana; Baumer, Ana L.	Inovação curricular e mudanças na prática docente. Concepções dos professores a respeito de inovação curricular.	2012	Avaliação de concepções
14	Luz, Wagner M. da; Higa, Ivanilda.	Revisão bibliográfica de trabalhos apresentados ao EPEF, associados a propostas de ensino, atividades e sequências didáticas que tenham sido desenvolvidas em sala de aula e que abordam o ensino de tópicos de FMC no Ensino Médio.	2013	Análise curricular/ Propostas didáticas testadas em sala de aula
15	Monteiro, M ^a Amélia; Nardi, Roberto.	Análise de discurso inerente à natureza da ciência em seis livros didáticos sobre conteúdos de FMC. Os livros parecem não estarem em sintonia com as políticas públicas e com a pesquisa em ensino.	2008	Análise curricular
16	Brockington, Guilherme; Pietrocola, Maurício.	Discussão acerca da inserção de FMC no Ensino Médio.	2005	Análise curricular
17	Pagliarini, Cassiano R; Pereira, Aldo G; Almeida, M ^a José P. M. de.	O que os livros trazem sobre o Efeito Fotoelétrico.	2012	Análise curricular
18	Lutz, Lolita; Barcellos, Marcília; Guerra, Andreia.	Comparação dos currículos escolares antigos com os novos a respeito da forma com que se apresenta a Física Moderna e Contemporânea. Trata-se de uma pesquisa documental.	2012	Análise curricular
19	Morais Neto, Apino F. de.	Apresenta as diferentes interpretações da Mecânica Quântica não relativística com uma abordagem sistêmica em contraste com a ortodoxia de Copenhague de modo a mostrar as diferentes interpretações do que é uma teoria científica.	2007	Bibliografia de consulta para professores.
20	Vertchenko. Lev; Werkhaizer, Fernando E.	Apresenta e comenta um roteiro de exploração sobre os fundamentos da Mecânica Quântica, com foco na perspectiva histórica, no formalismo e na notação de Dirac. Inclui: matriz hamiltoniana em sistemas de dois níveis e o papel do observador na Mecânica Quântica. Voltado para estudantes do mestrado.	2007	Avaliação de concepções / Propostas didáticas testadas em sala de aula
21	Vasconcelos, Francisco H. L; Sales, Gilvandenys L; Melo, Bergson R. S. de; Silva, Verônica M ^a . L; Filho, José A. C. Pequeno, Mauro C.	Descreve uma aplicação do uso do Objeto de Aprendizagem (OA) conhecido como Pato Quântico, por meio de atividade de modelagem exploratória, para o cálculo da constante de Planck.	2007	Avaliação de concepções / Propostas didáticas testadas em sala de aula

Quadro 1: Descrição dos artigos.

Fonte: Autor.

A pesquisa de estado da arte apresentada não esgota a literatura sobre a necessidade e viabilidade da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Contudo, a leitura e análise dos trabalhos destacados no Quadro 1 permite afirmar que não há uma única maneira de se inserir a FMC no Ensino Médio. De fato, existem diversas propostas de como fazê-lo, porém, alertamos para que a inserção dos tópicos não seja superficial, tendo apenas um caráter informativo. Ao mesmo tempo, tais propostas deveriam fugir de uma mera aplicabilidade matemática baseada somente em resoluções mecânicas de exercícios, ou seja, na substituição direta de valores na “fórmula” para se obter apenas um valor numérico como resultado. Assim, defendemos a necessidade do desenvolvimento de materiais didáticos com potencial de serem testados em sala de aula, tendo como foco tanto professores quanto alunos. E que estes materiais contemplem os elementos qualitativo e matemático da FMC, bem como aspectos experimentais. Neste sentido, torna-se importante o uso das tecnologias educacionais:

“É preciso também preparar novos materiais sobre outros tópicos de FMC, tanto para o professor como para o aluno. O uso de novas tecnologias parece ser muito apropriado para a abordagem de tópicos de FMC, quer pela sua pequena tradição didática, ou, por exemplo, pela possibilidade de simular experimentos difíceis de serem realizados em laboratório.” (OSTERMANN e MOREIRA, 2001, p. 146).

Portanto, amparado nestas considerações, o desenvolvimento de uma Sequência Didática sobre o Efeito Fotoelétrico visa contribuir para incrementar as propostas de ensino de FMC para alunos do Ensino Médio, conjugando uma abordagem qualitativa e quantitativa do seu ensino.

4.1 TEORIA DO EFEITO FOTOELÉTRICO

O primeiro a observar o Efeito Fotoelétrico foi Heinrich Hertz, entre 1886 e 1887, em seus experimentos que investigavam a existência e produção das ondas eletromagnéticas descritas pelas equações de Maxwell (EISBERG e RESNICK, 1979; THORNTON e REX, 2013).

Hertz, em seus experimentos pioneiros de geração de ondas eletromagnéticas, constatou que a interação da luz com as placas metálicas do experimento facilitava as descargas elétricas.

Em 1888, um aluno de Hertz, Wilhelm Hallwachs, realizou experiências com uma placa de zinco carregada e isolada, a qual, iluminada com luz ultravioleta, emitia faíscas,

passando a carregar-se positivamente.

Foi Philipp Eduard Lenard, seguindo os experimentos de Hallwachs, quem apontou de maneira mais sistemática as falhas da Física Clássica em explicar os resultados experimentais encontrados no experimento. Lenard usou um equipamento semelhante ao da Figura 1 para investigar os efeitos da corrente elétrica gerada quando incide radiação no catodo.

De fato, um experimento como o ilustrado na Figura 1 é comumente usado para estudar o Efeito Fotoelétrico. Um invólucro de vidro envolve a placa emissora e a placa coletora. O sistema é mantido sob vácuo. Luz monocromática colimada por uma lente incide na placa emissora. Isto faz com que ocorra uma corrente no circuito, a qual é medida pelo amperímetro. Esta corrente gerada é devida à emissão de elétrons da placa emissora para a placa coletora quando a primeira é exposta à radiação. Este efeito é conhecido como Efeito Fotoelétrico.

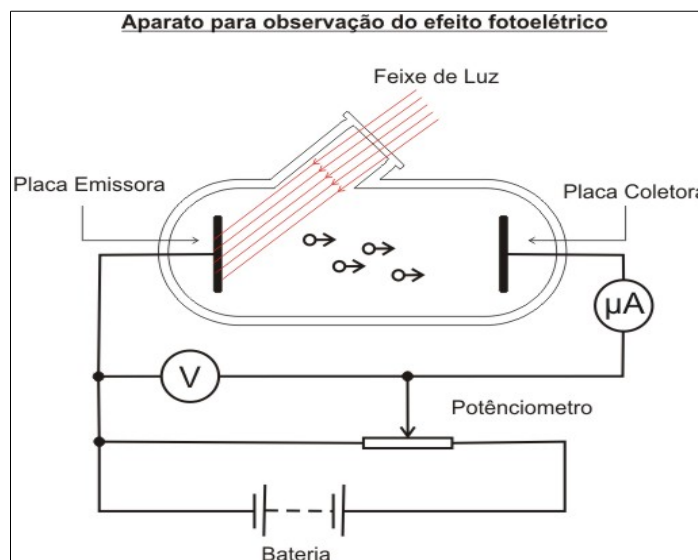


Figura 1: Representação esquemática do experimento do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Comportamento_dual_da_radiao%C3%A7%C3%A3o_eletromagn%C3%A9tica#/media/File:EfeitoFotoelétrico_-_Thiago_-_UNIFEI.jpg

O circuito possui uma tensão (ou diferença de potencial) variável que é gerada pela bateria e os polos dos terminais podem ser invertidos de modo a produzir um potencial que desfavorece o movimento dos elétrons na direção da placa coletora.

A radiação incidente, por sua vez, é caracterizada por dois parâmetros: a frequência e a intensidade. O estudo do Efeito Fotoelétrico busca compreender como os parâmetros de cor (frequência) e brilho (intensidade) geram a corrente no circuito.

A primeira observação de Lenard foi que a corrente gerada, ou corrente fotoelétrica, é proporcional à intensidade da radiação incidente, ou seja, quanto maior a intensidade maior é a corrente fotoelétrica. Tal comportamento é representado no gráfico da Figura 2.

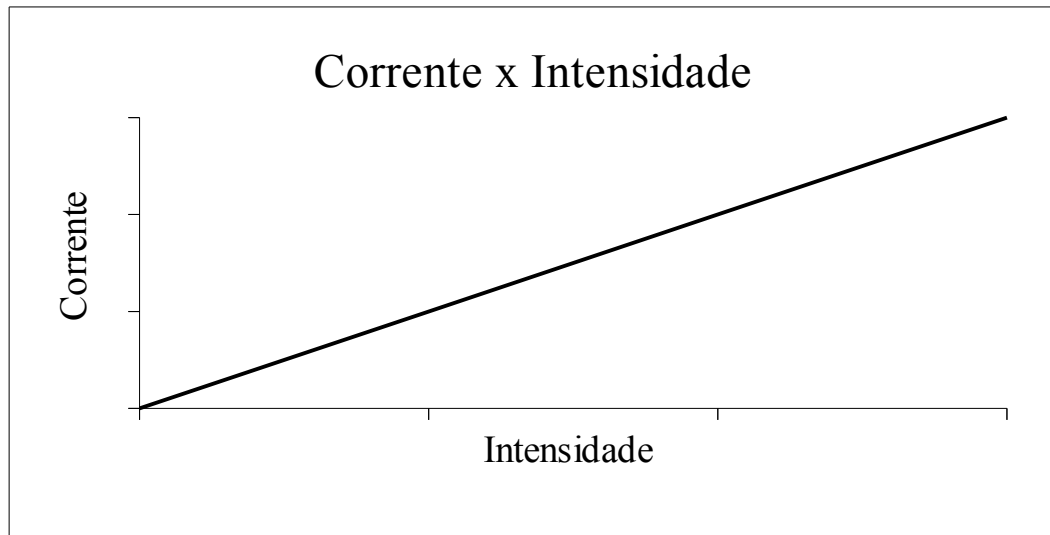


Figura 2: Gráfico da Corrente Fotoelétrica X Intensidade luminosa

Fonte: Autor

Este efeito deveria ser facilmente explicado pela Física Clássica, pois é de se supor que quanto mais radiação incidir maior será a corrente produzida.

Outro resultado importante é o surgimento instantâneo da corrente fotoelétrica, registrada no amperímetro, quando incide radiação. Este resultado independe da intensidade luminosa incidente. Mesmo que a intensidade seja muito baixa, o surgimento da corrente será instantâneo. Este resultado está em desacordo com a Física Clássica, pois, segundo esta, deveria existir um tempo para a absorção de energia luminosa pelos elétrons, energia esta que estaria distribuída pela frente de onda e seria proporcional ao quadrado do campo elétrico, segundo a teoria eletromagnética de Maxwell. Desta forma, quando a intensidade luminosa fosse muito baixa, deveria haver um atraso considerável entre a luz incidente e o início da corrente fotoelétrica.

Há ainda mais um resultado experimental que está em desacordo com a teoria clássica. Trata-se da emissão dos elétrons só aparecer para certas frequências da luz incidente. Abaixo de uma frequência de limiar, a emissão simplesmente não ocorre, efeito que está representado no gráfico da Figura 3.

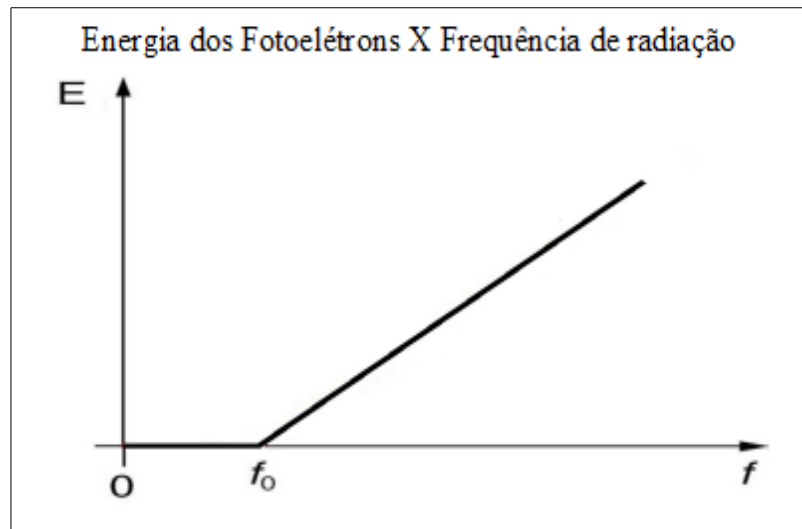


Figura 3: Energia dos Fotoelétrons X Frequência de radiação

Fonte: Autor.

A curva da Figura 4, por sua vez, representa um gráfico da corrente fotoelétrica gerada por elétrons provenientes da placa emissora em função da diferença de potencial V .

Quando o potencial é positivo, no interior do tubo de vidro existe um campo elétrico que atrai os elétrons no sentido da placa coletora. Os elétrons ejetados chegam a esta placa, fazendo com que a corrente fotoelétrica atinja um valor limite.

Note-se no gráfico da Figura 4 que quando o potencial é invertido a corrente não cai imediatamente a zero, ou seja, há elétrons chegando na placa coletora apesar do campo elétrico opor-se ao seu movimento, sugerindo que os elétrons emitidos da placa emissora saem com alguma energia cinética. Isto ocorre até que um potencial suficientemente alto impeça os fotoelétrons de chegarem na placa coletora. Então, a energia cinética máxima deste elétron é a diferença de potencial V_0 multiplicada pela carga do elétron:

$$K_{m\acute{a}x} = e \cdot V_0$$

A energia cinética máxima do fotoelétron, segundo a teoria da Física Clássica, depende da intensidade da radiação, então, se a intensidade da radiação for dobrada, a energia cinética máxima do elétron também dobra, logo, a diferença de potencial deveria ser maior. Experimentalmente, não é este o resultado, como o gráfico da Figura 4 apresenta.

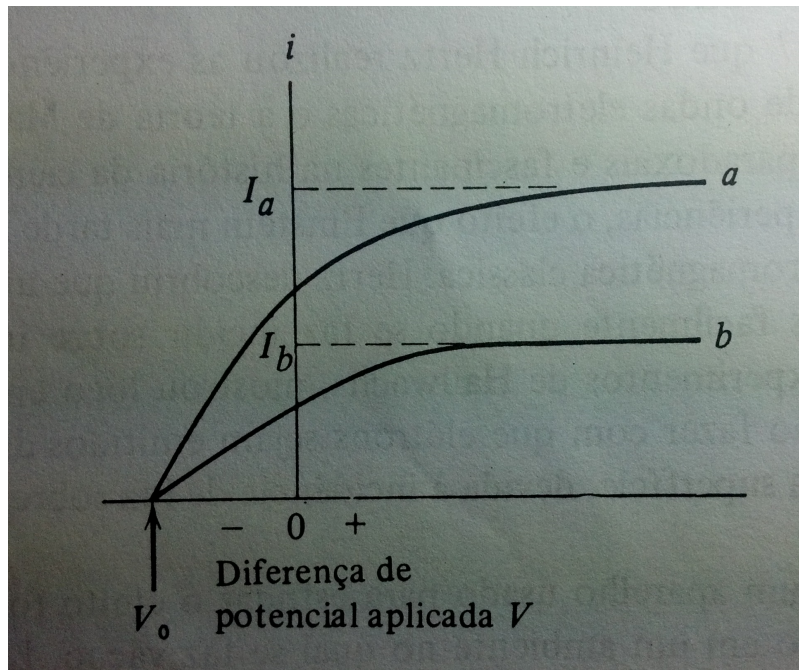


Figura 4: Corrente fotoelétrica em função da tensão da bateria, para duas intensidades luminosas (I) incidentes ($I_a > I_b$).

Fonte: Eisberg e Resnick, 1979.

O gráfico da Figura 4 apresenta a corrente fotoelétrica em função da variação de potencial. Note que a diferença de potencial é a mesma para as duas intensidades luminosas I_a e I_b , com $I_a > I_b$ (não confundir com a grandeza I - em itálico - que se refere à corrente elétrica). Existe uma energia mínima para que haja um fotoelétron, essa energia mínima chama-se função trabalho e ela depende da matéria que constitui a placa metálica. De fato, este resultado também é impossível de ser explicado pela Física Clássica. Mas estava por vir um jovem rapaz chamado Albert Einstein.

O trabalho de Einstein foi fundamental para compreender o Efeito Fotoelétrico e o posterior surgimento da Física Quântica.

Max Planck em 1900, estudara a radiação do corpo negro (radiação térmica emitida quando o corpo é aquecido) e as previsões teóricas da Física da época não coincidiam com os resultados experimentais. As teorias clássicas conseguiam descrever apenas uma parte do experimento, para baixas frequências, mas falhavam fragorosamente para altas frequências, dando origem ao que se costuma denominar “catástrofe do ultravioleta” (Eisberg e Resnick, 1979). Planck, para resolver o problema, propôs que, na interação da radiação com a matéria, a energia é trocada de modo quantizado, por meio de pacotes com energia $h \cdot f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência de radiação.

Einstein, em 1905, conhecendo o postulado de Planck, propôs que não só na interação da radiação com a matéria a energia é quantizada, mas que a própria radiação é quantizada. Ainda propôs que a interação acontece em pares, ou seja, um quantum de luz interage apenas com um elétron, transferindo a ele toda sua energia.

Assim, segundo a hipótese de Einstein, não deveria existir um tempo de retardo na emissão do fotoelétron, pois bastaria que um fóton com energia suficiente encontrasse um elétron, tornando a emissão instantânea.

Ainda segundo Einstein, a energia dos pacotes de luz depende da frequência de radiação. Assim, a existência de uma frequência de corte para cada metal também não seria mais um problema, pois, se existe uma energia mínima para que ocorra o Efeito Fotoelétrico, esta deve ser uma característica do metal. Portanto, pode-se escrever que:

$$\Phi = h \cdot f_0 \quad .$$

Desta forma, a existência de um potencial de corte com mesmo valor absoluto para duas intensidades distintas (Figura 4) não é mais problema, pois a energia cinética máxima do fotoelétron será a energia que recebe do fóton menos uma energia mínima que prende o elétron ao metal, ou seja,

$$K_{máx} = E - \Phi$$

com a formulação de Einstein $\Phi = h \cdot f_0$ e $E = h \cdot f$. Assim, por meio de experimentos do Efeito Fotoelétrico tornou-se possível a determinação da constante de Planck, em acordo com os valores medidos em experimentos referentes à radiação de corpo negro (THORNTON e REX, 2013).

5 METODOLOGIA

O trabalho consistiu na elaboração da Sequência Didática, tendo em vista a pesquisa de estado da arte sobre inserção de tópicos de FMC no Ensino Médio e os estudos realizados sobre o tema Efeito Fotoelétrico. Além disso, também houve a intervenção em sala de aula, que foi dividida em três momentos. Primeiro momento: introdução ao tema com o uso do *applet* sobre Efeito Fotoelétrico do PhET (PhET, 2015); Segundo momento: investigação do Efeito Fotoelétrico; Terceiro momento: postulados de Einstein e as Aplicações e Implicações do efeito. Cada momento será mais bem descrito nos parágrafos posteriores.

A Sequência Didática teve duração de três aulas, sendo destinada uma aula para cada momento. Para efeito de avaliação do trabalho, foram utilizados Instrumentos de Avaliação pré-teste e pós-teste elaborados em acordo com o orientador e o professor regente.

A Sequência Didática foi realizada em uma turma do curso técnico de Segurança do Trabalho do oitavo período do Ensino Médio da UTFPR, câmpus Curitiba. Trata-se de turma regular frequentada por 26 alunos, com aulas no período matutino, em regime de duas horas-aula semanais.

O primeiro momento da Sequência Didática consistiu na introdução ao tema, com o uso superficial do *applet* da *University of Colorado Boulder*, desenvolvido pelo programa PhET *Interactive Simulations*, de código aberto, disponível em diversos idiomas e acessível a vários países. Foi utilizada a versão em português deste objeto educacional (PhET, 2015). Uma visão geral do aplicativo é apresentada na Figura 5. Nesta aula foi também realizada uma exposição genérica do conteúdo, a partir de *slides* elaborados pelo autor. Antes do início da aula, foi solicitado aos estudantes que respondessem ao Instrumento de Avaliação Pré-Teste (vide Apêndice A). Este material foi elaborado com a intenção de investigar os conhecimentos prévios dos alunos com respeito ao tema, a fim de estabelecer parâmetros que tornassem possível a verificação de efeitos na aprendizagem dos alunos resultantes da Sequência Didática aplicada.

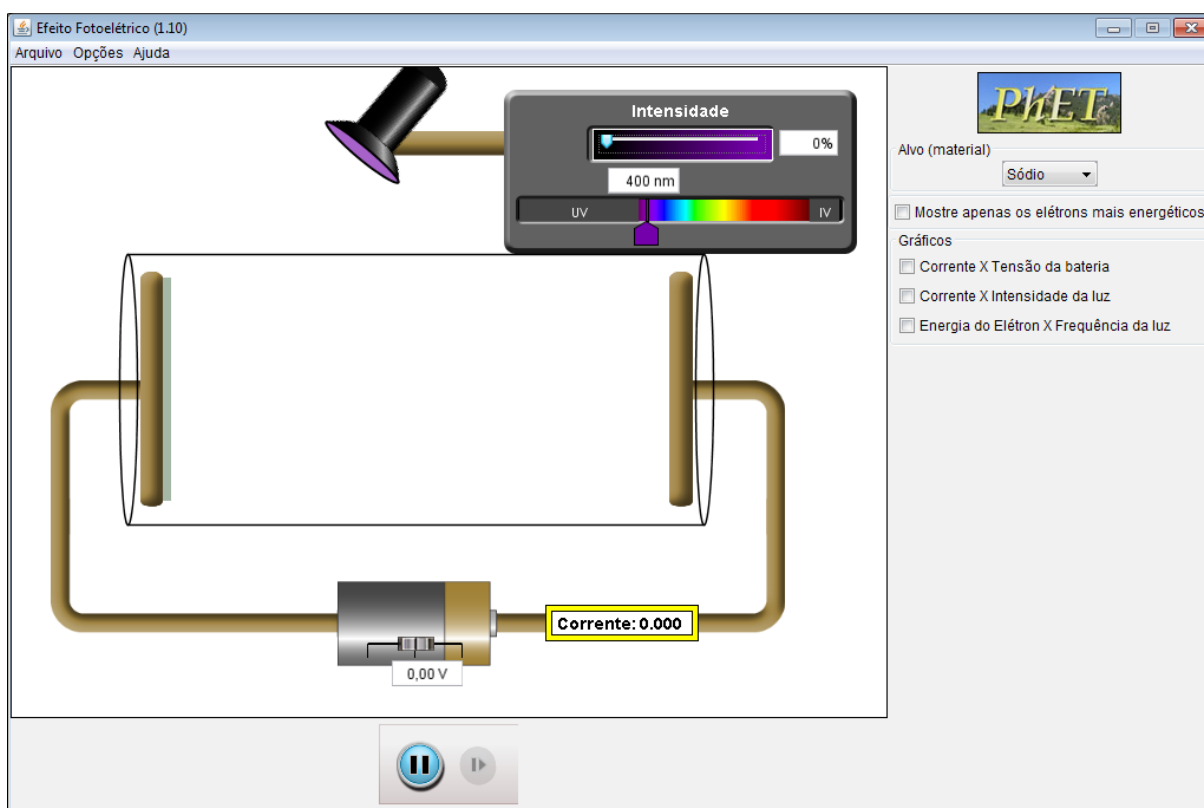


Figura 5: Tela com a visão geral do *applet* sobre o Efeito Fotoelétrico.

Fonte: imagem gerada com o *applet* (PhET, 2015).

O segundo momento foi o uso criterioso do *applet* para a investigação do Efeito Fotoelétrico. Buscou-se analisar como a corrente fotoelétrica depende dos parâmetros de intensidade, frequência de radiação, material que constitui o catodo e tensão da bateria. Deu-se ênfase aos resultados que estão em desacordo com a teoria clássica. A vantagem do uso do *applet* consiste na possibilidade de visualização dos efeitos por parte dos estudantes, o que pode tornar mais fácil a compreensão do fenômeno. É possível mostrar imagens e gráficos em que o estudante identifica as relações de dependência que servem de ponto de partida para o estabelecimento do modelo de Einstein.

Ainda no segundo momento, foi apresentado um vídeo que consiste num experimento simples do Efeito Fotoelétrico, em que é demonstrada a descarga de um eletroscópio caseiro quando incide luz ultravioleta. Este vídeo é intitulado “Simple Photoelectric Effect Demo” - SPED - (SPED, 2015). O objetivo era demonstrar que, sob o efeito da luz, ocorre uma remoção de cargas (descarregamento) quase instantâneo, que ilustra de maneira qualitativa o fenômeno. Desta forma, os estudantes tiveram acesso ao *applet* – uma simulação que é, portanto, virtual - mas também puderam observar um experimento real.

Entende-se que estes dois objetos de aprendizagem sejam complementares, para efeito da Sequência Didática.

Por fim, o terceiro momento foi a apresentação, por meio de *slides* e com o uso do quadro de giz, dos Postulados de Albert Einstein. Também foram apresentadas algumas aplicações e implicações do Efeito Fotoelétrico. Além disso, foi proposto que os alunos assistissem a um segundo vídeo do canal do Ciência Curiosa, no Youtube, que apresenta um estudo experimental do Efeito Fotoelétrico (CIÊNCIA CURIOSA – EFEITO FOTOELÉTRICO, 2015), incluindo a medida da constante de Planck, realizada experimentalmente utilizando um equipamento comercial da empresa PHYWE, fabricante de aparatos didáticos para o Ensino de Física. Note-se que este aparato é muito caro, no contexto das escolas de Ensino Médio e, portanto, por meio do vídeo, os estudantes têm acessos as algumas informações e detalhes importantes para a melhor compreensão do fenômeno.

5.1 PRIMEIRO MOMENTO: USO DO *APPLET* INTRODUÇÃO AO TEMA.

O *applet* do PhET, usado para o estudo do Efeito Fotoelétrico é uma simulação para introduzir a interação da luz com a matéria, tendo em vista o conceito de fóton. A sigla PhET remete a *Physics Education Technology*, mas o projeto logo se expandiu para outras áreas do conhecimento como Química, Biologia, Matemática e etc. Foi fundado em 2002 por Carl Wieman Edwin, ganhador do prêmio Nobel de Física de 2001. O objetivo do PhET é: “... o avanço da ciência e da alfabetização matemática e educação em todo o mundo por meio de simulações interativas livres.” (PhET, 2015b).

No início da aula foi apresentada uma breve história de como foi observado o efeito, passando pelos cientistas chave que pesquisaram o fenômeno, abordando desde sua descoberta até o desfecho moderno dos problemas. Em seguida, foi utilizado o *applet* para mostrar o Efeito Fotoelétrico de maneira visual.

A simulação permitiu a observação de dados importantes para explicar o Efeito Fotoelétrico, como: o potencial de corte, a frequência de corte e a dependência do material e da intensidade da luz. Neste sentido, o simulador (*applet*) permite de modo simples a troca dos materiais da placa emissora, a modificação da intensidade de luz incidente, a alteração do comprimento de onda da luz e a variação do potencial elétrico aplicado entre as placas.

O *applet* disponibiliza os seguintes materiais: sódio, zinco, platina, cobre, cálcio e magnésio; os comprimentos de onda variam do infravermelho até o ultravioleta; o potencial

pode variar entre -8V e $+8\text{V}$.

Os gráficos fornecidos pelo *applet* são: Corrente X Potencial da Bateria (Figura 6), Corrente X Intensidade da luz (Figura 7) e Energia dos Fotoelétrons X Frequência da luz (Figura 8). O simulador permite ainda tirar um retrato do gráfico, para possíveis comparações, o que é muito conveniente para ser utilizado em uma aula.

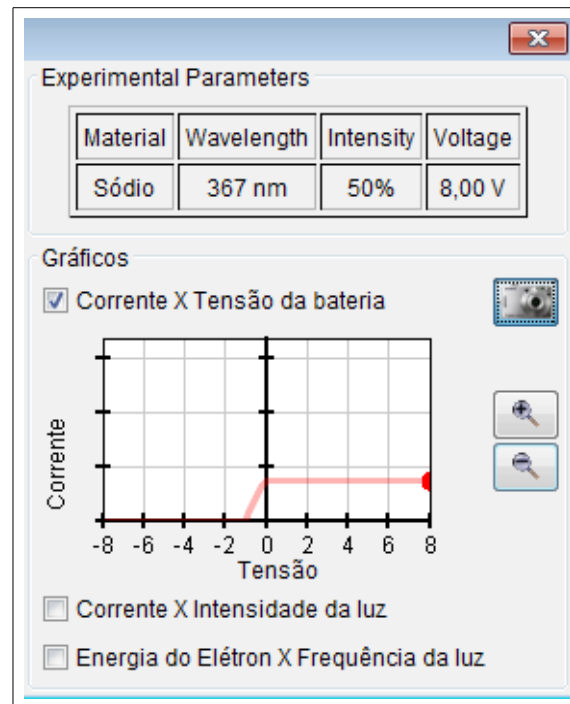


Figura 6: Corrente X Potencial da Bateria

Fonte: imagem gerada com o *applet* (PhET, 2015)

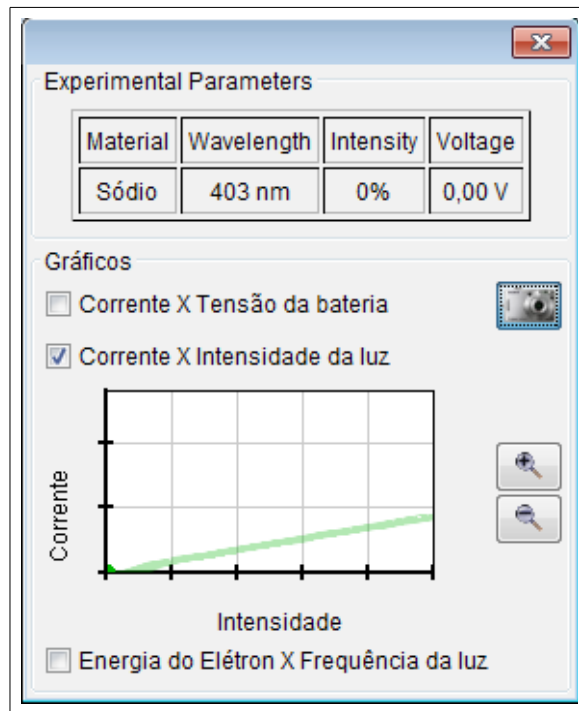


Figura 7: Corrente X Intensidade da luz

Fonte: imagem gerada com o *applet* (PhET, 2015)

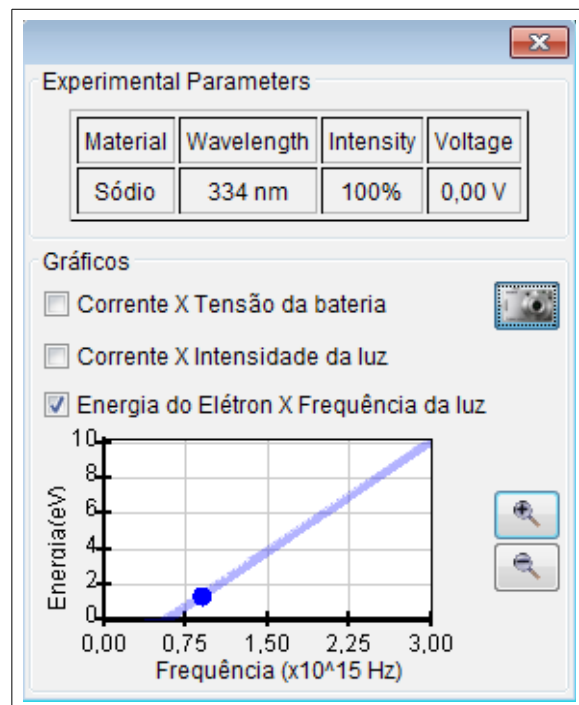


Figura 8: Energia dos fotoelétrons X Frequência da luz.

Fonte: imagem gerada com o *applet* (PhET, 2015).

5.2 SEGUNDO MOMENTO: INVESTIGAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO COM O USO DO *APPLET* E UM VÍDEO.

Uma vez apresentados aos estudantes a ideia geral do efeito e o simulador, foi abordado o conceito de frequência e frequência de corte. Para isso, foi empregado o *applet* com sua funcionalidade de mudança de material e alterações de comprimento de onda da luz incidente. A partir da observação dos efeitos com o simulador, torna-se evidente que existem certas frequências para as quais o efeito acontece e outras que são incapazes de produzir Efeito Fotoelétrico. Deu-se destaque às funcionalidades do *applet* para geração de gráficos.

Posteriormente foi abordado o conceito de potencial e potencial de corte. Foi alterada a frequência e o potencial, ficando notória a saturação da corrente e o potencial de corte. Para ilustrar estes efeitos, também foi utilizado o recurso de geração de gráficos.

Em seguida, a fim de fornecer aos alunos uma visão do “experimento real”, foi utilizado o vídeo SPED - (SPED, 2015), o qual mostra um experimento simples do Efeito Fotoelétrico. Um detalhe do experimento é mostrado na Figura 9. É constituído por um eletroscópio baseado em uma lata de alumínio, um pedaço de fio metálico de cobre e tiras de papel-alumínio, todos apoiados em um copo (isolante). Um tubo de PVC é carregado eletricamente por meio do atrito com uma manta de lã. Cargas do tubo são transferidas ao eletroscópio por contato. O sistema pode ser descarregado pelo toque (aterramento) ou, no caso do Efeito Fotoelétrico, pela incidência de luz. O processo de descarregamento é muito evidente e constitui informação fundamental para o processo de problematização do efeito.



Figura 9: Experimento simples do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Canal do YouTube PhysicsAstronomyUofU's channel.
 <<https://www.youtube.com/watch?v=WO38qVDGgqw>> Acesso em:05 maio 2015.

Outra observação importante no vídeo é o tempo de descarregamento ilustrado pelo movimento das tiras de papel-alumínio com a incidência da luz, comparado ao descarregamento das mesmas quando o sistema é aterrado pelo toque. O fenômeno é instantâneo nos dois casos, havendo apenas um pouco de atraso com a incidência da luz.

Nesta etapa, o objetivo era aprofundar o estudo do fenômeno e abordar seus diversos aspectos. Buscou-se mostrar as falhas da Física Clássica em explicar o fenômeno e abrir caminho para a necessidade da explicação moderna, embasada nos postulados de Einstein para o Efeito Fotoelétrico.

5.3 TERCEIRO MOMENTO: POSTULADOS DE ALBERT EINSTEIN E AS APLICAÇÕES E IMPLICAÇÕES DO EFEITO FOTOELÉTRICO COM O USO DE UM VÍDEO.

Neste momento, os Postulados de Einstein são apresentados e colocados à prova para explicar os efeitos que a Física Clássica não explicava. Os postulados são: “a energia radiante é quantizada em pacotes (*quanta*), com energia $h \cdot f$ ” e “no processo do Efeito Fotoelétrico, há uma interação um para um, sendo um fóton absorvido por um elétron, desde que haja energia suficiente.” (EISBERG e RESNICK, pg. 55, 1979). Foram utilizados *slides* e cálculos no quadro de giz para explicar cada um dos gráficos produzidos por meio do *applet*.

Com respeito às aplicações e implicações do Efeito Fotoelétrico, foram mencionados os sensores presentes em muitos dispositivos de alarmes e de iluminação, bem como os que são encontrados em sistemas de controle de automação. Este material foi apresentado na forma de *slides* contendo textos que foram comentados detalhadamente.

As implicações do Efeito Fotoelétrico, podem ocorrer quando pessoas ficam expostas a radiações de altas energias por muito tempo, pois por Efeito Fotoelétrico as moléculas perdem elétrons e ficam ionizadas podendo prejudicar em uma combinação química, levando a uma mutação da célula.

Por fim, na última aula foi apresentado o vídeo do portal Ciência Curiosa sobre o Efeito Fotoelétrico, disponível no Youtube. Este experimento didático foi realizado no Laboratório de Física Moderna da UTFPR. O vídeo mostra como o equipamento funciona, como são obtidos os dados experimentais, e como este conhecimento está ligado às tecnologias presentes no cotidiano, baseadas no efeito.

No transcorrer do trabalho, a proposta não era apenas informar os estudantes sobre o efeito, mas sim apresentar conteúdos complementares (*applet*, vídeo simples, vídeo mais elaborado, notas de aula) a fim de que eles tivessem acesso a uma formação contextualizada e que pudesse ser estendida para além da sala de aula. Buscou-se ainda dar aos estudantes subsídios para que pudessem argumentar e ter um posicionamento diante das informações divulgadas pelos diversos meios de comunicação. Buscou-se também propiciar uma visão mais realista e contextualizada da ciência e do trabalho científico.

6 COLETA DE DADOS.

A coleta de dados foi realizada por Instrumentos de Avaliação pré-teste e pós-teste (vide Apêndice A), ou seja, questionários apresentados aos alunos antes e após a aplicação da Sequência Didática. Esta abordagem configura pesquisa qualitativa de cunho interpretativo. Os Instrumentos de Avaliação foram compostos de perguntas abertas conceituais a respeito do Efeito Fotoelétrico. Foram três perguntas: 1) O que é o Efeito Fotoelétrico? 2) Qual é a explicação para o Efeito Fotoelétrico? e 3) Conhece alguma aplicação ou implicação do Efeito Fotoelétrico?

Os Instrumentos de Avaliação pré e pós Sequência Didática não apresentam diferenças entre si, porque o objetivo foi comparar as respostas a fim de avaliar efeitos decorrentes da aplicação da Sequência Didática. As perguntas têm por objetivo avaliar mudanças entre o que os estudantes conheciam sobre o tema e o que passaram a conhecer após a Sequência Didática. E investigar a viabilidade de ensinar o Efeito Fotoelétrico em uma turma do Ensino Médio regular, no contexto em que o ensino de FMC é um desafio para a educação básica, dadas as recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais e as Diretrizes Curriculares da Educação do Paraná.

Os Instrumentos de Avaliação pré-teste e pós-teste Sequência Didática não têm a intenção de verificar qual o melhor objeto educacional (simulador ou vídeos), pois entende-se que estes recursos devem ser trabalhados e entendidos de forma conjunta no processo de aprendizagem dos estudantes.

O pré-teste foi respondido pelos estudantes nos dez minutos iniciais da primeira aula. O pós-teste, por sua vez, foi respondido também em dez minutos, ao final da terceira intervenção, em aula realizada uma semana depois da primeira aula.

Os instrumentos foram reunidos, analisados e organizados nos gráficos apresentados na próxima seção.

7 RESULTADOS E ANÁLISE

O Instrumento de Avaliação pré-teste foi aplicado no dia sete de maio, antes do início da primeira aula. No momento da aplicação, havia 12 alunos presentes e que responderam ao questionário.

No gráfico 1 são apresentadas as respostas para a primeira pergunta: O que é o Efeito Fotoelétrico?

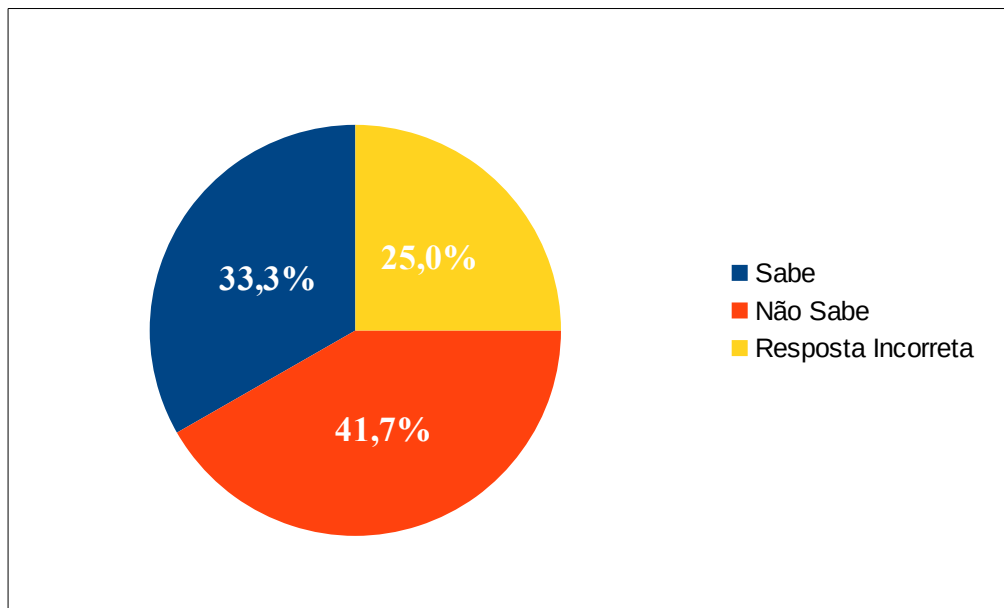


Gráfico 1: Pré-teste: O que é o Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor.

No caso do pré-teste, as respostas para a pergunta O que é o Efeito Fotoelétrico? sempre aparecem de forma curta, com predominância de frases tais como “*Não lembro*” e “*Não sei explicar*”. A grande maioria das respostas indica que, embora o conteúdo já tivesse sido apresentado em ocasiões anteriores, ainda assim, não houve fixação por parte dos estudantes. Em resumo, 66,7% dos estudantes não sabiam responder o que é o Efeito Fotoelétrico ou forneceram respostas incorretas, que também revelam desconhecimento. Apenas 33,3% declararam saber o que é o efeito.

O Instrumento de Avaliação pós-teste foi aplicado no dia catorze de maio, na terceira aula, ao final da Sequência Didática concebida. No momento da aplicação, havia 19 alunos presentes que responderam ao questionário.

No Gráfico 2 são apresentadas as respostas da pergunta (pós-teste): O que é o Efeito Fotoelétrico?

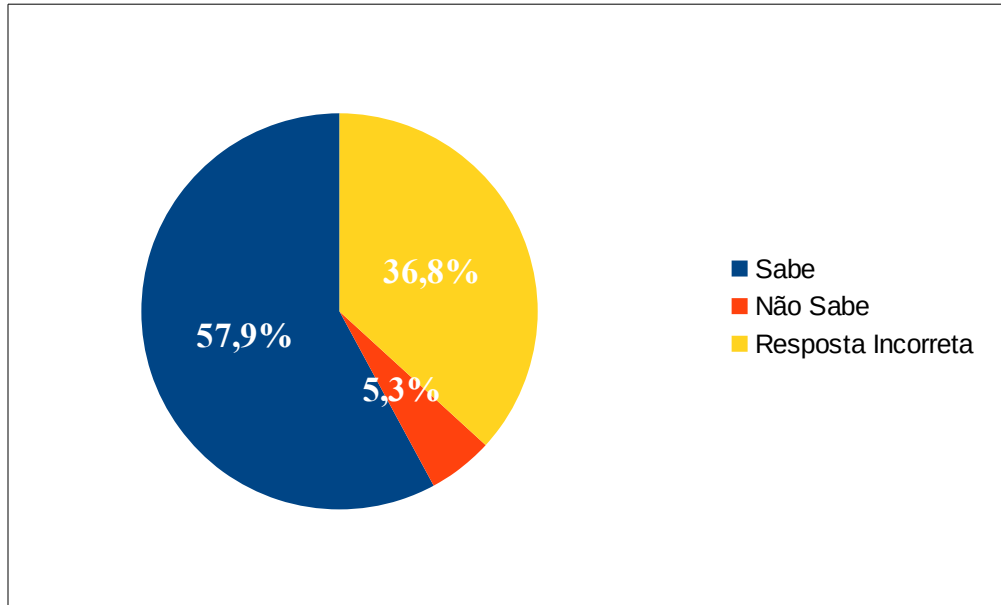


Gráfico 2: Pós-teste: O que é o Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor.

Neste pós-teste, 57,9% dos estudantes demonstraram conhecimento sobre o efeito, o que pode ser considerado um avanço positivo em relação ao que fora verificado no pré-teste. Além disso, é notável que as respostas presentes no Instrumento de Avaliação pós-teste são mais extensas e mais elaboradas que aquelas apresentadas no pré-teste. Alguns exemplos de respostas significativas dadas no pós-teste são os seguintes:

“Quando os fótons incidem em uma placa metálica e emite elétrons”.

“Transferência de energia de fótons para elétrons”.

“É a emissão de elétrons por um material, quando exposto a uma radiação eletromagnética”

Fica evidente que os estudantes conseguem estabelecer que o Efeito Fotoelétrico consiste em uma interação fóton-elétron. Além disso, respostas como estas revelam que a palavra “fóton”, este, um conceito central do Efeito Fotoelétrico, está bem empregada.

Portanto, houve uma interiorização do conhecimento, no sentido em que a terminologia correta é utilizada pelos estudantes. Dado que estas respostas mais bem elaboradas foram dadas após a realização das aulas, pode-se inferir que houve uma melhor compreensão, por parte dos estudantes, decorrente da aplicação da Sequência Didática.

Com respeito à segunda pergunta pré teste: Qual é a explicação para o Efeito Fotoelétrico. a) Sabe a explicação do Efeito Fotoelétrico? b) Descreva previamente; os resultados correspondentes estão compilados no Gráfico 3.

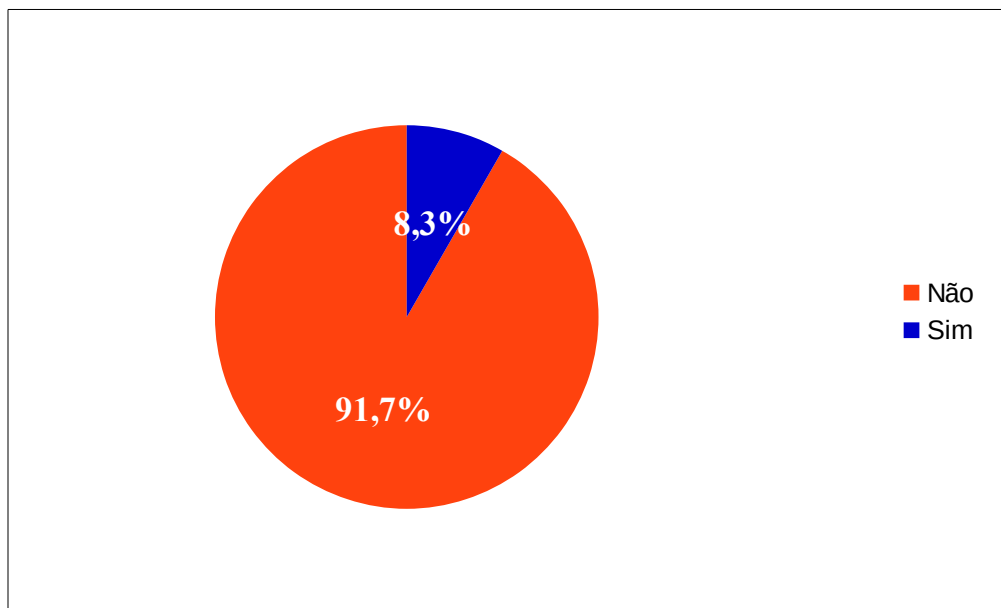


Gráfico 3: Pré-teste: Sabe a explicação do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor

A pergunta a) Sabe a explicação do Efeito Fotoelétrico? Seria para verificar se eles conhecem alguma explicação do Efeito Fotoelétrico, sejam explicações científicas, explicações informais ou até mesmo explicações elaboradas pelas suas concepções alternativas. Nota-se que as respostas para esta pergunta foram majoritariamente “Não”, atestando que 91% não sabiam ou não lembravam uma explicação para o Efeito Fotoelétrico.

Para a mesma pergunta, no Instrumento de Avaliação pós-teste, as respostas foram agrupadas no Gráfico 4.

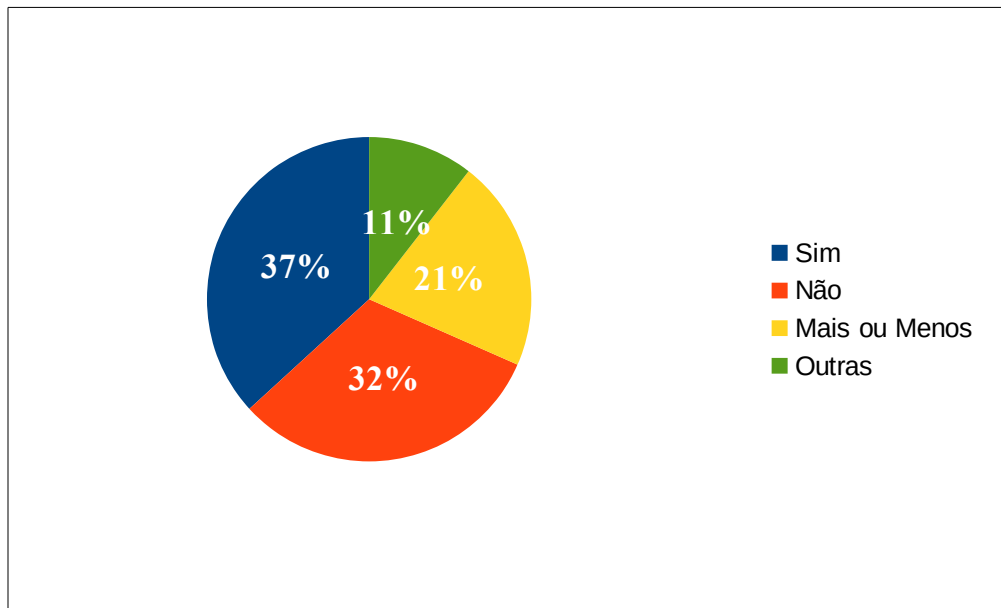


Gráfico 4: Pós-teste: Sabe a explicação do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor.

Na categoria “Outros” foram agrupadas respostas que descreviam algum tipo de explicação para o Efeito Fotoelétrico, mas que apresentavam incorreções conceituais, como, por exemplo:

“Carrega elétrons com o intuito de gerar corrente”.

“É a relação da energia da luz com os elétrons e a voltagem”.

Estas respostas podem indicar uma modificação “incompleta” das concepções prévias promovida pela experiência com a Sequência Didática e o material de apoio correspondente. De fato, no Instrumento de Avaliação pré-teste não havia nenhuma argumentação para explicar o efeito e o surgimento das explicações aparece apenas no Instrumento de Avaliação pós-teste. Note-se também que alguns estudantes (21%) responderam que sabiam “mais ou menos”. Então, pode-se concluir que estas respostas foram estimuladas pela Sequência Didática. Contudo, ainda assim, há incorreções. Por outro lado, as respostas neste pós-teste revelam que 37% dos estudantes declaram saber o que é o efeito, num claro contraste com as respostas negativas (Gráfico 3) dadas antes da aplicação da Sequência Didática. Neste sentido, houve um aumento significativo daqueles que foram

capazes de elaborar uma resposta. Este aspecto ficará mais evidente a partir do exame dos Gráficos 5 e 6.

Para a pergunta: b) Descreva previamente (vide Gráfico 5), o aluno deveria descrever como o processo do Efeito Fotoelétrico acontece. É revelador que no pré-teste não tenha havido nenhuma resposta correta. Apenas 25% forneceram tentativas de descrição, mas que são incorretas, e 75% não foram capazes de apresentar nenhuma descrição.

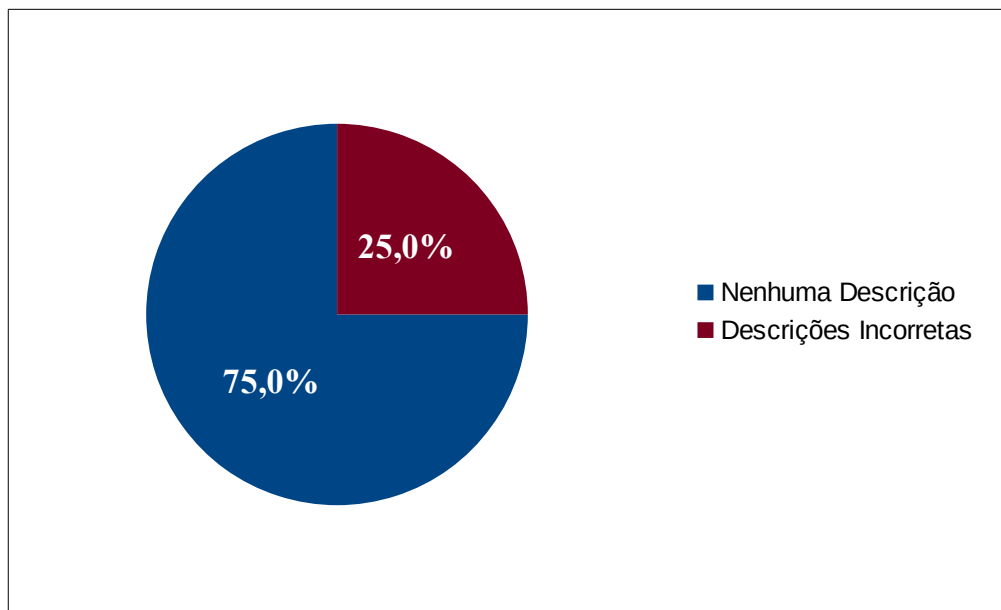


Gráfico 5: Pré-teste: Descreva previamente.

Fonte: Autor.

No Instrumento de Avaliação pós-teste para a pergunta b) Descreva previamente, (vide Gráfico 6) percebe-se que houve 37% de descrições corretas. Houve ainda 21% de descrições incorretas e 42% dos alunos não foi capaz de apresentar uma descrição.

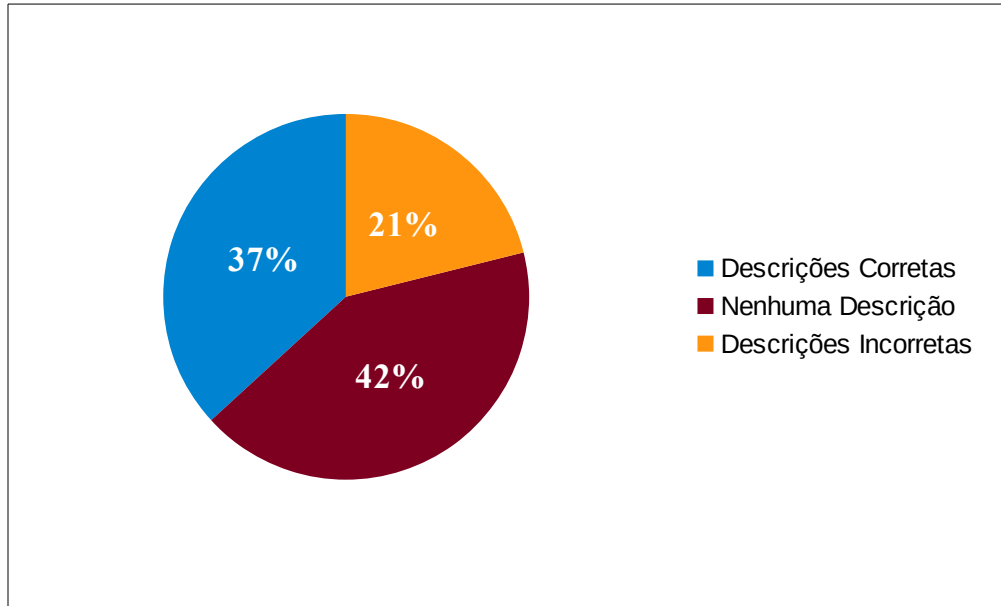


Gráfico 6: Pós-teste: Descreva previamente.

Fonte: Autor.

Nota-se que, após Sequência Didática, alguns alunos (7 num total de 19) souberam descrever corretamente o processo do Efeito Fotoelétrico, em contraste com o fato de que antes da sequência nenhum fora capaz de fazê-lo. Seguem algumas das respostas dos alunos:

“Para que o efeito aconteça a radiação deve ter energia maior que a função trabalho do material, essa energia depende somente da frequência e não da intensidade”.

“Uma luz com frequência maior que a função trabalho do metal emite elétrons do metal. Quando maior a intensidade maior é o número de fótons a serem arrancados da superfície metálica”.

“Ocorre quando uma placa metálica é exposta a radiação eletromagnética de alta frequência. A intensidade da luz é proporcional ao número de fótons e determina o nº de elétrons a serem arrancados da superfície da placa”.

A partir da análise destas respostas, fica evidente que houve um aumento significativo no número de alunos que compreende o efeito. Além disso, nota-se que as respostas revelam que os estudantes assimilaram a terminologia associada, dado que

empregaram corretamente e de maneira contextualizada expressões tais como “função trabalho” e “fótons”. Além disso, as respostas apresentam uma boa descrição do fenômeno e são mais elaboradas, em contraste com a total falta de articulação constatada no pré-teste (Gráfico 5). Esta é uma evidência de que a Sequência Didática teve efeito positivo na aprendizagem dos estudantes.

No Gráfico 7 são tabuladas as informações referentes à pergunta 3) Você conhece aplicações ou implicações do Efeito Fotoelétrico? Cite no mínimo duas.

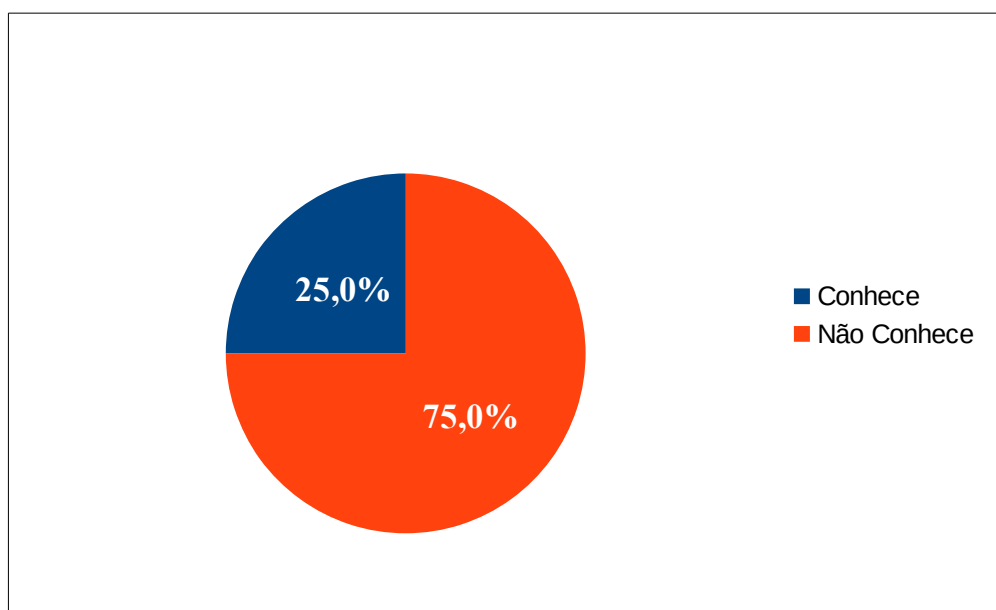


Gráfico 7: Pré-teste: Você conhece aplicações ou implicações do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor.

Chama a atenção o fato de que 75% dos alunos não foi capaz de fornecer um exemplo de aplicação. De fato, se os estudantes revelaram pouco conhecimento sobre o efeito (Gráfico 1), é coerente que os mesmos não fossem capazes de citar possíveis aplicações. Aqueles que apresentaram exemplos (Gráfico 7, categoria Conhece) citaram algumas aplicações e implicações que são descritas no Gráfico 8.

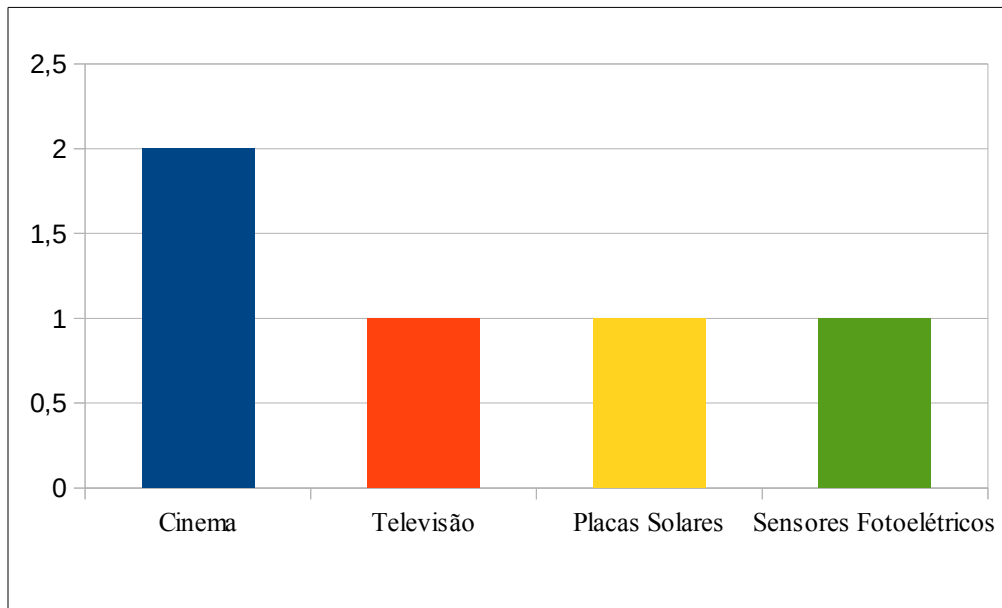


Gráfico 8: Pós-teste: Citações de aplicações e implicação do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor.

Os resultados do pós-teste, por sua vez, revelam que a maioria dos alunos, após a aplicação da Sequência Didática, passou a conhecer alguma aplicação ou implicação do Efeito Fotoelétrico (vide Gráfico 9).

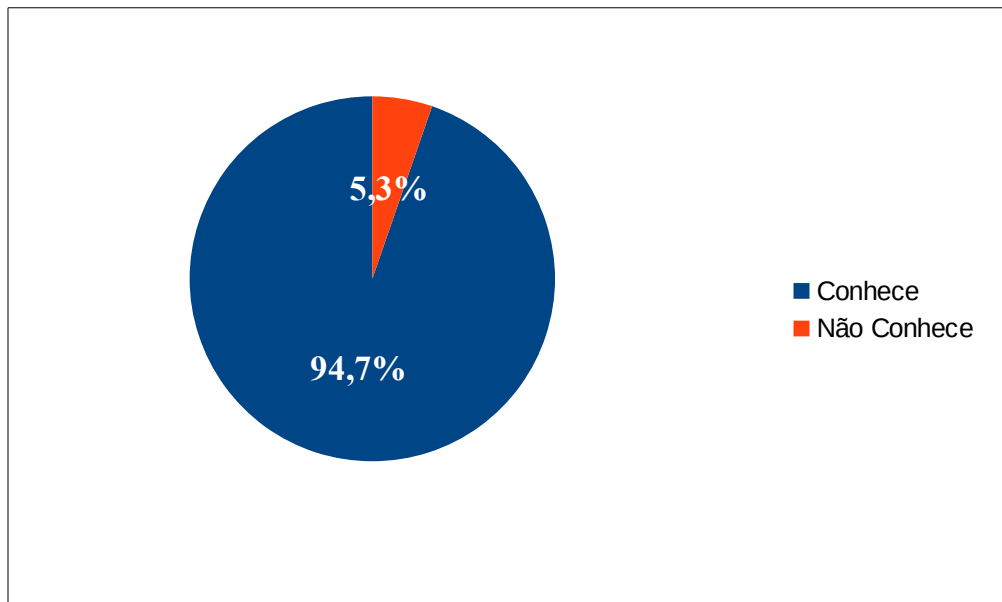


Gráfico 9: Pós-teste: Você conhece aplicações e implicações do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor

Ao analisar as respostas de maneira mais detalhada, para as citações de aplicações e implicações do Efeito Fotoelétrico, é possível formar os seguintes agrupamentos (Quadro 2):

Nº	Categorias	Respostas dos Alunos
1	Controle remoto	<i>Controle remoto; Controle; Controle remoto de televisão</i>
2	Sistemas de automação	<i>Maquinário sem o homem; Facilita processos mecânicos sem a utilização do homem; Algumas máquinas; Uso em sensores de automação industrial por sensores e ativadores na robótica industrial; Maior controle sobre peças; Sistema de automação.</i>
3	Reprodução e reconstrução do som em películas cinematográficas	<i>Som da TV; Reprodução do som junto com a imagem da TV; Reprodução e reconstrução dos Sons em películas cinematográficas; Sons em películas cinematográficas.</i>
4	Sistemas de Lâmpadas	<i>Acender luzes; Luzes que acendam e apagam automaticamente; Uso em lâmpadas de postes de luz; Desligamento e acionamento automático de faróis.</i>
5	Outros	<i>Cinema; Televisão; Lâmpadas; Transformação de luz em energia;</i>
6	Portas automáticas	<i>Portas automáticas;</i>
7	Dispositivos de Segurança	<i>Alarmes; Dispositivos de segurança;</i>

Quadro 2: Agrupamento das respostas em categorias

Fonte: Autor.

No Gráfico 10, são representados os dados do Quadro 2, de maneira quantitativa.

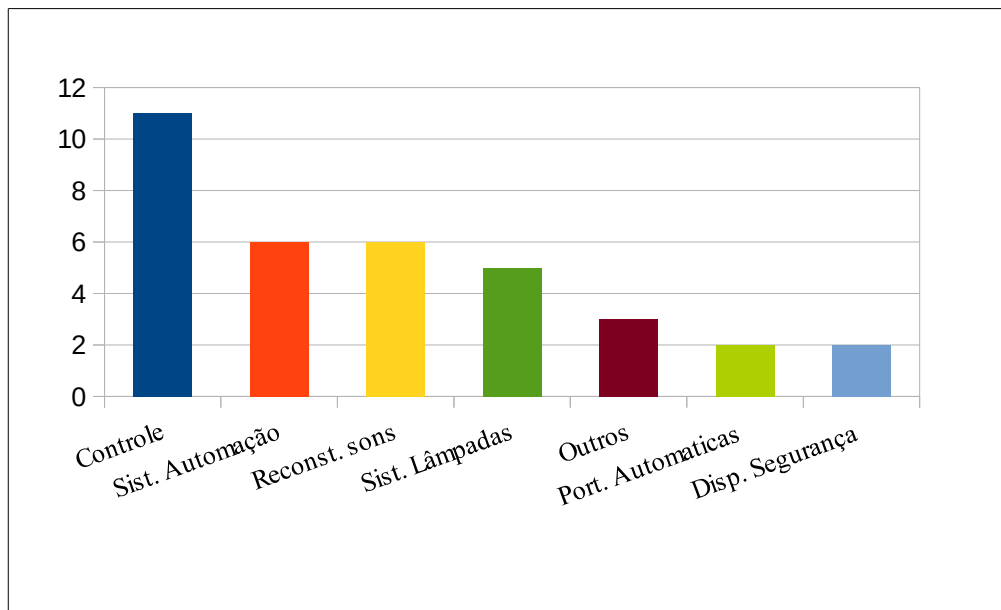


Gráfico 10: Pós-teste: Citações de aplicações e Implicações do Efeito Fotoelétrico.

Fonte: Autor

Ao se comparar o Gráfico 10 com o Gráfico 8, fica evidente que, após a aplicação da Sequência Didática, os estudantes passaram a conhecer as aplicações do efeito. Pode-se inferir que estas aplicações estão relacionadas ao conhecimento do efeito e de sua explicação, de modo que demonstra-se assim a eficiência da Sequência Didática no sentido que os alunos, após as aulas ministradas, foram capazes de fornecer respostas corretas e elaboradas sobre o tema, em contraste com a falta de respostas e as respostas erradas apresentadas no pré-teste.

8 CONCLUSÃO

Retomando os objetivos iniciais do trabalho, pode-se afirmar que:

1- A Sequência Didática sobre o Efeito Fotoelétrico foi elaborada, aplicada e teve seu efeito avaliado;

2- Foi desenvolvido um material de apoio, descrito na seção de Metodologia (nota: os *slides* utilizados nas aulas estão presentes no Apêndice B);

3- Foi elaborado e aplicado um instrumento para avaliação da aprendizagem associada à realização da Sequência Didática.

Portanto, conclui-se que as metas propostas foram cumpridas.

A partir da experiência realizada, notou-se que a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio não é uma tarefa fácil. Porém, demonstramos aqui que o uso de materiais potencialmente significativos que auxiliam alunos e professores, juntamente a uma dedicação à prática docente, torna possível, sim, inserir a FMC.

Tendo em vista os resultados obtidos com os Instrumentos de Avaliação pré-teste e pós-teste, percebe-se que a Sequência Didática desenvolvida apresentou um resultado satisfatório, com um aumento de 24,9% na quantidade de alunos que souberam responder o que é o Efeito Fotoelétrico. Além disso, percebe-se que, após a realização da sequência, os estudantes foram capazes de dar respostas corretas, mais elaboradas e contextualizadas a respeito do tema. Muitos alunos destacaram a importância do uso do *applet* e dos vídeos utilizados nas aulas, o que revela que estas ferramentas podem contribuir significativamente para o ensino de Física Moderna e Contemporânea.

Por outro lado, muitos alunos não foram capazes de descrever e explicar corretamente o efeito, mesmo depois de realizada a sequência. Isto indica a necessidade de aprimorar o trabalho. Uma sugestão seria utilizar o laboratório de informática para que todos os alunos possam manusear e explorar o *applet*, à medida que o professor explica os resultados experimentais e faz observações pertinentes sobre o efeito.

Outra sugestão seria incluir perguntas no início das aulas para que os alunos possam refletir antes de serem dadas as explicações. Desta maneira seria incrementada a interação entre aluno e professor.

No caso específico da turma com a qual foi realizado o trabalho, seria interessante usar mais ilustrações e exemplos aplicados ao contexto do curso de Segurança do Trabalho, por exemplo, explicar de maneira pormenorizada o funcionamento dos sensores de presença

baseados no Efeito Fotoelétrico, para estimular os alunos.

É claro que podemos ainda modificar alguns aspectos da Sequência Didática para que a mesma possa atender ainda mais alunos e com uma maior contribuição à sua formação. É desejo do autor que esse conhecimento não fique apenas em sala de aula mas que os estudantes estejam preparados para utilizar e ampliar esse conhecimento no cotidiano.

9 REFERÊNCIAS

BARRELO JUNIOR, Nelson; CARVALHO, Anna M. P. de. Argumentação No Discurso Oral E Escrito De Alunos Do Ensino Médio Em Uma Sequência Didática De Física Moderna. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 12, 2010, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xii/sys/resumos/T0103-1.pdf>>. Acesso em: 8 dez. 2013.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. O ensino de Física Moderna necessita ser real. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16, 2005, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/sys/resumos/T0100-1.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

CAPPELLETTO, Eliane; MOREIRA, Marco Antonio. Sucessos E Dificuldades Em Conectar Teoria E Experimentação Em Física Moderna E Contemporânea: Resultados Preliminares. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 14, 2012, Maresias. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xiv/sys/resumos/T0172-1.pdf>> Acesso em: 8 dez. 2013.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de Física Moderna que visa sua inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 263-276, dez. 2001. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6666>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

CIÊNCIA CURIOSA – EFEITO FOTOELÉTRICO. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=_vBBpcJofj0>. Acesso em 10 de março de 2015.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 35ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

GARCIA, Gabriel. Info Grupo Abril. Disponível em: <<http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/2015/06/nanoparticulas-de-ferro-podem-fazer-nossos-cerebros-serem-programados-por-computador.shtml>>. Acesso 15 jun. 2015.

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. Disponível em:

<http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID179/v6_n1_a2001.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2013.

GRIEBELER, Adriane. **Inserção de Tópicos de Física Quântica no Ensino Médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa**. 2012. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/61844/000867227.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 jan. 2014.

HAMADA, Kentaro. DCI Diário, Comércio, Indústria & Serviço. Disponível em: <<http://www.dci.com.br/internacional/japao-vai-atrasar-retirada-de-combustivel-nuclear-da-usina-de-fukushima-id473691.html>>. Acesso 15 jun 2015.

LAWALL, Ivani T; ZANELLAL, Adriana; BAUMER, Ana L. Inserção de Física Moderna no Ensino Médio em Cursos de Formação Continuada: perfil profissional, concepções sobre inovação curricular e mudanças na prática. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 14, 2012 Maresias. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xiv/sys/resumos/T0098-1.pdf>> Acesso em: 8 dez. 2013.

LOBATO, T.; GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n. 1, p. 119-132, maio 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/10.pdf>> Acesso em: 09 dez. 2013.

LOPES, Elcio de Souza. E o elétron? É onda ou é partícula? Uma proposta para promover a ocorrência da alfabetização científica de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20, 2013 São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0035-1.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

LUTZ, Lolita; BARCELLOS, Marcília; GUERRA, Andreia. Mudança Curricular No Estado Do Rio De Janeiro E A Física Moderna E Contemporânea. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 14, 2012, Maresias. **Anais eletrônicos...** São Paulo Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xiv/sys/resumos/T0189-1.pdf>> Acesso em: 08 dez. 2013.

LUZ, Wagner Manço da; HIGA, Ivanilda. Reflexões Sobre Propostas De Ensino De Física Moderna E Contemporânea Para O Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20, 2013 São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0823-1.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2014.

MACHADO, Daniel Iria; NARDI, Roberto. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Universidad de la Rioja, Logrõno – Espanha, v.6 n.1, p. 90-116, 2007. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen6/ART6_Vol6_N1.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2013.

MELCHIOR, Sandra C. L; PACCA, Jesuína L. Concepções de cor e luz: A relação com as formas de pensar a visão e a interação da luz com a matéria. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9, 2004, Jaboticatubas. **Anais eletrônicos...** Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/sys/resumos/T0031-1.pdf>>. Acesso em: 8 dez. 2013.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto. As Abordagens Dos Livros Didáticos Acerca Da Física Moderna E Contemporânea: Algumas Marcas Da Natureza Da Ciência. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2008, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0068-1.pdf> >. Acesso em: 02 dez. 2013.

MORAIS NETO, Apino F. de. Pluralidade na apresentação e interpretações da Mecânica Quântica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17, 2007, São Luis. **Anais eletrônicos...** Maranhão. Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0008-1.pdf>> Acesso em: 28 jan. 2014.

MOREIRA, Marco Antonio. A Física dos quarks e a epistemologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29. n. 2. jun. 2007. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n2/a01v29n2.pdf>>. Acesso em: 02 dez 2013.

OLIVEIRA, Fábio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda. O ensino de Física Moderna, com enfoque CTS: um tópico para o Ensino Médio – Raios X. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10, 2006, Londrina. **Anais eletrônicos...** Curitiba. Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/sys/resumos/T0101-2.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2013.

OLIVEIRA, José Márcio de Lima; ALMEIDA, Maria José P. M. de. O Discurso Como Objeto De Pesquisa: Representações De Professores Sobre A Física Moderna E Contemporânea No Ensino Médio. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 14, 2012, Maresias. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xiv/sys/resumos/T0123-1.pdf> > Acesso em: 02 dez. 2013.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5 p. 23-48, jan. 2000. Disponível em:

<http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID57/v5_n1_a2000.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2013.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco 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 de Física**, Santa Catarina, v.18, n.2, p.135-151, ago. 2001. Disponível em

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6676/6144>>. Acesso em 02 dez 2013.

PAGLIARINI, Cassiano R; PEREIRA, Aldo Gomes; ALMEIDA, Maria José P. M. de. O Efeito Fotoelétrico Em Livros Didáticos Do PNLD 2012. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 14, 2012, Maresias. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em:

<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xiv/sys/resumos/T0269-1.pdf> > Acesso em: 8 dez. 2013.

PCN+. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. 2001. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

PEREIRA, Alessandro Pereira de. **Fundamentos de Física Quântica na formação de professores: uma análise de interações discursivas em atividades centradas no uso de um interferômetro de Mach-Zehnder**. 2008, 140 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Universidade do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.phpnrb=000631479&loc=2008&l=2649039b325c30f3>>. Acesso em: 28 jan. 2014.

PEREIRA, Pedro P; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma revisão recente da produção acadêmica. **Investigações no Ensino de Ciências**, Rio Grande do Sul, v. 14, n. 3, p. 393-420, dez. 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID224/v14_n3_a2009.pdf> Acesso em: 29 nov 2013

PEREIRA, Salomão J; ZARA, Reginaldo A. Uma Experiência Inserção da Física Moderna no Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19, 2011, Manaus. **Anais eletrônicos...** Manaus. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0399-2.pdf>> Acesso em: 28 jan. 2014.

PhET. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_pt_BR.jnlp>. Acesso em: 23 de junho de 2015.

_____. Disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/about>. Acesso em: 23 de junho de 2015.

REZENDE JR, M. F e RICARDO, E.C. Os Parâmetros Curriculares Nacionais e a Inserção da Física Moderna no Ensino Médio: Reflexões sobre o Livro Didático. In: Simpósio Nacional de Ensino De Física, XV, 2003, Atas., Curitiba. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xv/atas/atas_XV_SNEF.zip>. Acesso em; 08 mar. 2014.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank; CRUZ, Frederico Firmo de Souza. Física Moderna e Contemporânea na formação de licenciandos em Física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência & Educação**, Bauru v. 15, n. 2, p. 305-21, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132009000200005>. Acesso em: 02 dez. de 2013.

REZENDE JUNIOR, M. F; CRUZ, Frederico F. de S. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Do consenso de temas á elaboração de propostas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA, 6, 2003, Bauru. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/ivenpec/Arquivos/Painel/PNL143.pdf>>. Acessado em: 13 maio 2013.

SANCHES, Mônica Bordim; NEVES; Marcos Cesar Danhoni. O Que Pensam Professores E Alunos A Respeito Da Inserção Da Física Moderna E Contemporânea No Ensino Médio. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 12, 2010, Águas de Lindóia. São Paulo. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xii/sys/resumos/T0255-1.pdf>>. Acesso em: 02 dez. de 2013.

SCHUCK, Aline F; SERRANO, Agostinho. Um Exemplo Do Uso De Experimentos Virtuais Objetivando A Introdução De Conceitos De Mecânica Quântica Na Disciplina De Estrutura Da Matéria. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9, 2004, Jaboticatubas. **Anais eletrônicos...** Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/sys/resumos/T0027-1.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

SILVA, André Coelho da; ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro de. Física Quântica no Ensino Médio: O que dizem as pesquisas. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 624-652, dez. 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p624/20255>>. Acesso em: 08 jan. 2014.

SILVA, Luciene Fernanda da; ASSIS, Alice. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 313-324, ago. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n2p313/22920>>. Acesso em: 08 jan. 2014.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício; UETA, Nobuko. A Física Moderna E Contemporânea Em Sala De Aula: Uma Atividade Com Os Raios X. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17, 2007, São Luis. **Anais eletrônicos...** Maranhão. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T04_10-1.pdf> Acesso em: 28 jan. 2014.

SORPRESO, Thirza P; BABICHAK, César C; ALMEIDA, Maria José P. M. de. Condições De Produção Iniciais De Estudantes De Licenciatura Sobre A Física Moderna E Contemporânea. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 12, 2010, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xii/sys/resumos/T0094-1.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2013.

SPED, Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=WO38qVDGgqw&feature=related>>. Acesso em: 25 de junho de 2015.

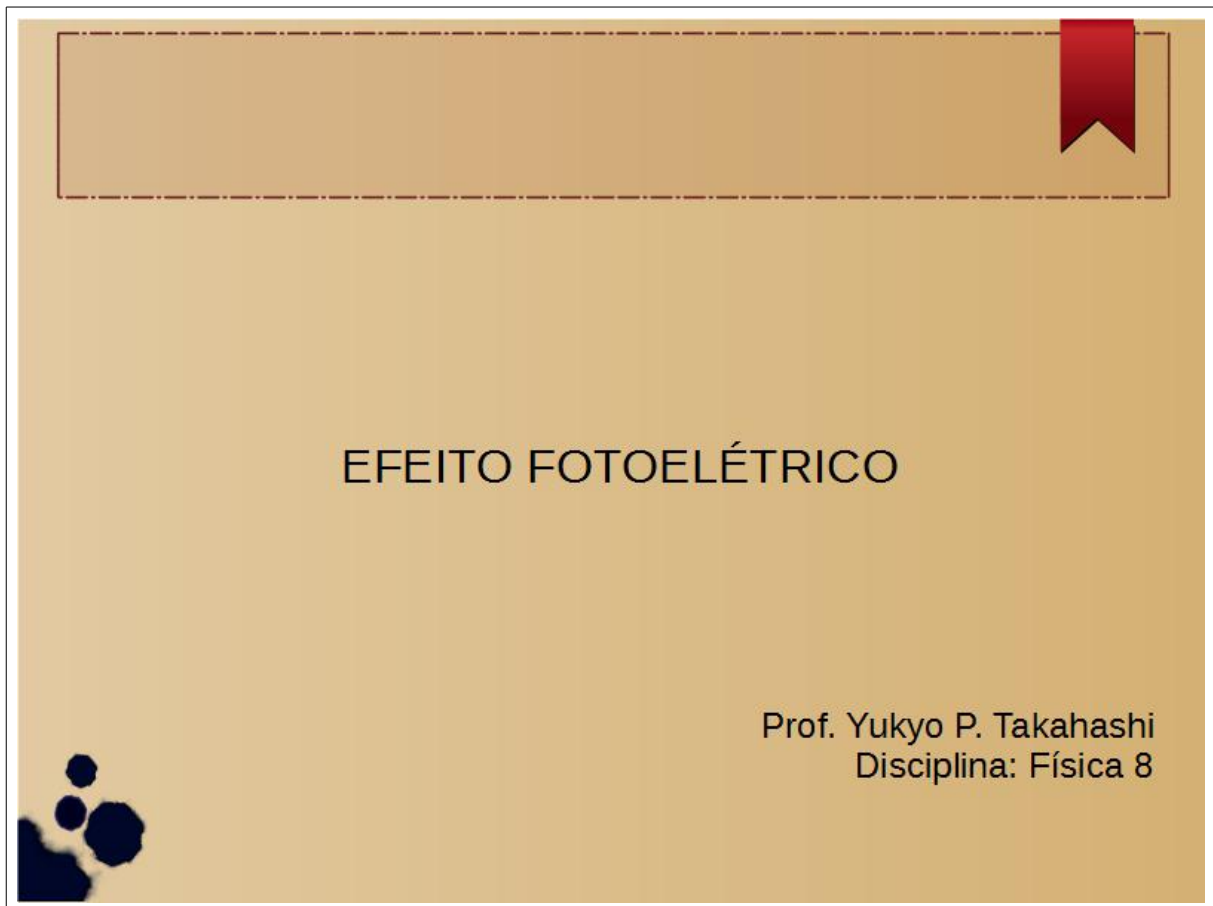
TERRAZZAN, Eduardo A. A Inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola do 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Santa Catarina, v. 3, n. 3, p. 209-214, dez. 1992. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392/6785>> Acesso em: 09 dez. 2013

THORNTON, Stephen T; REX, Andrew. Modern Physics for Scientists and Engineers. 4. ed. EUA: Cengage Learning, 2013.

VALENTE, Ligia; BARCELLOS, Marcília Elis; SALEM, Sonia; KAWAMURA, M^a. Regina D. E=MC2 Uma Abordagem para Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10, 2006, Londrina. **Anais eletrônicos...** Curitiba. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/sys/resumos/T0147-1.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2013.

VASCONCELOS, Francisco H. L; SALES, Gilvandenys L; MELO, Bergson R. S. de; SILVA, Verônica M^a. L; CASTRO FILHO, José A de; PEQUENO, Mauro C. Uma análise do uso de Objeto de Aprendizagem como ferramenta de modelagem exploratória aplicada ao ensino de Física Quântica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17, 2007, São Luis. **Anais eletrônicos...** Maranhão. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0065-1.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2013.

VERTCHENKO, Lev; WERKHAIZER, Fernando Eustáquio. Trabalhando Fundamentos De Mecânica Quântica No Mestrado Profissionalizante. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17, 2007, São Luis. **Anais eletrônicos...** Maranhão. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0279-2.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2014.

APÊNDICE B – Material de apoio.

INTRODUÇÃO

Em 1886 e 1887 Heinrich Hertz comprovou a existência de ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz.



INTRODUÇÃO

Hertz, no decorrer das investigações, notou a produção de centelhas e que, quando incidido luz ultravioleta, mais fácil era gerá-las.

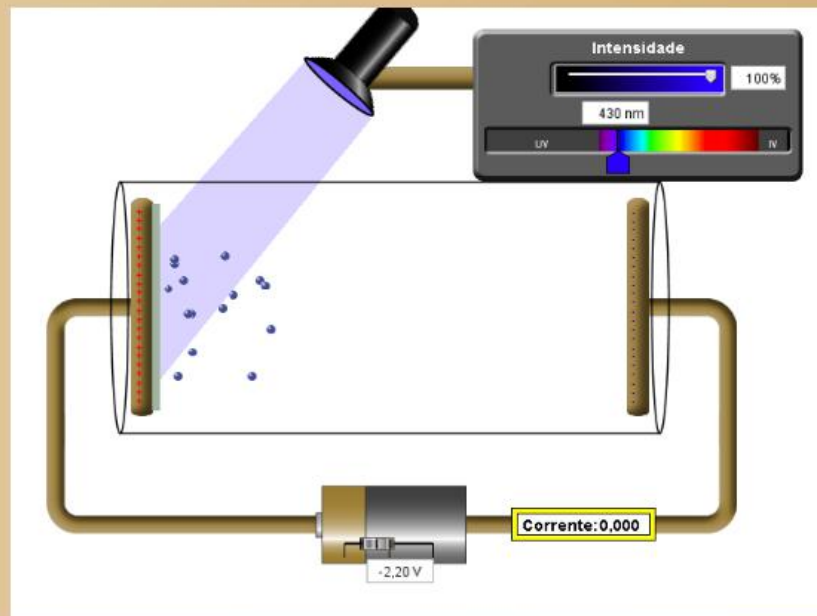


INTRODUÇÃO

Lenard segue as observações feitas por Hertz. E mostra que a luz ultravioleta facilita a descarga ao fazer com que elétrons sejam emitidos da superfície do catodo. Efeito chamado de Efeito Fotoelétrico.

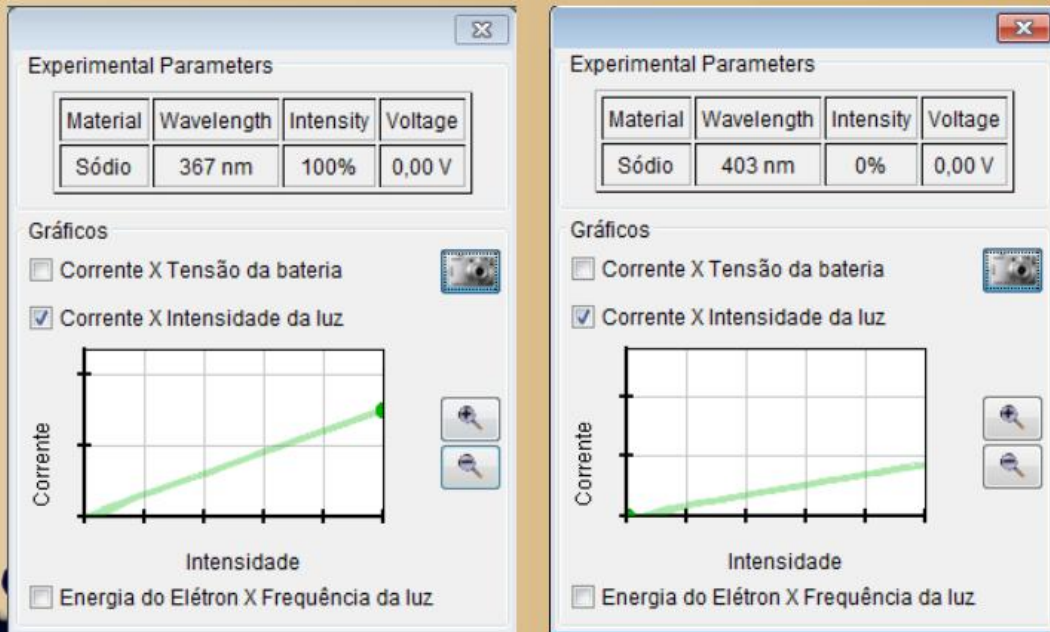


EFEITO FOTOELÉTRICO



Fonte: Gerada pelo *applet* PHET, 2015

Resultados Experimentais



Fonte: Gerada pelo *applet* PHET, 2015

Resultados Experimentais

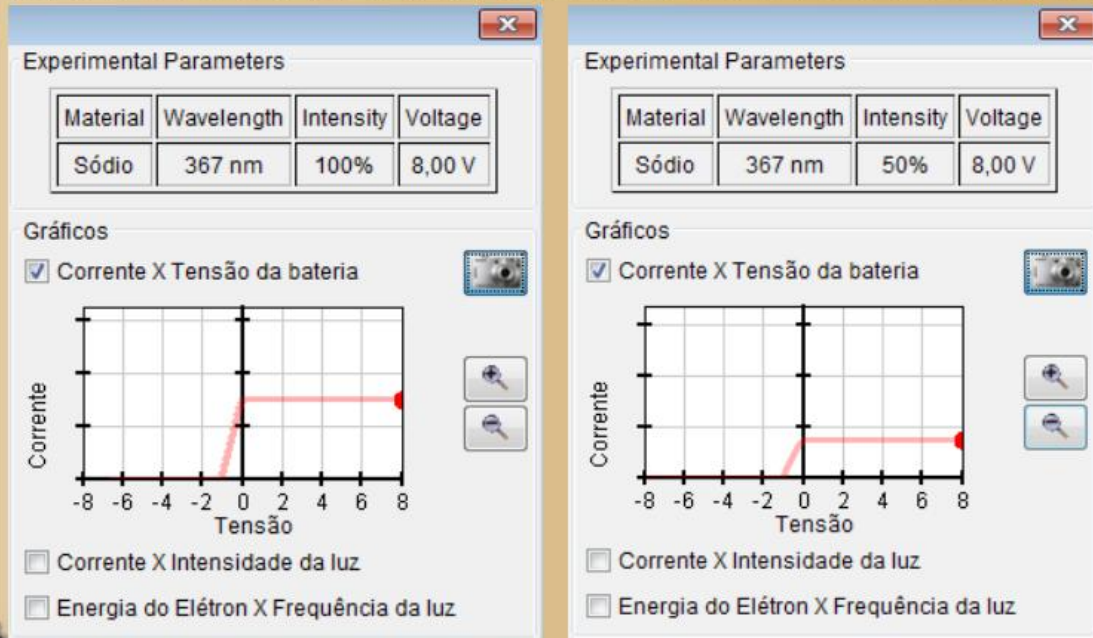


7

Fonte: SPED <https://www.youtube.com/watch?v=WO38qVDGgqw&feature=related>

/

Resultados Experimentais



Fonte: Gerada pelo *applet* PhET 2015

Evidências Experimentais

- Intensidade baixa.
- Intensidade alta.
- Só há corrente fotoelétrica para algumas frequências.



Resultados Experimentais

- Independente da intensidade da luz
- Corrente fotoelétrica. ($f \geq f_0$)
- A frequência f_0 é característica do metal irradiado.
- Existe uma frequência abaixo da qual não há emissão de elétrons, para cada tipo de material.



Fatos Experimentais

- Corrente depende da Intensidade.
- Emissão instantânea.
- Existe corrente fotoelétrica para certas frequências.



Previsões da Física Clássica

- Energia proporcional à intensidade do campo elétrico.
- Intensidade e Corrente Fotoelétrica.
(corrente de saturação)
- Energia espalhada na frente de onda.



Teoria Quântica de Einstein para explicar o Efeito Fotoelétrico

- Planck propôs que a radiação do corpo negro é composta de pacotes de energias.
- $E=h.f$
- $h=6,6262 \times 10^{-34} \text{ J.s}$



Postulados

- Energia quantizada dada por $h.f$.
- O fóton transfere toda a energia.
- Interação em pares.

CIÊNCIA CURIOSA – EFEITO FOTOELÉTRICO.
https://www.youtube.com/watch?v=_vBBpcJofj0



TEORIA

- De acordo com Einstein, a radiação pouco intensa consiste em poucos fótons.
- Energia depende unicamente da frequência da luz.
- Um fóton cede toda energia ao elétron e este será emitido.
- Segundo Einstein, os pacotes de energias (*quantas*) conservam a identidade.
- A energia de um pacote emitido se mantém concentrada e igual a $h.f$



Teoria

- Corrente de saturação.
- A tensão ou ddp da bateria.
- A corrente fotoelétrica cai a zero.
- Carga do elétron.
- $E_{c_máx} = e.V_0$
- Mede a energia cinética do mais rápido fotoelétron.



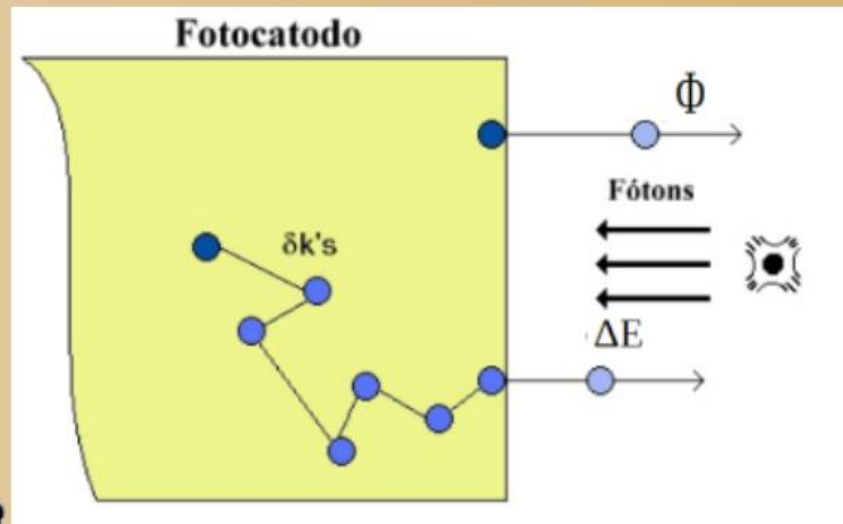
Teoria

- A hipótese que o fóton é completamente absorvido pelo elétron no fotocátodo.
- Einstein, propôs que a energia cinética de um fotoelétron será dada por:

$$E_c = h \cdot f - \Phi$$

Teoria

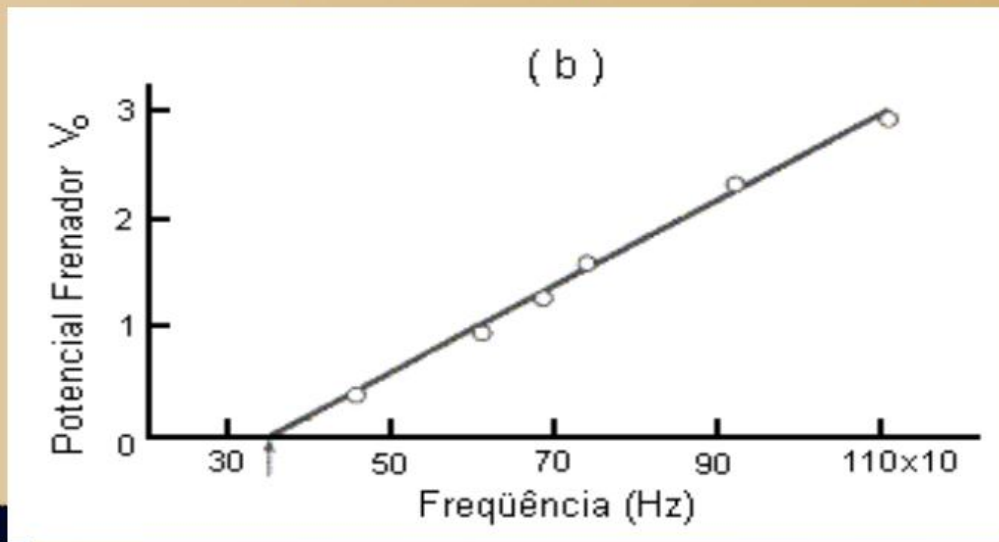
- Função Trabalho (característica do metal)



Fonte: <http://physika.info/physika/documents/fotoeletrico.pdf>

Resultado Experimental

- Limiar de Frequência ou Frequência de corte ($V_0 x f_0$)



Fonte: EISBERG E RESNICK, 1979.

Aplicações e Implicações

- Construção de maquinários capazes de produzir peças sem intervenção do homem.
- Aparelhos que controlam o tamanho de peças.
- Permite acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas.
- Uma célula fotoelétrica permite reconstituir os sons registrados nas películas do cinematógrafo.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Einstein em 1921 recebe o Premio Nobel por haver previsto teoricamente o Efeito Fotoelétrico.
- Antes que Millikan validasse experimentalmente em 1914.
- Indicado para a Academia Prussiana de Ciências por Planck e outros



CONSIDERAÇÕES FINAIS

“Em resumo, podemos dizer que dificilmente haverá um grande problema, dos quais a física moderna é tão rica, ao qual Einstein não tenha dado uma importante contribuição. Que ele tenha algumas vezes errado o alvo em suas especulações, como por exemplo em sua hipótese dos quantas de luz (fótons), não pode ser realmente colocado contra ele, pois é impossível introduzir ideias fundamentalmente novas, mesmo nas ciências mais exatas, sem ocasionalmente correr o risco ” . (Eisberg e Resnick, 1979, p. 57).



REFERÊNCIAS

CIÊNCIA CURIOSA – EFEITO FOTOELÉTRICO. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=_vBBpcJofj0>. Acesso em 10 de março de 2015.

EISBERG, R.; RESNICK, R. Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. 35ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

MARTINS, Jorge Simões de Sá. Portal Video Aulas – Física Moderna. Universidade Federal Fluminense: Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VCHCOdaXU4k>>. Acesso em: 14 jun 2014.

PhET. Disponível em <https://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_pt_BR.jnlp>. Acesso em: 23 de junho de 2015.

_____. Disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/about>. Acesso em: 23 de junho de 2015. SPED, Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=WO38qVDGgq&feature=related>>. Acesso em: 25 de junho de 2015.

THORNTON, Stephen T; REX, Andrew. Modern Physics for Scientists and Engineers. 4. ed. EUA: Cengage Learning, 2013.