INSTITUTO FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

FRANCISCO DE ASSIS LIMA DE SOUSA JUNIOR

UMA PROPOSTA DE ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

NILÓPOLIS – RJ
2017

Francisco de Assis Lima de Sousa Junior

UMA PROPOSTA DE ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências do Instituto Federal do Rio de Janeiro, modalidade profissional, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius da Silva Pereira

NILÓPOLIS – RJ
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial desta dissertação
para fins de estudo e pesquisa desde que a fonte seja citada.

CIP - Catalogação na Publicação

F819 Sousa Junior, Francisco de Assis Lima de
Uma proposta de ensino do efeito fotoelétrico utilizando simulação computacional a partir dos três momentos pedagógicos / Francisco de Assis Lima de Sousa Junior. -- Nilópolis, 2017.
88 f. : il

Orientador: Marcus Vinicius da Silva Pereira.
Dissertação (mestrado) - Instituto Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências, 2017.

1. ensino de ciências. 2. efeito fotoelétrico. 3. simulação computacional. I. Pereira, Marcus Vinicius da Silva, orient. II. Título.

Francisco de Assis Lima de Sousa Junior

UMA PROPOSTA DE ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências do Instituto Federal do Rio de Janeiro, modalidade profissional, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Data de aprovação: ___/ ___ / _____.

_____

Prof. Marcus Vinicius da Silva Pereira
Instituto Federal do Rio de Janeiro

_____

Profa. Sheila Cristina Ribeiro Rego
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca

_____

Prof. Alexandre Lopes de Oliveira
Instituto Federal do Rio de Janeiro

NILÓPOLIS – RJ
2017

AGRADECIMENTOS

A,,,,

SOUSA JUNIOR, Francisco de Assis Lima de. Uma proposta de ensino do efeito fotoelétrico utilizando simulação computacional a partir dos três momentos pedagógicos. 88p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências, Instituto Federal do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2017.

RESUMO

O currículo de física no ensino médio, durante muitos anos, se encontrava restrito à abordagem de tópicos pertencentes à física clássica, ou seja, conhecimentos produzidos pela ciência até o século XIX. Atualizações curriculares feitas a partir do final do século XX introduziram tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) que deram origem a grande parte da tecnologia atual. O efeito fotoelétrico, um dos tópicos de FMC e tema central deste trabalho, é o princípio de funcionamento de muitos dispositivos tecnológicos que usamos diariamente. Porém, trata-se de um fenômeno abstrato e de difícil observação e compreensão pelos estudantes, gerando um obstáculo para a sua aprendizagem. O uso da simulação computacional é um recurso utilizado em aulas de Física, por exemplo, para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem e servir como alternativa para ausência de um laboratório didático nas escolas. O objetivo deste trabalho é identificar as contribuições de uma sequência didática envolvendo o uso de simulações computacionais para o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico tendo por base os três momentos pedagógicos (Gehlen, Maldaner e Delizoicov). A estratégia foi aplicada durante quatro aulas de uma turma da 3ª série do ensino médio de um colégio localizado no município de Nova Iguaçu (RJ). Os dados foram coletados por meio de gravação em áudio dessas aulas, questionários e a avaliação bimestral da escola (prova escrita), e foram analisados através do método da análise de conteúdo de Bardin. Como resultados, podemos citar que houve uma evolução gradativa nas respostas dos questionários no decorrer da intervenção didática, aumento da capacidade de aplicação dos conhecimentos em situações reais e preferência por aulas com a simulação computacional por grande parte desses estudantes. Dessa forma, consideramos que a simulação computacional inserida no contexto dos três momentos pedagógicos é uma estratégia que pode auxiliar o ensino da FMC, uma vez que demonstrou resultados positivos, aumentando o interesse pelas aulas, melhorando o entendimento de conceitos físicos complexos e estimulando a capacidade de tomada de decisão.

Palavras-chave: efeito fotoelétrico; simulação computacional; três momentos pedagógicos.

SOUSA JUNIOR, Francisco de Assis Lima de. Uma proposta de ensino do efeito fotoelétrico utilizando simulação computacional a partir dos três momentos pedagógicos. 88p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências, Instituto Federal do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2017.

ABSTRACT

For many years high school physics curriculum was restricted to classical physics and the knowledge produced by science until the 19th century. Curricular updates made from the late 20th century introduced topics of Modern and Contemporary Physics (MCP) that gave rise to much of today's technology. The photoelectric effect, one of the topics of MCP and central theme of this work, is the principle of many technological devices that we use every day. However, it is an abstract phenomenon and there is difficulty to observe and understand by students, creating an obstacle to their learning. Computer simulation is a resource used in physics classes, for example, to aid in the teaching and learning process and supply the absence of a didactic laboratory in schools. The objective of this work is to identify the contributions of a didactic sequence involving the use of computer simulations for the teaching and learning process of the photoelectric effect based on the three pedagogical moments (Gehlen, Maldaner and Delizoicov). The strategy was applied during four classes of a high school located in the Nova Iguaçu city in Brazil. The data were collected through audio recording of these classes, questionnaires and an written test, and both were analyzed through content analysis Bardin's method. As results, there was a gradual evolution in the answers of the questionnaires during the didactic intervention, increase of the capacity of application of the knowledge in real situations and preference for classes with computer simulations by a large part of the students. Thus, we consider that the computer simulation inserted in the context of the three pedagogical moments is a strategy that can help the teaching of the MCP, since it has shown positive results, increasing the interest in the classes, improving the understanding of complex physics concepts and stimulating the capacity of decision-making.

Keywords: photoelectric effect; computer simulation; three pedagogical moments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Circuito utilizado por Hertz para produzir *sparks* em circuitos distintos.	21
Figura 2	Aparato experimental criado por Lenard para investigação do efeito fotoelétrico.	22
Figura 3	(a) Oscilador eletromecânico em interação com a radiação eletromagnética, na descrição de Planck; (b) Oscilador eletromecânico em interação com a radiação eletromagnética, na descrição de Einstein.	24
Figura 4	Gráfico $E_{c(máx)}$ x f para o efeito fotoelétrico.	25
Figura 5	Gráfico V x f indicando o potencial de corte (V_0).	26
Figura 6	Ilustração da simulação computacional do Efeito Fotoelétrico retirada do PhET.	35
Figura 7	Imagem dos três equipamentos apresentados: porta automática, poste e câmera digital.	47
Figura 8	Esquema de funcionamento da porta automática (a), poste de iluminação (b) e câmera digital (c).	48
Figura 9	Ilustração da tentativa de determinação do potencial de corte através do simulador.	56
Figura 10	Circuitos: despertador e armadilha.	57
Gráfico 1	Contribuição da sequência didática para a compreensão do assunto.	61
Gráfico 2	Importância das atividades sugeridas para a compreensão do assunto.	62
Gráfico 3	Satisfação dos alunos em relação às aulas.	63
Gráfico 4	Contribuição da simulação computacional para a compreensão do assunto.	63
Gráfico 5	Satisfação dos alunos em estudar física.	64
Gráfico 6	Potencial do uso de simulações computacionais em aulas de física.	64
Gráfico 7	Rendimento dos alunos nas três questões sobre efeito fotoelétrico na prova bimestral.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Distribuição do número de artigos sobre o Efeito Fotoelétrico por revistas.	28
Quadro 2	Etapas da pesquisa e respectivos objetivos.	40
Quadro 3	Instrumentos de coleta de dados utilizados nas aulas de acordo com o momento pedagógico.	42
Quadro 4	Planificação didática das atividades desenvolvidas.	45
Quadro 5	Respostas dos alunos às perguntas do professor na fase de Problematização Inicial	49
Quadro 6	Desempenho da turma na questão 1.	51
Quadro 7	Desempenho da turma na questão 2.	51
Quadro 8	Desempenho da turma na questão 3.	52
Quadro 9	Desempenho da turma na questão 4.	52
Quadro 10	Desempenho da turma na questão 5.	53
Quadro 11	Exemplos de respostas que evoluíram conceitualmente.	55
Quadro 12	Síntese do resultado da aplicação da atividade.	58
Quadro 13	Categorias de respostas dos alunos quantificadas e exemplificadas.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3MP	Três Momentos Pedagógicos
AC	Análise de Conteúdo
CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
C&E	Ciência & Educação
CM	Currículo Mínimo
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
IENCI	Investigações em Ensino de Ciências
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PhET	Simulações Interativas em Ciências e Matemática
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
RBPEC	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
SAERJ	Sistema de Avaliação do Estado do Rio de Janeiro
SEEDUC-RJ	Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	**PROBLEMATIZAÇÃO**	10
2	**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**	16
2.1	A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO	16
2.2	O EFEITO FOTOELÉTRICO	20
2.3	AS PESQUISAS SOBRE O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO	27
2.4	O USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA	31
2.5	OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS	36
3	**METODOLOGIA**	39
3.1	NATUREZA DA PESQUISA	39
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
3.3	CENÁRIO EMPÍRICO	43
3.4	ESTRATÉGIA DIDÁTICA	44
4	**RESULTADOS**	46
4.1	PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL	46
4.2	ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO	50
4.2.1	**Primeira aula**	50
4.2.2	**Segunda aula**	54
4.3	APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO	57
4.4	AVALIAÇÃO DA ESTRATÉGIA DIDÁTICA	61
5	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	67
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICES	75

1 PROBLEMATIZAÇÃO

A inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM) vem sendo cada vez mais discutida no meio acadêmico, consolidando-se como uma linha de pesquisa na área de Ensino de Física (SILVA, ARENGHI e LINO, 2013). Trata-se de uma parte da Física que representou uma ruptura do pensamento clássico, que se tornou limitado frente às descobertas que surgiram a partir do século XX, promovendo, assim, um avanço no conhecimento científico, o qual não poderia ser alcançado sem os novos conceitos e teorias propostos pelos cientistas dessa época.

Pesquisas sobre a introdução de FMC no EM tiveram início, aproximadamente, após a década de 1980, e o crescente número de publicações, até o momento, demonstra a importância que os pesquisadores vêm dando nos últimos anos ao desenvolverem estratégias de ensino para introduzir conceitos de FMC no EM (TERRAZZAN, 1994 *apud* OSTERMAN e MOREIRA, 2001).

De acordo com um levantamento realizado por Silva, Arenghi e Lino (2013), as justificativas mais frequentemente encontradas em trabalhos acadêmicos que abordem a inclusão de tópicos de FMC nos currículos escolares são: (i) importância na compreensão das tecnologias da atualidade; (ii) a FMC representou uma mudança de paradigma da Física dando uma importante noção de desenvolvimento das ciências; (iii) a FMC como subsídio à compreensão crítica das questões atuais que envolvem ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Gomes (2011) afirma que a física ensinada nas escolas até então se encontra com mais de 100 anos de atraso, pois concentra o seu conteúdo em conhecimentos produzidos até 1900, não correspondendo ao desenvolvimento do pensamento científico que vivenciamos. Porém, a maior parte das pesquisas sobre o tema defende uma atualização curricular, uma vez que na organização do ensino de física se tem a impressão de que não houve avanço da ciência após o século XIX.

Apesar de muitos trabalhos que envolvem a inserção de FMC no EM ainda apontarem para a necessidade de atualização do currículo de física, essa medida já vem se tornando uma realidade há algum tempo. Documentos oficiais sugerem a inclusão desses conteúdos nos currículos escolares como, por exemplo, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (BRASIL, 2000), as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) e o texto preliminar da Base Nacional Comum

Curricular (BRASIL, 2016). Como reflexo, provas que visam avaliar e/ou classificar os estudantes do ensino médio, como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e os principais vestibulares do país como a FUVEST, passaram a abordar tópicos relacionados à FMC, fato que levou o mercado editorial a reformular os livros didáticos e, atualmente, podemos observar que tais tópicos estão presentes em praticamente todos os livros de física voltados ao EM. Como exemplo, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012 aprovou dez livros de física e todos eles continham conteúdos de FMC (DOMINGUINI, MAXIMIANO e CARDOSO, 2012).

As pressões do meio acadêmico que se refletem nas esferas decisórias em termos de políticas curriculares e editoriais para que sejam inseridos no EM conteúdos relacionados aos conhecimentos científicos produzidos a partir do século XX, manifestadas pelo crescente número de trabalhos sobre FMC na área de ensino de Física, começaram a surtir efeito nas escolas públicas estaduais do Rio de Janeiro. O Currículo Mínimo (CM), recentemente implementado pela Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ), apresenta tópicos de FMC distribuídos nas três séries do EM (RIO DE JANEIRO, 2012), e o Sistema de Avaliação do Estado do Rio de Janeiro (SAERJ) exige a aprendizagem desses conteúdos. A inclusão da FMC em todas as séries do EM representou uma inovação curricular em relação à clássica divisão dos conteúdos da física – 1ª série, mecânica; 2ª série, termologia, ótica e ondas; 3ª série, eletricidade, magnetismo e FMC – resultando, de certa forma, em preocupação e/ou despreparo por parte de alguns professores, uma vez que ainda é ponto de discussão, tanto no meio acadêmico como no educacional, quais os tópicos e como devem ser abordados no EM.

Podemos dizer, dessa forma, que apesar dos esforços citados e do já iniciado processo de inserção da FMC no EM, esbarramos na falta de qualificação dos docentes para trabalharem esses conteúdos em sala de aula. Monteiro e Nardi (2009) afirmam que muitos professores, após a formação inicial, ainda não adquirem autonomia suficiente para ensinar FMC no EM. Além disso, o alto grau de abstração exigido ao ensinar esses conteúdos configura-se como um obstáculo a mais para ser superado pelos docentes, sendo necessário desenvolver cursos de capacitação e novos materiais didáticos. Em trabalho mais recente, Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2013) detectaram problemas na formação inicial com relação às abordagens de FMC, em que professores recém-licenciados relataram que os cursos referentes a esse tema durante a formação inicial obedeciam estritamente ao programa, ocorrendo de maneira predominantemente expositiva, sem discutir as possíveis aplicações nem as relações com outras áreas. Os tópicos de FMC, durante a formação inicial de professores de física, geralmente, são

trabalhados de maneira desvinculada da sala de aula da educação básica, principais lócus de atuação do profissional docente, com uma linguagem complexa e matemática incompatível e não problematizada com o nível de ensino para o qual o licenciando está sendo formado. Mesmo em disciplinas destinadas a problematizar o ensino de física (tais como instrumentação para o ensino, metodologia do ensino de física, entre outras), parece que a preocupação recai apenas à física clássica.

Além disso, o alto grau de abstração e a falta de intimidade dos estudantes com os fenômenos relacionados à FMC são elementos que podem dificultar a aprendizagem. As aulas prático-experimentais, que muitas vezes poderiam ajudam a minimizar tais problemas, esbarram na necessidade de um laboratório equipado e, em especial, no caso dos fenômenos relacionados à FMC, os equipamentos experimentais são de grande porte ou de difícil observação detalhada (SOARES, MORAES e OLIVEIRA, 2015). Soma-se, ainda, a esse entrave, as condições de trabalho de grande parte dos professores no cenário educacional brasileiro para desenvolver atividades prático-experimentais nas escolas, que demandam "organização e disponibilidade [...], especialmente quando ele não é dedicado exclusivamente às aulas de laboratório, fato comum em grande parte das escolas brasileiras, e ainda mais quando precisa trabalhar em mais de uma escola e com condições cada vez mais desfavoráveis" (PEREIRA e MOREIRA, 2017, p.8).

Um tópico importante dentro da FMC e considerado por muitos como a pedra fundamental da física quântica é o efeito fotoelétrico, fenômeno que não é facilmente reproduzido em sala de aula. Utilizar apenas o quadro negro e o livro didático para trabalhar esse tema dificilmente trará bons resultados para a aprendizagem dos estudantes, pois discutir o funcionamento de dispositivos tecnológicos por meio de imagens ou diagramas estáticos, por mais precisos que sejam, pode ser insuficiente para a compreensão dos alunos. É necessária a observação do fenômeno e variação de situações para que o aluno assimile e compreenda o modelo físico apresentado pelo professor, não resumindo o ensino à memorização de fórmulas (GOMES, 2011), pressuposto esse que consideramos essencial não apenas ao efeito fotoelétrico, mas a maioria dos fenômenos físicos.

Uma alternativa utilizada para auxiliar os docentes nessa empreitada e que pode minimizar os problemas de abstração decorrentes do ensino da FMC é o uso de simuladores computacionais. Se adequadamente utilizado, esse recurso didático permite reproduzir fenômenos físicos por meio animações e visualizar os seus mecanismos, ajudando na compreensão dos conceitos envolvidos, além de possuir aspecto motivacional ao trazer dinamismo e praticidade às aulas. Por outro lado, se não planejada, a sua utilização pode criar

um clima de deslumbramento por parte do professor e/ou dos alunos que pode se distanciar do principal objetivo que é a aprendizagem, sobretudo quando a simulação é vista apenas de maneira contemplativa (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002). Dessa maneira, um simulador pode suprir, inclusive, a ausência de laboratórios e equipamentos ao se ensinar determinados tópicos (CARDOSO e DICKMAN, 2012).

Dentre os diversos tópicos que compõem a chamada FMC, escolhemos o efeito fotoelétrico como temática desta dissertação de mestrado devido à sua importância para o desenvolvimento de algumas tecnologias atuais. Outro motivo para a escolha desse tema envolve a dificuldade do próprio autor deste trabalho ao abordar o efeito fotoelétrico pela primeira vez com seus alunos, pois não possuía experiência e uma base sólida de conhecimentos referentes ao tema, mesmo sendo graduado em física. Quando a SEEDUC-RJ apresentou o CM para a disciplina de física (RIO DE JANEIRO, 2012), incluiu o efeito fotoelétrico como um dos tópicos a serem ensinados aos alunos do ensino médio da rede estadual. Com isso, foi necessário, em pouco tempo, uma revisão sobre esse tema a fim de desenvolver uma estratégia didática, fato que gerou resultados negativos à época. Essa experiência, que ocorreu antes deste autor ingressar no curso de mestrado profissional do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências (PROPEC) do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), foi decisiva para a delimitação da proposta para a dissertação e o produto educacional, resultando na seguinte questão de pesquisa: quais as contribuições de uma sequência didática envolvendo o uso de simulações computacionais para o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico tendo por base os três momentos pedagógicos?

Como objetivo geral, buscamos identificar as contribuições, para o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico, de uma sequência didática que faça uso de recursos como imagens e simulações computacionais pré-selecionadas. Essa sequência didática foi elaborada com base no método didático-pedagógico chamado de Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Gehlen, Maldaner e Delizoicov (2012). Optamos por esse referencial teórico por se tratar de uma metodologia problematizadora que aproxima o aluno do seu cotidiano e que vem sendo utilizada em alguns trabalhos com resultados positivos. Os 3MP defende uma abordagem dialógica, em que o professor identifica as concepções prévias dos seus alunos e discute novas situações para que os mesmos percebam a necessidade de aprender mais sobre o assunto que julgavam conhecer plenamente. Dessa forma, a motivação dos alunos em aprender pode se tornar maior, pois o professor trabalhará conteúdos que eles vivenciam, estimulando-os a aplicar os conhecimentos adquiridos.

Como produto educacional resultante da dissertação de mestrado profissional, apresentamos uma proposta que norteia a elaboração da sequência didática para o professor que deseje abordar o efeito fotelétrico por meio da estratégia que faz uso de simulações computacionais e os 3MP. Esse produto contém textos de apoio, sugestões de atividades e um roteiro de utilização da simulação computacional.

Dessa forma, o trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

a) realizar um levantamento bibliográfico sobre propostas e obstáculos para ensinar o efeito fotoelétrico no EM a fim de subsidiar a confecção da sequência didática;
b) elaborar uma sequência didática com base nos 3MP e que faça uso de simulações computacionais;
c) aplicar a sequência didática nas aulas de física de uma turma regular de ensino médio com intuito de descrever aspectos relacionados à motivação e à aprendizagem do efeito fotoelétrico;
d) identificar pontos positivos e negativos da aplicação da sequência didática.

Para cumprir os objetivos propostos, foi realizada uma pesquisa de natureza qualitativa em que os resultados surgiram por meio da aplicação do produto educacional e observação dos estudantes durante as aulas em que a sequência didática foi implementada. Com isso, a dissertação está estruturada em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, apresentamos a problematização, ou seja, contextualizamos e justificamos a pesquisa com um panorama do processo de inserção da FMC no EM, mostrando que a aprendizagem desses conteúdos já é uma exigência em documentos oficiais. Indicamos também possíveis obstáculos para essa inserção e sugerimos a simulação computacional como alternativa para minimizar tais dificuldades, resultando em nosso problema (a questão de pesquisa) e os objetivos geral e específicos.

No capítulo dois apresentamos a fundamentação teórica dividida em cinco subseções. Primeiro discutimos de maneira mais ampla os tópicos de FMC que fazem parte do currículo escolar e como esses assuntos vêm sendo abordados nos livros didáticos e fatores que dificultam a sua aprendizagem. Em seguida, apresentamos uma revisão do conceito de efeito fotoelétrico desde a sua descoberta até o modelo de Einstein e suas equações que configuram a base teórica da física da dissertação e do produto educacional. Um levantamento bibliográfico sistematizado nos principais periódicos da área de ensino (Qualis CAPES de estratos A1 e A2) compõe a terceira subseção, evidenciando o que vem sendo apresentado nas pesquisas sobre o ensino do efeito fotoelétrico. Ainda com caráter de revisão bibliográfica, na subseção seguinte discorremos sobre o uso de simulações computacionais no ensino de física, e, ao final,

concluímos nossa fundamentação teórica apresentando o modelo didático-pedagógico dos Três Momentos Pedagógicos (3MP).

O terceiro capítulo é destinado à metodologia do trabalho, quando são expostos a natureza da pesquisa, os procedimentos metodológicos, o cenário empírico e a estratégia didática desenvolvida e implementada em sala de aula. Já os resultados são apresentados no quarto capítulo, subdivididos em cada um dos três momentos pedagógicos além de uma avaliação da estratégia didática. Como capítulo final, são feitas nossas considerações finais. O trabalho apresenta ainda três apêndices: o produto educacional desenvolvido, o questionário de avaliação da estratégia e a prova bimestral da escola.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Introduzir conteúdos de FMC no EM não têm sido tarefa fácil para os professores, uma vez que esse objetivo não parece ter muita importância nos cursos de formação de professores e muitos desses nunca deram aula sobre esses assuntos (MONTEIRO e NARDI, 2009). Além disso, o conhecimento científico produzido a partir do século XX e utilizado atualmente em muitas das tecnologias que dispomos necessita ser recontextualizado[1] em uma linguagem que esteja de acordo com o nível de ensino a que se destina.

Segundo Ostermann e Moreira (2001), é preciso elaborar um maior número de materiais acessíveis aos professores e associados aos cursos de formação inicial e continuada. Esses autores consultaram diversos materiais de ensino de FMC e observaram que esses se caracterizam por serem densos e demandarem conhecimentos prévios que apenas especialistas na área possuem. Mas que conhecimentos são esses? Como os assuntos abordados na FMC se diferenciam daqueles estudados pela física clássica? Que conteúdos de FMC devem ser trabalhados no EM? Como fazer a transposição didática desses conteúdos? Por que ensinar o conceito de efeito fotoelétrico e o que queremos que os alunos aprendam? Como a simulação computacional pode contribuir para o aprendizado desse tema? Nas cinco subseções a seguir que compõem nossa fundamentação teórica, discutimos as possíveis respostas para essas questões.

2.1 A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO

A geração atual de estudantes convive diariamente com os mais diversos tipos de aparelhos, dispositivos e sistemas eletrônicos. Os avanços tecnológicos que ocorreram nas últimas décadas proporcionaram benefícios em áreas como telecomunicações, saúde e industrial, se tornando imprescindível para a sociedade, mesmo que em alguns casos haja fortes críticas sobre como a sociedade se apropria da tecnologia. Mesmo assim, podemos afirmar que o saldo é positivo e, por este motivo, Valadares e Moreira (1998), em artigo que versa sobre efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro, consideram de suma importância que os alunos conheçam os fundamentos das tecnologias.

---

[1] Como não é tema deste trabalho, não nos preocuparemos em distinguir os conceitos de transposição didática e recontextualização didática.

Há cerca de 40 anos pesquisadores vem defendendo a inserção de FMC no EM e essa pressão da comunidade acadêmica está obtendo sucesso, pois alguns tópicos como efeito fotoelétrico, efeito Compton, radiação de corpo negro, átomo de Bohr, dualidade onda-partícula, entre outros já podem ser encontrados na maioria dos livros didáticos, nos currículos oficiais e escolares e também em programas de concursos. Porém, segundo Rezende Junior e Cruz (2003), não há um consenso entre os pesquisadores sobre se são esses os conteúdos de FMC que devem ser ensinados, em que parte do currículo devem ser introduzidos e como preparar os professores para realizar essa missão.

Para Brockinton e Pietrocola (2005), a dificuldade de se ensinar FMC no EM com qualidade é devida principalmente à utilização da mesma forma de transposição didática usada para o ensino da física clássica. Essa prática acaba por transformar um exercício sobre partículas elementares em um problema de colisões de bolinhas, ou seja, apenas mudando os nomes dos elementos envolvidos. Com isso, o ensino de FMC pode se tornar algo cansativo, inexpressivo e enfadonho como acontece, por exemplo, no ensino da cinemática em que se enfatiza a matematização e pouco se discute a educação no trânsito. Esses autores sugerem, então, que a inserção da FMC seja realizada, de maneira geral, por meio de uma transposição didática com ênfase na argumentação filosófica privilegiando características qualitativas do conhecimento, pois, dessa maneira, seria possível fugir do formalismo matemático e das representações probabilísticas.

Paulo e Moreira (2011) apontam o problema da linguagem, enquanto conjunto de signos com o qual nos comunicamos e construímos conhecimento, como um dos aspectos que dificultam a abordagem da física quântica no EM. Os conceitos da física clássica foram construídos e modificados ao longo do tempo e, assim, novas terminologias foram surgindo, adaptações da linguagem comum foram feitas e o campo de conceitos foi se delineando e se expandindo. Dessa forma, quando novos termos são criados, os mais antigos ganham um maior domínio de aplicabilidade. Os autores defendem a manutenção da linguagem clássica para se tratar de um novo corpo de conhecimentos como a física quântica, porém, essa linguagem deve ser usada com cuidado para não ocorrerem excessos que podem representar obstáculos na aprendizagem. Um exemplo disso é que a física clássica tem caráter determinístico enquanto a quântica possui uma abordagem probabilística.

A FMC é uma área da física que se originou devido à incapacidade da física clássica em resolver os problemas que surgiram a partir do início do século XIX, culminando com a quebra de paradigmas. Por esse motivo, essas duas áreas da física possuem profundas diferenças conceituais. Segundo Ostermann e Moreira (2000), três vertentes representativas de abordagens

metodológicas para a introdução de FMC no EM têm sido consideradas: (i) exploração dos limites clássicos, (ii) não utilização de referência aos modelos clássicos e (iii) escolha de tópicos essenciais. Enquanto alguns autores criticam o uso de analogias clássicas no ensino de FMC, outros consideram que a sustentação na física clássica e a escolha de poucos, mas importantes tópicos facilitam a aprendizagem de FMC.

Ostermann e Moreira (1998) elaboraram uma lista de tópicos de FMC que poderiam estar presentes no EM, porém sem propor qualquer tipo de estratégia didática para o professor abordar esses assuntos. Alguns desses tópicos, em que pese da data da publicação no final da década de 1990, são justamente os que figuram nos livros didáticos e orientações curriculares atuais, a saber: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origens do universo, raio-X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, big-bang, estrutura molecular e fibra ótica. Por outro lado, Rezende Junior e Cruz (2003) afirmaram que os tópicos presentes nessa lista possuem bases conceituais diferentes e também temas complexos, e, portanto, não representa a estrutura de um programa de ensino e nem deixa claro o que se pretende alcançar com eles. Esses autores defendem uma inserção pontual desses tópicos, pois se configuraria como um elemento facilitador, minimizando as questões curriculares.

No CM elaborado pela SEEDUC-RJ, os tópicos de FMC foram inseridos de maneira pontual e distribuídos nas três séries do EM. A justificativa é que esses conteúdos atraem a atenção dos alunos e dão maior significado ao estudo da física. Além disso, os elaboradores do CM acreditam que não é necessário que seja ensinado todo o conteúdo da física clássica para que se possa abordar temas contemporâneos (RIO DE JANEIRO, 2012). Dentre os conteúdos estabelecidos para a primeira série, o campo[2] "relatividade restrita e geral" aparece para ser trabalhado durante todo o 3º bimestre. Aparentemente sem uma justificativa didática, esse tópico da FMC figura entre os campos "forças" (2° bimestre) e "impulso, momento linear e conservação de momento" (4° bimestre). O objetivo principal de acordo com o CM "é compreender que a Teoria de Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o universo e uma nova visão de mundo" (RIO DE JANEIRO, 2012, p.6). Já o programa da segunda série apresenta como tema para ser abordado em todo o 4º bimestre, a "energia nuclear – usinas nucleares – reações nucleares". Como objetivos podemos citar: "compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na

[2] O Currículo Mínimo intitula de campo a temática a ser trabalhada no bimestre (RIO DE JANEIRO, 2012).

natureza e em sistemas tecnológicos" e "conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina" (RIO DE JANEIRO, 2012, p.8). Finalmente, para a terceira série do EM, é proposto que o campo "fenômenos ondulatórios – natureza da luz – efeito fotoelétrico" seja trabalhado em todo o 4° bimestre, com os objetivos de "reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos" e "discutir modelos para a explicação da natureza luz, vivenciando a ciência como algo dinâmico em sua construção" (RIO DE JANEIRO, 2012, p.10).

Dominguini, Maximiano e Cardoso (2012) fizeram uma análise da forma como os autores dos livros didáticos apresentam os conteúdos de FMC em suas obras e encontraram uma evolução na tentativa de inserção desses conteúdos nos livros. No entanto, eles concluíram que ainda se trata de um tema que carece de maior discussão para obter um consenso a respeito das metodologias a serem adotadas, da escolha dos temas e o momento de abordá-los. Como fatores que dificultam a introdução da FMC no EM, esses autores indicam a quantidade excessiva de assuntos relacionados à física clássica, a carga horária reduzida para a disciplina física, a falta de material pedagógico adequado e a falta de conhecimento sobre o tema por parte dos professores, sendo esse último considerado por eles como o mais grave. Por esse motivo, defendem que a solução para melhorar esse panorama está em uma formação continuada para os professores, pois se tratam de temas que passaram a ter maior importância com o avanço das tecnologias, e durante a formação inicial desses docentes provavelmente essas novas tecnologias ainda não tinham surgido.

No entanto, para Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2013), o problema pode residir justamente na formação inicial, chegando a essa constatação a partir de entrevistas com licenciandos em física de duas universidades federais localizadas na mesma cidade e que já haviam cursado as disciplinas Física Moderna e Estrutura da Matéria. O objetivo era coletar as opiniões deles acerca de como a FMC vinha sendo trabalhada na formação inicial docente. A partir dos discursos dos entrevistados, os autores perceberam que a abordagem dos conteúdos de FMC nos cursos de licenciatura em física se caracterizava por priorizar o cumprimento do programa da disciplina, restringia-se à explanação dos conteúdos, ausência de discussões sobre as aplicações desses conhecimentos e falta de abordagem sobre como trabalhar esses conteúdos no EM. Concluíram, então, que a formação inicial ainda está pautada na perspectiva da racionalidade técnica ao invés de uma perspectiva crítica que possibilite ao docente uma autonomia em termos de conteúdo e de estratégias de ensino.

Antes de pensarmos em uma racionalidade menos técnica para abordagem do efeito fotoelétrico, apresentamos na subseção a seguir esse tópico com todo seu formalismo advindo do desenvolvimento científico para, após isso, podermos problematizar o ensino e fornecer subsídios ao professor por meio de uma estratégia associada a uma metodologia de ensino.

2.2 O EFEITO FOTOELÉTRICO

O efeito fotoelétrico é um fenômeno cuja descoberta, mesmo que de forma acidental, é atribuída por muitos pesquisadores ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) por volta do ano de 1893. Porém, a sua explicação definitiva viria apenas em 1905, no chamado "ano miraculoso de Einstein", em que o célebre cientista publicou cinco artigos que revolucionaram as leis da física. Dentre eles, está o trabalho intitulado "*Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*", que se refere à interpretação do efeito fotoelétrico e que rendeu a ele o Prêmio Nobel daquele ano.

No final do século XIX, a física vivia uma situação no mínimo inusitada, pois, nessa época, quase todos os fenômenos até então descobertos já possuíam teorias que os explicassem e essas teorias eram sempre bem definidas, consolidadas e em acordo com as leis da física clássica. As leis de Newton para a mecânica e para a gravitação descreviam com bastante precisão o movimento dos corpos celestes e terrestres, a teoria ondulatória da luz desenvolvida por Fresnel e Young explicavam os fenômenos de difração e interferência, e a teoria de James Clerk Maxwell permitiu a unificação da eletricidade e do magnetismo. Comentava-se na comunidade científica da época que o trabalho dos físicos, a partir daí, seria aperfeiçoar os experimentos para medir com precisão algumas constantes fundamentais e trabalhar as aplicações de todo esse conhecimento adquirido ao longo do tempo (MARTINS e ROSA, p.13, 2014).

Contudo, existiam dois problemas ainda sem respostas e que acabaram indicando um novo rumo para a física. O primeiro deles correspondia a uma inconsistência entre o eletromagnetismo e a mecânica clássica, revelada pelo experimento de Michelson-Morley, que mostrou a ausência de movimento da Terra em relação ao éter luminoso (SCHULZ, 2007). O segundo se refere a um conjunto de três fenômenos que insistiam em contrariar as leis da física clássica: a radiação do corpo negro, o espectro das raias dos elementos e o efeito fotoelétrico.

O surgimento das equações de Maxwell, na segunda metade do século XIX, representou a consolidação do eletromagnetismo pois além de descrever, em apenas quatro equações, todos

os fenômenos dessa área da física, elas deduziram que os campos elétricos e magnéticos se propagam como ondas com velocidade no vácuo igual à velocidade da luz nesse meio. Assim, foi possível concluir que a luz é uma onda de natureza eletromagnética.

A partir daí os físicos tinham como desfaio comprovar a teoria de Maxwell experimentalmente, quando Hertz elaborou um experimento de geração e detecção de ondas eletromagnéticas (Figura 1), que consistia em um circuito elétrico ligado a duas esferas de metal separadas por um pequeno espaço e um cabo em forma de anel com uma esfera de metal em cada extremidade. Esse circuito era formado por uma bateria conectada a uma chave (aberta) e um armazenador de eletricidade (garrafa de Leyden). Quando a chave é ligada, o circuito produz centelhas entre as esferas de metal que estão conectadas a ele e, ao aproximarmos o anel, observamos o aparecimento de centelhas também nas suas esferas simultaneamente. Dessa forma, as esferas metálicas conectadas ao circuito funcionavam como um transmissor (gerador) e as esferas metálicas do anel como um receptor (detector) de ondas eletromagnéticas. Hertz, então, acabara de comparar as centelhas a quem ele chamava de *sparks* com o comportamento da luz.

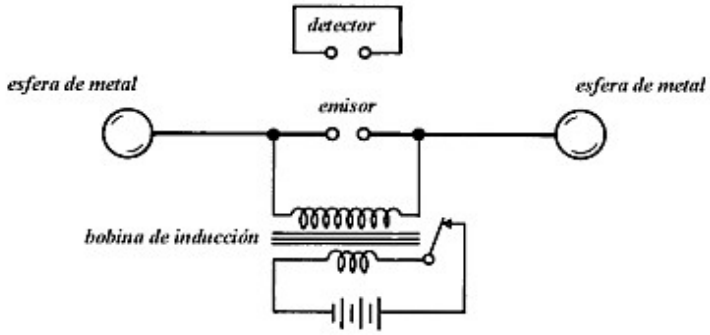


Figura 1: Circuito utilizado por Hertz para produzir *sparks* em circuitos distintos.
Fonte: http://www.histel.com/z_histel/biografias.php?id_nombre=53 (modificado)

Com o objetivo de observar melhor essas *sparks*, Hertz colocou o detector em uma câmara escura e, para a sua surpresa, essas centelhas apresentavam-se menos luminosas, ou seja, a luz ambiente influenciava na luminosidade das *sparks*, tornando-as mais fortes. A princípio, Hertz atribuiu esse fenômeno à luz ultravioleta presente durante a realização dos experimentos, mas não investigou a fundo esse fenômeno, que mais tarde viria a ser conhecido como efeito fotoelétrico, pois os seus objetivos eram outros conforme ele próprio relatou.

> Assim que eu soube que estava lidando com um efeito da luz ultravioleta, eu coloquei de lado essa investigação, para dirigir minha atenção para a questão principal mais uma vez. Entretanto, como certa familiaridade com o fenômeno é requerida na investigação das oscilações, eu publiquei um comunicado relatando esse fato". (HERTZ, 1893 *apud* MANGILI, 2012, p.46).

O também físico alemão Phillip Lenard (1862-1947), na época auxiliar de Hertz, abraçou a investigação desse ainda obscuro efeito, quando construiu um aparato experimental (Figura 2) que consistia em duas placas metálicas dentro de um tubo de vidro evacuado, ligadas a uma bateria, produzindo assim uma diferença de potencial entre elas. Uma das placas recebia um feixe de luz e um amperímetro conectado ao circuito detectava a presença de uma corrente elétrica. Era a prova de que a luz, ao interagir com a matéria, fazia com que cargas elétricas se desprendessem delas. Pouco tempo depois, o físico Thompson descobriria que essas cargas na realidade se tratavam de elétrons. No experimento, a diferença de potencial aplicada entre as placas proporcionava uma aceleração dos elétrons arrancados de uma placa em direção à outra.

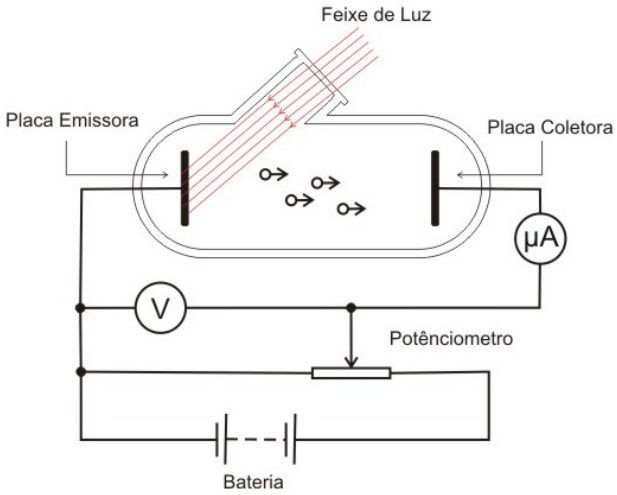


Figura 2: Aparato experimental criado por Lenard para investigação do efeito fotoelétrico.
Fonte: https://pt.wikipedia.org

Com o uso desse experimento, Lenard pôde observar que quanto mais forte fosse a luz incidente nas placas, maior era a quantidade de elétrons arrancados da placa, ou seja, o número de elétrons que se desprendiam da placa dependia da intensidade da luz incidente. Ele percebeu também que o efeito não ocorria para feixes de luz com frequência abaixo de uma determinada frequência mínima, cujo valor dependia do tipo de material de que a placa era constituída. Além disso, a energia cinética adquirida pelos elétrons após se desprenderem das placas não aumentava quando o feixe de luz era mais forte, uma vez que isso só ocorria quando se aumentava a frequência da luz incidente.

A primeira observação poderia ser perfeitamente explicada pelo eletromagnetismo, já que uma onda eletromagnética é constituída de um campo elétrico associado e, se ela for de grande intensidade, irá gerar forças elétricas capazes de arrancar elétrons ao incidir em algum material. Porém a segunda e terceira observações contrariavam completamente as leis da física

clássica, pois se esperava que uma luz (onda eletromagnética) fraca não conseguisse produzir o efeito fotoelétrico e, além disso, uma luz de forte intensidade, isto é, com grande energia, deveria fazer com que os elétrons adquirissem uma energia cinética maior. Essa dependência da frequência ao invés da intensidade associada a esse fenômeno intrigava os cientistas, pois não encontravam resposta para isso. O próprio Einstein mostrou-se preocupado com o problema e tratou de resolvê-lo alguns anos depois de Lenard estuda-lo. Para isso, foi necessário, primeiramente, abdicar da teoria ondulatória da luz, uma vez que "este resultado experimental não pode ser previsto pela teoria ondulatória. E uma nova teoria emerge do choque entre a velha teoria e os factos" (EINSTEIN e INFELD, 1938, p.231).

> No efeito fotoelétrico, certa porção da energia de radiação transforma-se em energia de movimento dos electrões. Se de novo iluminamos o metal com luz de mesmo comprimento de onda, mas vinda de fonte mais poderosa, nesse caso a energia emitida pelos electrões deve ser maior, visto que a radiação é mais rica de energia. Podemos, portanto, esperar que a velocidade dos electrões emitidos cresça com o aumento da intensidade da luz. Mas a experiência novamente contradiz esta predição. Vemos de novo que as leis da Natureza não são o que queremos que sejam. (EINSTEIN e INFELD, 1938, p.231).

Einstein então ressuscitou a teoria corpuscular de Newton e utilizou a fórmula de Max Planck, que, segundo o próprio, foi criada em um ato de desespero para tentar resolver o problema da radiação do corpo negro. Na época, a interpretação dada a esse problema estava ancorada no eletromagnetismo e na mecânica clássica, em que se acreditava na existência de pequenos osciladores localizados nas paredes da cavidade de um corpo negro oco. Ao aquecer esse corpo, considerado ideal por conseguir absorver toda a radiação incidida nele, seus osciladores ficavam excitados, emitindo assim uma radiação que sofre várias reflexões no interior da cavidade sendo, em parte, absorvidas pelos próprios osciladores. Após o equilíbrio térmico, a mesma quantidade de radiação absorvida pelas paredes da cavidade é reemitida por elas. Se fizermos um orifício nesse corpo poderemos observar essa porção de radiação que escapa da cavidade.

Planck, então, postulou que esses osciladores só poderiam vibrar com alguns valores de energia, valores esses correspondentes a múltiplos inteiros de um valor mínimo fundamental, chamado *quantum* de energia. O valor desse *quantum* de energia é diretamente proporcional à frequência natural de um oscilador e dado pela expressão $E = h.f$, em que E corresponde ao *quantum* de energia, h a constante de Planck e f a frequência natural do oscilador. Dessa forma, as energias permitidas pelos osciladores seriam $E = n.h.f$, em que n é um número inteiro positivo que representa o nível de energia do oscilador, e a energia emitida por esses osciladores não seria contínua e sim quantizada. A proposta de Planck solucionou o problema do corpo

negro, mas era considerada inconsistente e, portanto, não gozava de credibilidade junto à comunidade científica da época. Isso acontecia porque Planck, partindo de equações e leis fundamentadas na física clássica, formulou uma hipótese totalmente arbitrária, apenas com o objetivo de ajustar a teoria aos resultados experimentais.

Einstein, diferentemente de Planck, se apegou aos dados experimentais e interpretou o problema da radiação do corpo negro assumindo uma estrutura granular para a radiação eletromagnética, e nascia, assim, a teoria dos quantas de luz.

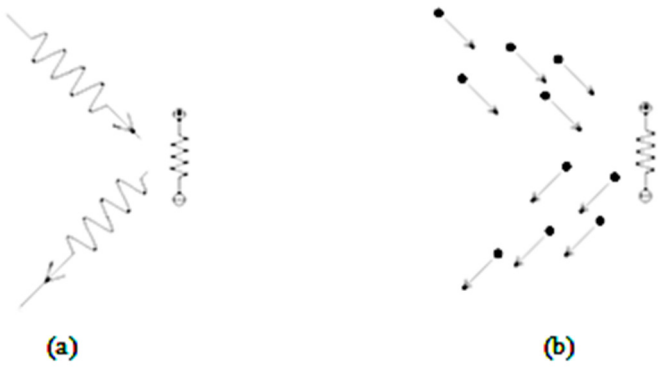


Figura 3: (a) Oscilador eletromecânico em interação com a radiação eletromagnética, na descrição de Planck; (b) Oscilador eletromecânico em interação com a radiação eletromagnética, na descrição de Einstein.
Fonte: Dionísio (2005, p.159)

Enquanto Newton considerava a luz formada por corpúsculos luminosos, Einstein os substituiu por quantas de luz, ou seja, "pacotes" de energia que viajavam com a velocidade da luz. Mais tarde, esses quantas de luz passariam a ser chamados de fótons. Assim, não só a matéria como as cargas elétricas seriam quantizáveis, mas também a energia da radiação. Em 1905, Einstein propôs essa teoria para explicar o efeito fotoelétrico, considerando que o elétron presente na placa metálica absorvesse toda energia do fóton ($h.f$) incidente e, dessa energia, uma parte é utilizada para arrancá-lo da placa e uma outra se transforma em energia cinética. Em outras palavras, a energia máxima ($E_{c(máx)}$) que um elétron pode receber até se desprender da placa metálica equivaleria à energia do fóton ($h.f$) descontada do trabalho (T) necessário para arrancar esse elétron.

$$E_{c(máx)} = h.f - T \tag{1}$$

T é a chamada função trabalho, característica de cada material e pode ser calculada pelo gráfico $E_{c(máx)}$ x f, a seguir (Figura 4), cujo valor equivale ao coeficiente linear da reta. Ou seja, quando $f = 0$, temos $E_{c(máx)} = -T$.

Para efeito de resolução de exercícios e se estiverem em uma mesma escala, a constante de Planck h pode ser determinada pelo mesmo gráfico (Figura 4) calculando o coeficiente angular (θ).

Vimos, anteriormente, que para o efeito fotoelétrico ocorrer é necessário que a luz incidente possua uma frequência mínima que, por sua vez, depende do material que constitue a placa metálica. Essa frequência mínima é denominada frequencia de corte (f_c) e, com isso, se a luz incidente tiver uma frequência abaixo da frequência de corte de um determinado material, o elétron não será arrancado. O seu valor pode ser determinado fazendo $E_{c(máx)} = 0$ na equação (1) e, portanto, a frequência de corte (f_c) é calculada por:

$$f_c = \frac{T}{h} \tag{2}$$

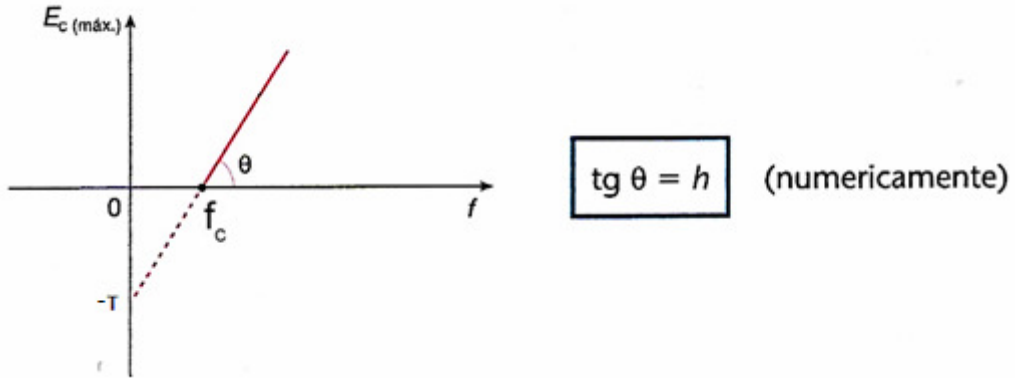


Figura 4: Gráfico $E_{c(máx)}$ x f para o efeito fotoelétrico.
Fonte: http://fisicacontextoaplicacoes.blogspot.com.br/2016/07/a-fisica-do-seculo-xx.html (modificado)

O experimento de Lenard mostrou que a diferença de potencial entre as placas metálicas provoca uma aceleração dos elétrons que saem da placa emissora em direção à placa receptora. Invertendo a polaridade das placas, ou seja, fornecendo uma diferença de potencial negativa e cada vez menor, provoca-se um retardamento dos elétrons até que a corrente elétrica detectada pelo amperímetro chegue a zero. Quando isso ocorre, temos um valor para a diferença de potencial que chamamos de potencial de corte ou potencial frenador (V_0).

Podemos então definir $E_{c(máx)}$ em função do potencial de corte V_0,

$$E_{c(máx)} = e.V_0, \tag{3}$$

sendo e a carga elementar do elétron.

Comparando as equações (1) e (2), temos

$$e.V_0 = h.f - T \tag{4}$$

e assim,

$$V_0 = \frac{h}{e}.f - \frac{T}{e}. \tag{5}$$

O potencial de corte também pode ser determinado graficamente (Figura 5), sendo a declividade da curva (α) equivalente a $\frac{h}{e}$.

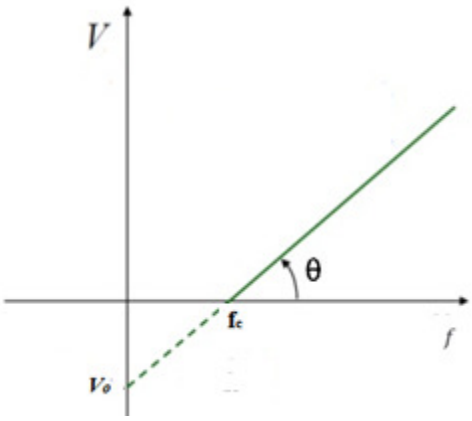


Figura 5: Gráfico V x f indicando o potencial de corte (V_0).

Essa explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico foi reconhecida como correta apenas em 1914, quando o físico americano Robert Andrew Millikan (1868-1953), por meio dos seus experimentos, confirmou as previsões da teoria de Einstein. Esses resultados foram importantes para a consolidação da hipótese do *quantum* de luz e da dualidade onda-partícula (MARTINS e ROSA, p.117, 2014). O efeito fotoelétrico, portanto, teve um papel fundamental no pensamento científico moderno, pois mudou a compreensão que se tinha acerca da luz, comprovou teorias revolucionárias e proporcionou um enorme avanço tecnológico.

2.3 AS PESQUISAS SOBRE O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

As pesquisas relacionadas à inserção de FMC no EM já possuem um número de publicações bastante considerável desde quando surgiram os primeiros trabalhos, no final da década de 1980, e, ainda hoje, podemos observar publicações sobre o assunto em periódicos e congressos (SILVA, ARENGHI e LINO, 2013). Dentre os conteúdos abordados por essa área da física está o efeito fotoelétrico, tema central deste trabalho e, por esse motivo, nos perguntamos sobre a a importância do efeito fotoelétrico no ensino da FMC a partir de como os trabalhos acadêmicos têm abordado esse tema. Para tal, realizamos um levantamento bibliográfico de artigos, sistematizado em cinco importantes periódicos nacionais, publicados no período compreendido entre 2011 e 2016, visando, também, subsidiar a confecção do produto educacional fruto desta dissertação.

Foram selecionadas revistas levando em consideração a classificação Qualis periódico 2013-2016 feita pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que realiza uma avaliação dos periódicos em todas as áreas e os estratifica. A escolha dos periódicos para esse levantamento teve por base dois aspectos: serem nacionais e estarem entre os mais altos estratos Qualis (A1 e A2). Com isso, cinco revistas foram selecionadas: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Ciência & Educação (C&E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC).

A busca pelos artigos foi feita nas próprias páginas dos periódicos disponíveis na internet, quando, primeiramente, selecionamos os artigos que tratavam de algum assunto relacionado à FMC. Para Osterman e Moreira (2001), a física pode ser dividida em: física clássica (desenvolvida até o final do século XIX), física moderna (desenvolvida entre o final do século XIX e a década de quarenta do século XX) e física contemporânea (todo o conhecimento desenvolvido da década de quarenta até os dias atuais). Classificamos, então, como artigos relacionados à FMC todos aqueles que abordavam a física desenvolvida do final do século XIX até os dias atuais, ou seja, a partir das teorias de Planck para o corpo negro (1900) e Einstein para o efeito fotoelétrico (1905) até as mais recentes como, por exemplo, o bóson de Higgs (2012).

Para isso, buscamos no título de todos os artigos separando aqueles que continham, em seu título, alguma palavra referente aos conteúdos de FMC de acordo com os seguintes descritores: física moderna, física contemporânea, quantum, quântica, quantização, radiação, radioatividade, supercondutividade, fóton, relatividade e física de partículas, dentre outras que

encontramos à medida que líamos os títulos de cada artigo. Por fazer parte de um conjunto de conhecimentos desenvolvidos pela física no século XX, acrescentamos artigos cujos títulos possuíam palavras como ondas gravitacionais e acelerador de partículas. Também selecionamos artigos cujo título apresentava o nome de algum físico que contribuiu para o desenvolvimento da FMC, como, por exemplo, de Broglie, Dirac, Compton, Bohr, entre outros.

A partir desses critérios, foram selecionados 131 artigos relacionados à FMC dos 1.565 publicados nesses cinco periódicos. Em seguida, realizamos a busca pelo termo "efeito fotoelétrico" nesses artigos, resultando em 23, que foram lidos a fim de identificar com que objetivo era feita a menção. Destacamos, então, os artigos que visavam contribuir com o ensino do efeito fotoelétrico, em um total de cinco, a saber: Silva e Errobidart (2015); Cardoso e Dickman (2012); Silva e Assis (2012); Cavalcante, Rodrigues e Bueno (2013); Sabino e Pietrocola (2016). No Quadro 1 abaixo são apresentados os resultados quantitativos desse levantamento, do qual destacamos, como era de se esperar, uma maior quantidade de trabalhos publicados na RBEF e no CBEF, justamente por serem exclusivamente dedicados ao ensino de física. Apesar disso, é igualmente interessante notar que, apesar da RBEF apresentar o maior quantitativo de artigos que cita o efeito fotoelétrico (12), nenhum deles problematiza o ensino desse assunto, que aparece apenas em quatro artigos publicados no CBEF e em um artigo publicado na IENCI. Concluímos, com isso, que ainda é pouco expressivo o número de artigos publicados nesses periódicos e que tratem do ensino do efeito fotoelétrico. Considerando a defesa pela inserção da FMC no EM e a exigência de orientações curriculares nas diferentes esferas, há necessidade de que mais pesquisas sejam feitas a fim de fornecer subsídios à comunidade acadêmica e aos professores e melhorar o ensino nas escolas.

Quadro 1: Distribuição do número de artigos sobre o Efeito Fotoelétrico por revistas.

PERIÓDICO	NÚMERO DE ARTIGOS PUBLICADOS			
	Geral	Sobre FMC	Cita o efeito fotoelétrico	Sobre o ensino do efeito fotoelétrico
RBEF	567	92	12	0
CBEF	257	26	9	4
C&E	364	5	0	0
IENCI	181	4	1	1
RBPEC	196	4	1	0
TOTAL	1.565	131	23	5

Dentre os trabalhos sobre o ensino do efeito fotoelétrico selecionados no levantamento, está o de Silva e Errobidart (2015), em que foi realizada uma pesquisa bibliográfica, em periódicos nacionais e internacionais da área de ensino e educação. Os autores iniciaram a pesquisa partindo dos trabalhos de Ostermann e Moreira (2000) e Ostermann e Pereira (2009), que levantaram publicações sobre o tema efeito fotoelétrico no período entre 1987 e 2006, para depois ampliar a busca até o ano de 2015. Dessa forma, conseguiram destacar diversas propostas de abordagem e também aspectos que devem ser considerados ao se trabalhar esse tema no EM. Com relação às propostas, apresentam o trabalho de Veit *et al*. (1987) em que se utiliza um programa-aula para promover o confronto entre o modelo corpuscular e o ondulatório para a luz pelo efeito fotoelétrico com o objetivo de fazer com que os alunos entendessem sequencialmente as relações entre corrente elétrica e diferença de potencial, entre corrente elétrica e intensidade luminosa, entre energia cinética máxima dos elétrons e frequência da radiação incidente e entre frequência de corte e tipo de material utilizado nas placas. Pinto e Zanetic (1999) propõem a inserção da natureza quântica da luz baseada em aspectos de história e filosofia da ciência em que foram abordadas diversas formas de conhecimento físico como a descrição histórica da luz, o aspecto filosófico (perfil epistemológico) e atividades experimentais. Também se destaca no levantamento de Silva e Errobidart (2015) o trabalho de Rocha Filho, Salami e Hillebrand (2006), em que se propõe o desenvolvimento e a caracterização de uma célula fotoelétrica semelhante às desenvolvidas no século XIX.

Em se tratando dos aspectos a serem considerados no ensino do efeito fotoelétrico, os autores citaram o trabalho de Klassen (2009) que considera cinco episódios chaves da história do efeito fotoelétrico: a descoberta do efeito fotoelétrico por Hertz; a caracterização e a explicação inicial; o artigo de Einstein propondo o *quantum* de luz; a verificação experimental de Millikan da equação de Einstein; a descrição do efeito Compton selando a aceitação da ideia da quantização do campo eletromagnético. Neste artigo, publicado em renomado periódico internacional, Klassen também conclui que a maior dificuldade de aprendizagem das características do efeito fotoelétrico está na interpretação da função trabalho na equação de Einstein.

O segundo artigo selecionado em nosso levantamento foi o de Cardoso e Dickman (2012), em que foi proposta uma sequência didática com a utilização de uma simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. A metodologia utilizada nesse trabalho se dividiu em cinco fases: (i) pré-teste sobre conceitos circundantes ao efeito fotoelétrico, a saber, modelo atômico, propriedades dos fenômenos ondulatórios e transferência de energia em colisões; (ii) organizadores prévios com apresentação de vídeos

que contavam a história da descoberta do efeito fotoelétrico e textos que abordavam o tema de maneira conceitual e contextualizada; (iii) uso de simulação computacional seguindo um roteiro de atividades com o objetivo ilustrar um fenômeno abstrato e de fazer o aprendiz interagir diretamente com o experimento; (iv) organizador explicativo para discussão com os alunos sobre o que foi abordado; (v) pós-teste como avaliação final, explorando as relações entre as variáveis e levando-se em conta as tecnologias que fazem uso do efeito fotoelétrico. Nesse trabalho os autores relatam ter alcançado resultados satisfatórios na aprendizagem do assunto ensinado.

Apesar de a nossa pesquisa tratar do mesmo fenômeno físico e utilizar a mesma simulação computacional que o trabalho citado acima, podemos destacar algumas diferenças importantes, a começar pela teoria de aprendizagem adotada, pois optamos por um método baseado nas concepções freireanas em que o conteúdo abordado precisa fazer sentido para o aluno, ou seja, estar presente na sua vivencia e possuir aplicabilidade para a sua vida. Sendo assim, ao invés de utilizar um pré-teste com o objetivo de identificar subsunçores (conceito da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel) que possam se relacionar aos novos conceitos que se pretende ensinar, preferimos problematizar situações que os alunos estão acostumados a lidar em seu cotidiano e, assim, conectá-las ao novo assunto trabalhado. Enquanto Cardoso e Dickman (2012) elaboraram um roteiro para os próprios alunos manipularem a simulação computacional, o nosso foi direcionado ao professor para demonstrar o fenômeno e as suas variações. Para além da assimilação de conceitos procurando entender o mecanismo cognitivo dos alunos, objetivamos uma mudança de concepção dos alunos com relação à física, tornando as aulas mais interessantes e mostrando a importância que ela tem para a sociedade.

Em outros dois artigos, de Silva e Assis (2012) e de Cavalcante, Rodrigues e Bueno (2013), o princípio de funcionamento de um mesmo aparelho, o controle remoto, é utilizado como estratégia de ensino do efeito fotoelétrico. No primeiro, os autores propõem a montagem de um circuito confeccionado com material de baixo custo e que funciona como um receptor do sinal emitido pelo controle remoto. O circuito possui um fototransistor e é acoplado a caixas de som, produzindo um ruído quando recebe o sinal do controle remoto. Já no segundo, um circuito semelhante é acoplado ao computador onde um programa foi instalado para decodificar o sinal enviado pelo controle remoto. Ambos apontaram aspectos como o motivacional e a relação da física com as tecnologias atuais.

O quinto e último artigo selecionado, de autoria de Sabino e Pietrocola (2016), apresenta a investigação de dois professores durante a aplicação de uma sequência didática sobre dualidade onda-partícula com alunos da 3ª série do EM de escolas públicas da região

metropolitana de São Paulo. Dentre os assuntos contidos no tema citado, o efeito fotoelétrico recebeu destaque por parte dos autores por ter confrontado com maior ênfase o senso comum dos alunos. A sequência didática aplicada consistia de aulas com simulação computacional, exibição de vídeos e aplicação de questionários sobre o que havia sido abordado nas aulas. Os dois professores analisados obtiveram resultados distintos, com um maior êxito para o professor que frequentemente adotava práticas diferenciadas com seus alunos, como, por exemplo, orientar e dialogar em vez focar na exposição de conteúdos, fornecendo autonomia para que os alunos cheguem às suas próprias conclusões. Como conclusão, Sabino e Pietrocola (2016) indicam que o sucesso da aplicação de uma estratégia didática, por mais inovadora que seja, depende da maneira com que o docente a incorpora.

Esses artigos, mesmo caracterizando um conjunto pequeno, representam a produção sobre o ensino do efeito fotoelétrico nos últimos seis anos (2011-2016) e trazem referências a vários outros trabalhos importantes publicados em período anterior, contribuindo de forma ímpar ao nosso levantamento. A partir deles, percebemos que dispomos de uma gama de estratégias para contribuir com o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico, e nossa pesquisa de dissertação pretende acrescentar mais uma dessas estratégias com o objetivo de: contribuir para o ensino de FMC nas escolas, abordar o tópico efeito fotoelétrico de maneira consistente minimizando lacunas na compreensão dos seus conceitos por parte dos alunos, fazer os alunos entenderem a função de cada uma das grandezas envolvidas no fenômeno (comprimento de onda, frequência, intensidade da luz, diferença de potencial, corrente elétrica, função trabalho e energia cinética máxima) e as relações entre elas, e, sobretudo, mostrar que o conhecimento científico é um processo contínuo de construção humana, sendo muitas vezes originado por quebra de paradigmas, e também é responsável pelo desenvolvimento das tecnologias que muitas vezes beneficiam à humanidade.

2.4 O USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA

Como já mencionado, o conteúdo abordado pela FMC, na qual o efeito fotoelétrico está inserido, é caracterizado por tratar de fenômenos que pertencem ao mundo microscópico, do “invisível”, e das altas velocidades, sendo assim mais difíceis de serem reproduzidos e observados (PIETROCOLA e BROCKINTON, 2003). Ainda hoje, as aulas do tipo tradicionais, em que se utiliza quadro negro e livros didáticos em papel, predominam nas instituições de ensino. Dessa forma, a abordagem dos conteúdos da FMC resume-se a esquematizações e

equações matemáticas que provavelmente não fazem sentido algum para os alunos, comprometendo a aprendizagem. As ilustrações presentes nos materiais didáticos, os desenhos, as analogias e os gestos feitos pelos professores para ensinar determinados conceitos podem não parecer tão claros para os alunos, pois se referem, muitas vezes, a objetos, materiais e situações que eles nunca tiveram contato. Além disso, é preciso que o aluno consiga imaginar toda a dinâmica do processo apresentado de maneira estática, e dar a entender que uma figura está em movimento não é uma tarefa trivial (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002).

Diante desse panorama, a realização de atividades experimentais para a observação dos fenômenos se torna de suma importância. Porém, mesmo nas escolas em que há laboratórios didáticos, dificilmente existem aparatos do tamanho e/ou sofisticação exigida para os experimentos relacionados à FMC. A utilização do computador, por meio de recursos digitais como animações, simulações e vídeos, vem ganhando força e se consolidando como uma alternativa eficaz para a ausência de laboratórios nas escolas, contribuindo para um ensino mais dinâmico e reflexivo. Como sugere Hodson (1994 *apud* PEREIRA e MOREIRA, 2017), não se pode afirmar que recursos digitais, do ponto de vista didático, sejam menos eficazes do que uma atividade prático-experimental.

Dos recursos computacionais citados acima, consideramos que as simulações levam certa vantagem por proporcionarem interatividade, já que é possível alterar parâmetros, testar hipóteses, calcular grandezas e construir gráficos. Assim, no seu próprio ritmo, o aluno vai construindo o seu conhecimento e sanando as suas dúvidas. Ou seja, se bem utilizada uma simulação proporciona um ensino personalizado, pauta de discussões sobre educação nos dias de hoje.

Muitos pesquisadores defendem a utilização sistemática das simulações nas salas de aulas, inclusive apontando inúmeros benefícios que esse recurso traz para o ensino de física. Medeiros e Medeiros (2002) citam a tese de doutorado defendida por Gaddis no ano de 2000 na Universidade do Colorado, em que o pesquisador enumera alguns benefícios em se trabalhar com uma simulação computacional em sala de aula, a saber: motivar os alunos, aumentando o interesse nas aulas, o engajamento em atividades propostas pelo professor e a concentração nos conceitos envolvidos; aperfeiçoar a compreensão dos conceitos, pois fornecem um feedback; tornar conceitos abstratos mais concretos, ajudando a construir uma possível mudança conceitual; permitir a coleta de grande quantidade de dados rapidamente.

Cardoso e Dickman (2012), ao utilizarem uma simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para ensinar o efeito fotoelétrico, concluíram que os resultados foram considerados satisfatórios, uma vez que os alunos apresentaram na avaliação

final um índice de compreensão dos conceitos acima de 67%, apontando, assim, mudanças na estrutura cognitiva deles. Apesar de pautado em uma teoria cognitivista, essa pesquisa parece não considerar aspectos que julgamos essenciais no ensino de ciências, como a relação com o cotidiano e o papel social da ciência.

Macêdo, Dickman e Andrade (2012) propuseram um roteiro de atividades com o uso de simulações computacionais para ensinar conceitos básicos de eletricidade. Nesse trabalho, os autores desenvolveram atividades com base no mesmo modelo didático-pedagógico de nossa pesquisa, os 3MP, e como resultados apontaram que houve mudança conceitual e uma melhora na motivação e interesse dos alunos.

Os trabalhos citados anteriormente corroboram o fato de que simulações computacionais têm certa vantagem sobre outros métodos de ensino como desenhos no quadro e nos livros didáticos para a interpretação de fenômenos e compreensão dos conceitos.

Longe de construir uma panaceia, há alguns aspectos que podem transformar esse recurso em um vilão. O primeiro e mais simples deles é o fato de que o processo de ensino e aprendizagem é altamente complexo, não se resumindo a utilização de uma única estratégia ou recurso para garantir o seu sucesso. Por esse motivo, Laburú, Arruda e Nardi (2003) defendem um pluralismo metodológico, pois existem alunos que ainda preferem um ensino transmissivo a um mais dinâmico e participativo.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito à natureza da simulação computacional. Toda simulação é um modelo simplificado do real, construído por um banco de dados que por maior que seja não dá conta de infinitas possibilidades. Esse modelo está baseado em pressupostos definidos pelo criador da simulação e ficam implícitos nela, além de limitar o alcance da própria simulação na explicação de outras situações (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002).

O encantamento gerado pelas simulações também precisa ser levado em conta, e o professor quando trabalha com esses recursos com seus alunos não deve dar maior importância ao visual “mágico” do que a compreensão dos conceitos envolvidos. Yeo *et al*. (1998) relatam uma experiência com alunos que foram deixados a sós com uma simulação sobre movimento de projéteis, fazendo com que interagissem muito pouco com o conteúdo do programa, mudando logo de tela e de atividades, e, ao retomar a aula, o professor percebeu que não houve alteração das concepções prévias dos alunos. Medeiros e Medeiros (2002) relatam um caso em que um aluno operava um *software* que simulava o lançamento de projéteis e, maravilhado com as trajetórias que o simulador gerava ao se alterar os parâmetros, o aluno resolveu utilizá-lo para comprovar o modelo teórico e, em um dos testes, o programa fornecia uma resposta

completamente fora da realidade. Mesmo assim, o estudante quis mostrar ao professor que esse resultado condizia com a previsão da teoria. Esse tipo de atitude ocorreu porque o aluno, encantado com a beleza e a facilidade de reproduzir fenômenos, não percebeu que a situação que ele mesmo criou era impossível de acontecer na realidade.

É dever do docente também deixar claro para o aluno que a simulação não é um espelho do real e, portanto, nunca poderá provar nada. Um experimento real possui inúmeras variáveis e condições que podem alterar os resultados esperados, isto é, diversos fatores contribuem para que medidas sejam imprecisas, fazendo com que os modelos estudados forneçam resultados totalmente diferentes do que está sendo observado. Assim, enquanto os cientistas se esforçam para excluir todas as influências externas que podem atrapalhar o seu experimento, a simulação computacional trabalha sempre em um ambiente ideal onde as medidas são exatas e os eventos são sempre os previstos pelos modelos, ou seja, trata-se se uma simplificação.

Apesar dessas limitações, a simulação computacional vem sendo cada vez mais utilizada pelos professores e a experiência em sala de aula tem mostrado que há boa aceitação por parte dos estudantes. Porém, tal como já dissemos, esse método de ensino não deve ocupar todo o processo de ensino da física, mas a sua utilização deve estar associada a um bom planejamento e aplicada de maneira sensata e objetiva (CARDOSO e DICKMAN, 2012).

Pietrocola e Brockinton (2003) fizeram um levantamento de recursos computacionais disponíveis na internet e observaram que existe um enorme número de simulações que tratam de temas relacionados à FMC. Considerando simulações e animações, os autores classificaram esses recursos em duas categorias: autoexplicativa e técnica. Nos recursos de caráter autoexplicativo, há pouquíssima interatividade, pois funcionam com parâmetros pré-definidos e situações pré-estabelecidas em que o usuário tem a opção apenas de escolher qual delas quer executar. Já os recursos de caráter técnico contam com um grau elevado de conhecimentos de física, porém incompatíveis com o nível do EM.

Os chamados repositórios de recursos digitais como, por exemplo, o Banco Internacional de Objetos Educacionais desenvolvido em parceria com o Ministério da Educação do Brasil, possuem um vasto número de objetos de aprendizagem de vários tipos, dentre eles, as animações e as simulações. Pesquisando por recursos nesse banco, encontramos um total de 27 que se referem ao tema efeito fotoelétrico, dos quais apenas 12 são simulações computacionais e os outros 15 se dividem em áudios, vídeos e imagens. Das simulações computacionais, a maior parte pode ser considerada como autoexplicativa de acordo com a proposta de categorização de Pietrocola e Brockinton (2003), pois há somente a opção de o usuário ir passando de página ou de tópicos em uma sequência linear e/ou que se executa

sozinha. As outras correspondem a jogos, em sua maioria no formato de *quiz*, e os experimentos virtuais, dos quais apenas um deles é animado podendo alterar instantaneamente a situação à medida que os parâmetros vão sendo modificados. A simulação foi retirada do portal PhET (Simulações Interativas em Ciências e Matemática)[3] da Universidade do Colorado, que contém um conjunto de simulações em formato de *applets* para diversos tópicos nas diferentes áreas das ciências da natureza. Segundo Xavier, Xavier e Montse (2003, p.464), os *applets* são programas computacionais construídos em linguagem java[4] e que podem ser executados diretamente de uma página da internet. São interativos, relativamente pequenos e carregam rapidamente, permitindo a manipulação de seus elementos, e podem ser adquiridos gratuitamente na internet, sendo de fácil utilização.

Em seu trabalho, Cardoso e Dickman (2012) escolheram justamente a simulação do efeito fotoelétrico desenvolvida pelo PhET, que possui múltiplas possibilidades de exploração e é largamente utilizada em todo o mundo. Para essa escolha, utilizaram os seguintes critérios: facilidade de utilização, grau de interatividade e confiabilidade de origem, selecionados anteriormente por Macêdo (2009) em sua dissertação de mestrado sobre o uso de simulações computacionais para o ensino de eletromagnetismo e que deu origem ao artigo em parceria de Macêdo, Dickman e Andrade (2012).

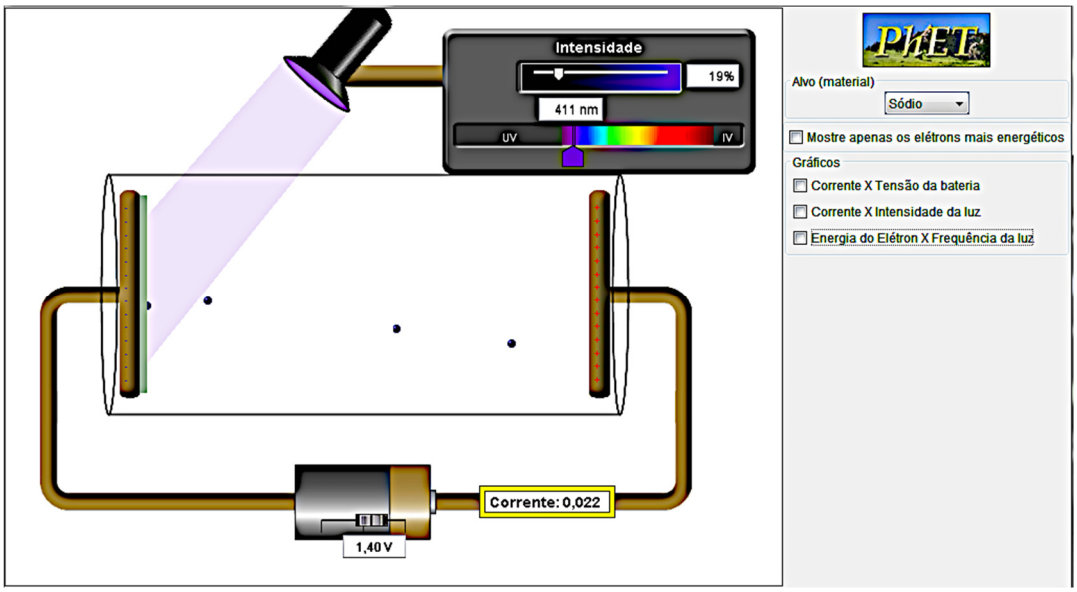


Figura 6: Ilustração da simulação computacional do Efeito Fotoelétrico retirada do PhET.
Fonte: https://phet.colorado.edu

[3] Disponível em: <https://phet.colorado.edu>.
[4] Os *applets* do portal Phet são construídos nas linguagens Java, Flash e HTML5.

Podemos observar na Figura 7 que a simulação contém uma animação onde os elétrons são ejetados da placa esquerda e se deslocam em direção à placa direita. Ela também permite variar a intensidade e o comprimento de onda da luz emitida, modificar o material que constitui as placas metálicas e a diferença de potencial entre ela. Além disso, é possível visualizar os gráficos de corrente versus tensão, corrente versus intensidade da luz e energia do elétron versus frequência da luz.

Em face do caráter técnico e da riqueza de possibilidades de exploração, escolhemos também essa simulação para ser utilizada na confecção de nossa sequência didática. Além de trabalhar com *applets*, o PhET tem grande credibilidade já que foi desenvolvido na Universidade de Colorado e fundado pelo prêmio Nobel de física Carl Wieman. Suas simulações são testadas e estão em acordo com as leis básicas aceitas pela comunidade científica (CARDOSO e DICKMAN, 2012). Há tutoriais com dicas de como trabalhar as simulações com os alunos e também possui uma ferramenta chamada "recursos para os professores", em que é possível compartilhar experiências de utilização das simulações em sala de aula através de relatos dos próprios professores que ficam arquivados em seu site. Esses requisitos fazem do PhET um dos principais repositórios cujas simulações são bastante utilizadas no meio acadêmico e educacional em todo o mundo, uma vez que se trata de um recurso de código aberto, favorecendo seu aprimoramento e versão traduzidas para inúmeras línguas.

2.5 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

O método didático-pedagógico conhecido como Três Momentos Pedagógicos (3MP) foi desenvolvido originalmente por Delizoicov e Angotti ainda no início dos anos 1980 durante um projeto de formação de professores realizado na Guiné-Bissau, que tinha como objetivo principal a elaboração de um currículo de física baseado em temas geradores de acordo com a perspectiva de Paulo Freire para a educação. Apesar de primeiramente organizar o currículo a partir de temas geradores, esse método veio sofrendo algumas transformações, chegando a uma tendência mais atual de organizar os conteúdos disciplinares de acordo com a estrutura conceitual da disciplina ou área de conhecimento. Por exemplo, em vez de usar um tema como produção, distribuição e consumo de energia e selecionar os conteúdos envolvidos nele, opta-se por trabalhar um tema como radiação solar em que são abordados os conceitos de radiação e radiação solar como uma forma de contextualização (MUENCHEN e DELIZOICOV, 2014).

Para essa dissertação, nos apoiamos em trabalho mais atual publicado por Gehlen, Maldaner e Delizoicov (2012), que defendem que a dinâmica dos 3MP se caracteriza por três fases consecutivas:

1. *Problematização Inicial.* Fase em que são apresentadas questões ou situações reais que os alunos vivenciam e tem envolvimento com o tema escolhido, buscando conhecer o que os alunos pensam e sabem sobre o assunto. É o momento apenas de questionamento não devendo ser dada resposta alguma aos alunos. Por vivenciarem até mesmo cotidianamente essas situações apresentadas pelo professor, os alunos muitas vezes nunca se deram conta ou nunca se perguntaram como solucionar essas questões e quais as consequências delas. Portanto, o objetivo da problematização inicial é promover um distanciamento crítico em relação ao problema proposto, fazendo com que o mesmo sinta a necessidade de buscar novos conhecimentos.
2. *Organização do Conhecimento*. Nesta fase, os conhecimentos científicos são confrontados com os conhecimentos prévios dos alunos. É o estudo sistemático dos conteúdos e conceitos necessários para a compreensão do(s) tema(s), sob a orientação do professor. Para isso, o docente deve consultar diversas fontes de conhecimento e utilizar diversos materiais e recursos didáticos que auxiliem na abordagem dos conteúdos. Atividades também fazem parte desta etapa, pois ajudam a organizar a aprendizagem.
3. *Aplicação do Conhecimento*. Fase em que o aluno utiliza o conhecimento construído nas etapas anteriores para interpretar e analisar tanto as situações apresentadas pelo professor quanto outras que possam ser compreendidas a partir do mesmo conhecimento. As questões iniciais retornam e os alunos passam a relacioná-las com os conceitos estudados, criando condições de solucionar o problema inicial. O professor pode aproveitar esse momento para novos questionamentos e, assim, promover um aprofundamento do tema abordado (ALBUQUERQUE, SANTOS e KAIANA, 2015).

A aplicação do método dos 3MP vem crescendo nos últimos anos, tendo como resultados a modificação do ambiente de ensino e aprendizagem, tanto para aluno quanto para o professor, o aumento da participação dos alunos e uma maior contextualização dos conhecimentos científicos (ALBUQUERQUE, SANTOS e KAIANA, 2015). Os 3MP vêm demonstrando ser eficiente ao que foi proposto originalmente que é mostrar que o conhecimento está acessível para qualquer cidadão, devendo ser aprendido para que se faça uso dele. Além disso, contribui também para evitar a separação entre processo e produto, a física de quadro-negro e a física da vida (MUENCHEN e DELIZOICOV, 2014). Porém, segundo Delizoicov (2008), o uso mecânico desses momentos apenas com o objetivo de organizar as aulas, fazendo

da problematização inicial um simples pretexto para introduzir o tema na fase de organização do conhecimento, é uma prática que não deve acontecer.

Uma demonstração de que esse método vem sendo muito utilizado foi o número considerável de trabalhos apresentados no último Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), realizado em São Carlos (SP) entre 23 e 27 de janeiro de 2017 em sua XXII edição. Além de um minicurso especificamente sobre os 3MP, foram apresentados trabalhos como o de Braga, Killner e Araújo (2017) e Cardoso e Pires (2017).

No primeiro, os autores aplicaram os 3MP associado ao uso de simulação computacional em duas turmas da 3ª série do EM para trabalhar o tema energia elétrica. Em uma das turmas utilizaram a simulação na fase de Problematização Inicial e na outra turma na fase de Aplicação do Conhecimento. Concluíram, dessa forma, que a combinação dos métodos de simulação computacional e 3MP nas duas turmas tiveram resultados positivos, com uma pequena vantagem para a turma em que a simulação foi usada antes, na fase de Problematização Inicial. Dentre os aspectos positivos citaram a geração de um ambiente de estímulo e interesse pelo tema, maior comprometimento dos alunos e amadurecimento dos conceitos estudados.

O trabalho de Cardoso e Pires (2017) representa uma proposta de trabalho também voltada a alunos da 3ª série do EM, só que para abordar o conceito de luz associado a ondas eletromagnéticas. Em todas as três fases os autores sugerem a utilização de experimentos em sala de aula e, com isso, pretendem contribuir para que o aluno adquira um pensamento crítico sobre o tema e uma evolução gradativa do seu nível de conhecimento.

Como podemos observar, várias são as possibilidades de se incorporar recursos didáticos, assim como várias são as maneiras de se trabalhar com o método dos 3MP, desde a organização de sequências didáticas numa visão microscópica, até a estruturação curricular de uma disciplina numa visão macroscópica. De maneira geral, em todas busca-se uma identificação do estudante com o que será ensinado e uma constante dialogicidade entre os sujeitos envolvidos, professor e aluno.

3 METODOLOGIA

Este capítulo está estruturado em quatro subseções: as duas primeiras dedicadas à apresentação da metodologia da pesquisa em que destacamos a natureza da pesquisa e os procedimentos metodológicos; na terceira apresentamos o cenário empírico; na última, dedicada à metodologia de ensino, apresentamos a estratégia didática que envolveu a aplicação do produto educacional.

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

Consideramos que nossa pesquisa tem natureza qualitativa, uma vez que foram coletados dados descritivos (não quantificáveis) na tentativa de responder, de maneira indutiva, a uma questão proposta pelo próprio pesquisador dentro do seu universo de atuação. Além disso, foi dada maior ênfase ao processo do que ao resultado e maior importância aos significados atribuídos pelos atores da pesquisa, características da pesquisa qualitativa segundo Ludke e André (1986).

Com relação à abordagem, nossa pesquisa pode ser considerada como participante, já que o pesquisador realizou um trabalho de campo se colocando na condição de observador de um comportamento social para promover uma investigação científica. Para Minayo (2008), o trabalho de campo tem a vantagem de aproximar o pesquisador da realidade onde se quer pesquisar, interagindo diretamente com os observados e assim construindo um importante conhecimento empírico, o que é facilitado no caso dessa pesquisa pelo fato do pesquisador ter atuado como o professor da turma quando da aplicação da estratégia didática.

A metodologia adotada busca confrontar o método tradicional de ensino, caracterizado por uma abordagem unilateral em que o professor transmite o conhecimento aos alunos através de aulas predominantemente expositivas com pouco ou até nenhum espaço para questionamentos, com um método que privilegia a discussão e a experimentação. Para isso, observamos o comportamento e o desempenho dos alunos frente a essas duas abordagens para detectar indícios de uma melhor aceitação por uma delas, ou até mesmo pelas duas simultaneamente.

Neste trabalho, pretendemos identificar as contribuições que uma estratégia didática baseada na problematização e na utilização de recursos digitais como simulações computacionais podem fornecer para a aprendizagem do tema efeito fotoelétrico. Assim, considerando os objetivos expostos no primeiro capítulo dedicado à problematização, apresentamos no Quadro 2 o desenho de nossa pesquisa em função dos objetivos propostos e a etapa a ser cumprida.

Quadro 2: Etapas da pesquisa e respectivos objetivos.

OBJETIVO	ETAPA
Realizar um levantamento bibliográfico sobre propostas e obstáculos para ensinar o efeito fotoelétrico no EM a fim de subsidiar a confecção da sequência didática.	Construção de uma base teórica para a elaboração da estratégia didática.
Elaborar uma sequência didática com base nos 3MP e que faça uso de simulações computacionais.	Desenvolvimento do produto educacional.
Aplicar a sequência didática nas aulas de física de uma turma regular de ensino médio com intuito de descrever aspectos relacionados à motivação e à aprendizagem do efeito fotoelétrico.	Aplicação do produto educacional.
Identificar pontos positivos e negativos da aplicação da sequência didática.	Avaliação do produto educacional.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos de coleta e análise dos dados seguiu um planejamento que levou em consideração às etapas do método de Análise de Conteúdo (AC) de Bardin (2009), que consiste em uma técnica de tratamento de dados que surgiu nas pesquisas quantitativas, mas atualmente é muito utilizada para a interpretação de dados essencialmente qualitativos. Nessa técnica, busca-se fazer uma descrição do conteúdo contido em textos, entrevistas e outros tipos de materiais, por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos, de acordo com etapas bem definidas (MINAYO, 2008).

Ao analisar os dados coletados, após a etapa de leitura flutuante, o pesquisador deve encontrar respostas semelhantes para que possa dividi-las em categorias. Essas respostas também devem ser comparadas com aquelas dadas por diferentes grupos de pesquisados, ou dadas pelo mesmo grupo em situações diferentes. Segundo Bardin (2009), o método da AC organiza-se em três etapas cronológicas:

1. *Pré-análise*. Neste momento é feita a seleção do material que será analisado, a formulação de hipóteses e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. O objetivo da pré-análise é a organização.
2. *Exploração dos materiais*. Etapa em que ocorre a realização das decisões tomadas na pré-análise, momento em que se faz a codificação que consiste em transformar os dados brutos coletados em unidades de análise, permitindo, assim, uma descrição das características do conteúdo analisado. Essa codificação compreende três escolhas: a escolha das unidades (recorte), a escolha das regras de contagem (enumeração) e a escolha das categorias (classificação e agregação).
3. *Tratamento dos resultados, inferência e interpretação*. É o tratamento dos resultados de maneira que se tornem significativos e válidos, quando é possível propor inferências e fazer a interpretação das mensagens com o objetivo de buscar o que está escondido sob a aparente realidade.

Neste trabalho o método da AC foi usado para interpretar as respostas dos alunos, que foram submetidos a testes de natureza predominantemente conceitual em que se buscou indicadores que permitissem inferir sobre o processo de ensino e aprendizagem realizado durante a aplicação da estratégia didática.

A coleta de dados envolveu o uso de instrumentos como gravação das falas dos alunos, registro das respostas escritas por eles em questionários e na prova bimestral final, além de textos dissertativos. Esses dados foram então submetidos à pré-análise, etapa em que pressupomos que os alunos nunca tenham estudado sobre o tema, demonstrando pouco conhecimento sobre o assunto e muita dificuldade de compreensão dos conceitos físicos envolvidos. Além disso, esperamos que a incorporação de simulações computacionais na sequência didática desempenhe um papel motivador nas aulas e também contribua didaticamente para a aprendizagem do efeito fotoelétrico. Dito isso, buscamos padrões de respostas que pudessem culminar em indicadores que fundamentassem uma interpretação final no processo de pesquisa que conduzimos. O Quadro 3, a seguir, evidencia os instrumentos de coleta de dados em função do planejamento de aplicação da estratégia didática, que se deu em quatro (4) aulas.

Quadro 3: Instrumentos de coleta de dados utilizados nas aulas de acordo com o momento pedagógico.

AULA	MOMENTO PEDAGÓGICO	INSTRUMENTO
1	Problematização Inicial	• Gravação em áudio da discussão. • Questão dissertativa sobre o que foi discutido.
2	Organização do Conhecimento	• Questionário.
3	Organização do Conhecimento	• Questionário.
4	Aplicação do Conhecimento	• Relato da atividade em grupo realizada pelos alunos com uma simulação computacional. • Texto dissertativo feito pelos alunos sobre o funcionamento de um dos dispositivos apresentados que utiliza o conceito de efeito fotoelétrico. • Questionário de satisfação sobre a estratégia didática. • Prova bimestral no modelo adotado pela escola.

Cabe registrar que em todas as aulas, esmiuçadas na subseção 3.4, houve observação e registro por parte do pesquisador das atitudes e falas dos alunos, gerando, assim, dados que também foram interpretados no capítulo 4, dedicado à apresentação e discussão dos resultados. Esses dados carregam experiências de vida dos alunos e dão indícios de como se deu o processo de ensino e aprendizagem.

Coletados todos os dados, com a finalização da aplicação da estratégia didática, selecionamos o material a ser analisado, descartando algumas respostas repetidas e/ou que fugiram completamente do problema proposto. A partir daí, fizemos uma análise para cada fase da metodologia, classificando as respostas de acordo com os conceitos envolvidos e a compreensão dos mesmos por parte os alunos. Também verificamos a frequência com que algumas delas apareceram, com o objetivo de obter um panorama global da turma com relação a aprendizagem do tema, por mais que o objetivo da pesquisa não seja de forma alguma qualquer generalização a partir de alguns dados quantitativos. Portanto, apesar da pesquisa ser de natureza qualitativa, sentimos a necessidade de apresentar alguns dados quantitativamente, já que podem elucidar importantes informações para a compreensão do problema de pesquisa.

3.3 CENÁRIO EMPÍRICO

Importante destacar que ao ingressar no mestrado em 2015, conforme relatado inicialmente, a ideia era desenvolver um produto educacional abordando o efeito fotoelétrico para ser aplicado em turmas de ensino médio de uma escola da SEEDUC-RJ em que este pesquisador atuava como professor contratado. No entanto, devido a cortes orçamentários com a crise do governo do Estado do Rio de Janeiro, seu contrato foi findado, fazendo com que no ano de 2016 o mesmo tivesse de buscar um novo posto de trabalho e ingressasse como professor de física em uma escola privada da Baixada Fluminense, a qual será apresentada a seguir.

A sequência didática foi aplicada pelo próprio pesquisador em uma turma da 3ª série do EM dessa escola, localizada no município de Nova Iguaçu, que adota divisão do ano letivo em quatro bimestres e um sistema de avaliação bimestral que consiste em trabalho (teste), simulado e prova, nos quais os alunos devem ter contato com questões abordadas nos principais exames. Apesar disso, o professor tem liberdade de propor atividades de pesquisa e projetos de aplicação dos conteúdos trabalhados em sala de aula para avaliar os alunos.

A escola possui alunos razoavelmente interessados, com uma base de conhecimentos satisfatória e dispostos a buscar outros recursos e informações além daqueles trabalhados pelo professor, não apenas para serem aprovados em concursos, mas também para se tornarem cidadãos críticos, capazes de tomar decisões e atuarem em favor da sociedade da qual fazem parte. Essas constatações têm por base não somente a turma em que foi implementada a estratégia didática, mas as outras turmas de ensino médio em que foi possível atuar como professor de física.

A escola disponibiliza dois tempos consecutivos por semana para as aulas de física, cada um deles com duração de 50 minutos, de forma que consideramos cada aula composta por dois tempos, com duração, portanto, de uma hora e 40 minutos. Em termos de infraestrutura, a escola não possui laboratório, mas conta com um projetor digital e um computador portátil para uso pelo professor. O programa de física para a 3ª série do EM apresenta a clássica divisão: eletrostática, eletrodinâmica, magnetismo e FMC, nesta ordem, respectivamente, para os quatro bimestres do ano letivo.

A turma da 3ª série no ano de 2016 possuía 24 alunos e todos consentiram em participar da pesquisa assinando um termo. A quase totalidade fez a prova do ENEM e se inscreveu em outros vestibulares. A maior parte deles estuda nesta escola desde a 1ª série do EM e, portanto, têm aulas de física regularmente há pelo menos dois anos sem interrupção por falta de professor.

3.4 ESTRATÉGIA DIDÁTICA

O planejamento da estratégia didática, cuja planificação pode ser encontrada no Quadro 4 a seguir, envolveu sua aplicação em quatro aulas (oito tempos de 50 minutos cada, perfazendo uma carga horária total de aproximadamente 7 horas) consecutivas do 4º bimestre letivo da turma de 3ª série do EM, que contava com 24 estudantes. Essas aulas não ocorreram em semanas consecutivas, pois em duas semanas ocorreram feriados no dia da aula (1 e 15 de novembro), e foram distribuídas da seguinte forma: uma aula para a fase de Problematização Inicial, duas aulas para a Organização do Conhecimento e uma aula para a Aplicação do Conhecimento. Como preparação e cumprimento dos conteúdos considerados requisitos para o ensino do efeito fotoelétrico, foram trabalhados com a turma os seguintes conteúdos: potencial elétrico; tensão e corrente elétrica; ondas eletromagnéticas; radiação do corpo negro e modelos atômicos. O professor/pesquisador seguiu um roteiro de acordo com o produto educacional desenvolvido (Apêndice 1), em que os 3MP foram estruturados entre as quatro aulas da seguinte forma:

- *Problematização Inicial*. Alguns exemplos de sistemas tecnológicos que utilizam o efeito fotoelétrico foram responsáveis pela contextualização inicial, quando o professor, na primeira aula, trouxe esses exemplos com o objetivo de estimular a curiosidade e o interesse da turma para depois inserir a pergunta: Como funcionam esses sistemas? As respostas dadas por cada estudante foram registradas em forma dissertativa e entregues escritas em papel ao professor.
- *Organização do Conhecimento*. Nesta fase ocorreu a abordagem sistemática dos conteúdos relacionados ao tema e foi executada em dois dias: no primeiro, de maneira tradicional, utilizando o quadro negro, textos e/ou *slides*, e, no segundo, fazendo uso do simulador computacional do PhET como recurso didático. Ao final de cada um desses dias, um mesmo trabalho contendo questões sobre o efeito fotoelétrico foi aplicado para aferir a aprendizagem dos alunos nesses dois momentos.
- *Aplicação do Conhecimento*. Neste momento o professor retornou à pergunta feita no momento da Problematização Inicial a fim de que os alunos aplicassem os conhecimentos adquiridos na etapa de Organização do Conhecimento, na tentativa de respondê-la. Para isso, foi utilizado um outro simulador computacional educativo que consiste em fazer sistemas eletrônicos como portas automáticas e alarmes de segurança funcionar por meio da montagem dos seus circuitos elétricos.

No Quadro 4, a seguir, mostramos a planificação das atividades em função da data em que ocorreu cada aula e dos objetivos didáticos associados a cada um dos 3MP. Ao final de todo o processo, foi aplicado um questionário para avaliar como os alunos receberam a estratégia didática

Quadro 4: Planificação didática das atividades desenvolvidas.

DATA/MOMENTO	ATIVIDADE	OBJETIVO
19/10 Problematização Inicial	Leitura de um texto sobre o efeito fotoelétrico.	Contextualizar o tema.
	Apresentação de dispositivos que funcionam de acordo com o efeito fotoelétrico.	Mostrar o conhecimento produzido pela ciência por trás de dispositivos conhecidos.
	Discussão sobre o mecanismo de funcionamento dos dispositivos apresentados.	Despertar o interesse e curiosidade em entender como funcionam os dispositivos.
	Dissertação dos alunos sobre como funcionam os dispositivos, o que têm em comum e que descoberta foi importante para sua construção.	Mapear os conhecimentos prévios dos alunos.
26/10 Organização do Conhecimento	Aula sobre o tema utilizando o quadro negro e projeção digital.	Ensinar de maneira sistemática o conceito de efeito fotoelétrico.
	Aplicação de um trabalho contendo 5 questões teóricas (dissertativas) e uma questão objetiva de cálculo de grandezas.	Avaliar a aprendizagem por meio da assimilação do conteúdo.
08/11 Organização do Conhecimento	Uso do simulador PhET por meio da sequência: demonstração da função de cada uma das grandezas envolvidas; demonstração do fenômeno; explicação do modelo proposto por Einstein; relação entre as grandezas.	Trabalhar o conteúdo de maneira alternativa e com ludicidade.
	Realização de atividades com o PhET, relacionando frequência de corte e material que constitui as placas metálicas, energia cinética dos elétrons e frequência da luz incidente, intensidade da luz incidente e corrente elétrica produzida, corrente elétrica detectada pelo amperímetro e tensão entre as placas metálicas, e determinar a frequência de corte, o potencial de corte e a função trabalho.	Suprir a ausência de um laboratório, estimulando os alunos a observarem o fenômeno e realizar medidas de maneira simulada.
	Aplicação do mesmo trabalho realizado na aula anterior contendo seis questões.	Avaliar a compreensão dos conceitos trabalhados para promoção da aprendizagem do efeito fotoelétrico.
22/11 Aplicação do Conhecimento	Realização de atividade em grupo com o simulador desenvolvido pela Secretaria de Educação do Estado da Bahia: montar os circuitos elétricos correspondentes a cada um dos dispositivos que utilizam o efeito fotoelétrico como mecanismo de funcionamento.	Aplicar os conhecimentos adquiridos na resolução de problemas.
	Aplicação de uma questão dissertativa em que o aluno escolhe um dispositivo para explicar o seu funcionamento.	Avaliar a compreensão conceitual com relação ao momento da Problematização Inicial.

4 RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos os resultados da aplicação da estratégia envolvendo a sequência didática elaborada como produto educacional desta dissertação tendo em vista os 3MP. Dessa forma, cada momento pedagógico é apresentado em uma subseção a seguir a fim de deixar mais claro os resultados apreendidos a partir da análise dos dados coletados. Além disso, a avaliação da estratégia didática pelos sujeitos da pesquisa é apresentada na quarta subseção.

4.1 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

No primeiro momento pedagógico, a Problematização Inicial, quando os alunos possuíam poucas noções sobre o efeito fotoelétrico, predominaram ideias ingênuas, mas também algumas mais elaboradas. Esse momento, realizado em uma aula, foi dividido em dois passo, apresentados a seguir.

a) Primeiro passo

No primeiro passo, procedemos com os estudantes à leitura de um texto sobre o efeito fotoelétrico citando algumas das suas aplicações, porém sem definir e sem explicar como ocorrem essas aplicações. Esse texto, intitulado “O efeito fotoelétrico no cotidiano”, consta do produto educacional (Apêndice 1) na seção 1.1 “Iniciando a contextualização”. Em seguida, fizemos a apresentação de três dispositivos que utilizam o conceito do efeito fotoelétrico – porta automática, poste de iluminação e câmera digital – seguida de uma discussão de como eles funcionam.

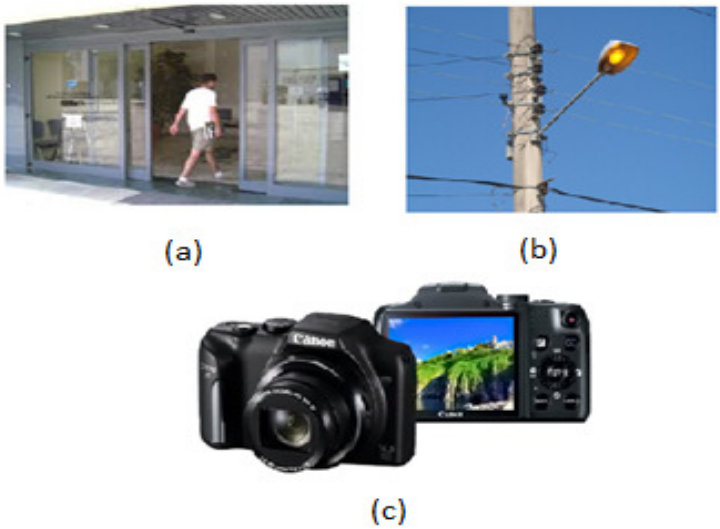


Figura 7: Imagem dos três equipamentos apresentados: porta automática, poste e câmera digital.
Fonte: (a) http://www.solucoesindustriais.com.br; (b) http://www.saojosedavarginha.mg.gov.br; (c) http://www.google.com.br

Durante a discussão, após a leitura do texto, os estudantes se manifestaram e destacamos algumas falas que demonstraram uma diferença entre pensamentos mais equivocados, baseados no senso comum, e outros mais elaborados, mesmo que ainda confusos, mas que mais se aproximavam do conceito aceito pela ciência. Nessa etapa, como foi realizada uma discussão livre e em grupo com todos os alunos da turma, optamos por não identificar a fala de cada um.

> *Os dois (poste e porta automática) possuem sensores, um de calor e outro de movimento.*
>
> *Calor, ele detecta o calor do corpo e abre a porta.*
>
> *A luz está ativando esses sistemas.*
>
> *No poste tem uma fotocélula.*
>
> *Sensor que emite luz em uma área que, se você entrar, ele limita a conexão.*
>
> *Tem uma área que consegue atingir a luz. Quando entra na frente da luz fica escuro e não atinge a base de influência da luz aí não consegue ligar.*

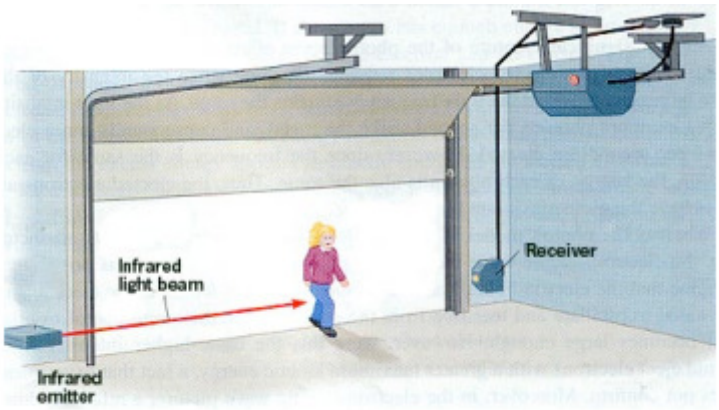
b) Segundo passo

Nesse passo, uma breve explicação de como cada dispositivo funciona[5] foi dada, seguida de um questionário contendo três perguntas básicas:

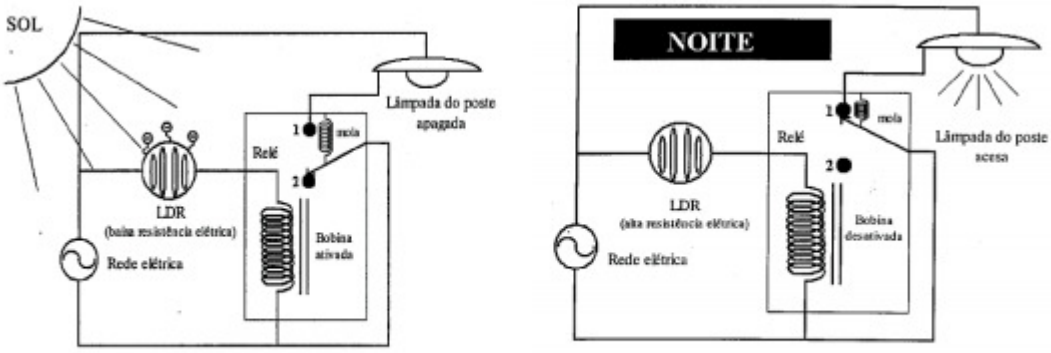
- Como funciona cada um desses sistemas (porta automática, poste e câmera digital)?
- O que eles têm em comum?

[5] Esta explicação se encontra descrita no Produto Educacional (Apêndice 1).

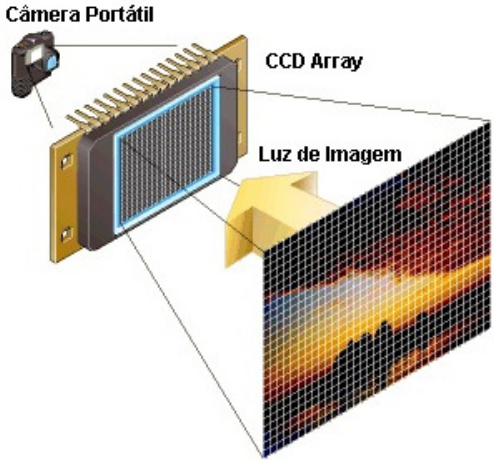
- Que descoberta feita pela ciência você acha que foi essencial para a construção desses sistemas?



(a)



(b)



(c)

Figura 8: Esquema de funcionamento da porta automática (a), poste de iluminação (b) e câmera digital (c). Fonte: (a) http://www.unifal-mg.edu.br/sspibid/sites/default/files/file/S02790.pdf; (b) Valadares e Moreira (1998, p.124); (c) http://www.ufjf.br/fisicaecidadania/conteudo/optica/camera-fotografica/

Após a explanação inicial, cada estudante registrou sua resposta às três perguntas e, no Quadro 5 a seguir, transcrevemos algumas delas. Como as respostas foram dadas em forma escrita e individual, pudemos fazer a identificação, de forma que cada aluno, doravante, será denominado pela letra "A" acompanhada do número que identifica um mesmo aluno: A1, A2, A3 etc..

Quadro 5: Respostas dos alunos às perguntas do professor na fase de Problematização Inicial.

PERGUNTA	RESPOSTA
Como funciona cada um desses sistemas (porta automática, poste e câmera digital)?	Porta automática *Funciona com um sensor de proximidade que utiliza um infravermelho para captar o calor do corpo para fazer com que ela abra.* (A1) *Funciona principalmente pelo sensor e corrente elétrica. Um feixe de luz infravermelho atinge o receptor o qual está gerando corrente elétrica. Ao passar por esse sensor que emite luz, a corrente elétrica para de funcionar, abrindo automaticamente a porta.* (A2) Poste *Existe como se fosse uma caixa, uma célula fotoelétrica onde armazena a luz durante o dia e à noite, ao existir a ausência de luz, o poste acende automaticamente.* (A3) *Exige também corrente e uma bobina, a qual gera um campo elétrico. A noite, sem a corrente elétrica a chave se fecha e a luz acende.* (A2) Câmera digital *Tem um dispositivo que monta a imagem e a emite no visor.* (A4) *Transforma o feixe de luz em pulsos elétricos que estimulam os elétrons a formar números binários para a formação da imagem.* (A5)
O que eles têm em comum?	*Todos utilizam a luz como forma de energia...* (A6) *Cada um transforma a luz em alguma forma de eletricidade.* (A1) *A luz ativa circuitos que geram corrente elétrica, campo magnético e sensores de imagem.* (A7)
Que descoberta feita pela ciência você acha que foi essencial para a construção desses sistemas?	*A luz como fonte de energia.* (A6) *A descoberta da captura de luz em aparelhos eletrônicos.* (A8) *A capacidade da luz de trabalhar junto a outros sistemas, gerando corrente elétrica.* (A7)

Analisando as respostas, notamos que, mesmo após uma breve explicação do professor, algumas concepções a respeito do funcionamento desses dispositivos o efeito fotoelétrico como, por exemplo, a crença na existência de sensores de calor, e outras ainda continuaram equivocadas como a ideia do armazenamento da luz, confundindo-a como uma forma de energia. Porém, alguns alunos perceberam que é possível gerar corrente elétrica a partir da incidência da luz e, assim, alimentar um circuito realizador de trabalho.

De acordo com os objetivos da Problematização Inicial, conseguimos, por meio do debate e dos questionamentos, promover a contextualização do tema junto aos alunos, mostrar que muitas das tecnologias com que os estudantes convivem diariamente têm origem em descobertas feitas pela ciência, induzir os alunos a pensar em como funcionam equipamentos e dispositivos que eles manuseiam ou interagem e fazê-los se interessar em aprender o mecanismo de funcionamento desses e de outros equipamentos.

4.2 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

4.2.1 **Primeira aula**

O segundo momento pedagógico, denominado Organização do Conhecimento, foi executado em duas aulas distintas. Na primeira aula, o histórico do efeito fotoelétrico, passando pela investigação e conclusões de Lenard até se chegar ao modelo proposto por Einstein, foram trabalhados por meio de uma apresentação em projetor digital. Além de abordar os conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico, a aula também teve como objetivo confrontar ideias da física clássica com as novas ideias que emergiram com a física moderna. Ao final da aula, fizemos um exercício de cálculo de grandezas e um teste, majoritariamente conceitual, contendo seis questões (exposto abaixo) foi aplicado.

1) Em que consiste o efeito fotoelétrico?
2) O efeito fotoelétrico ocorre em qualquer material e com todos os tipos de luz? Por quê?
3) Por que este fenômeno contraria as leis da Física Clássica?
4) Como Einstein resolveu este problema?
5) O que é frequência de corte e função trabalho?
6) Para que a prata exiba o efeito fotoelétrico é necessária uma frequência mínima fc = 1,14 . 10^{15}Hz.
   a) Calcule a energia mínima (função trabalho) para “arrancar” um elétron de uma placa de prata.
   b) Quando a radiação de frequência f = 2. 10^{15}Hz atinge a placa de prata, qual a máxima energia cinética dos elétrons emitidos?
   c) Para a situação do item b, qual a velocidade máxima dos elétrons emitidos? (Dado: massa do elétron: 9,11. 10^{-31}kg).

A partir daqui, exporemos, de maneira qualitativa, o desempenho da turma em cada uma dessas questões. Pelo fato de os alunos não terem estudado previamente sobre o assunto, ou seja, estavam tendo contato com o tema pela primeira vez, não encontramos uma resposta completamente correta, sem erros conceituais ou de definição. Por este motivo, tivemos que considerar padrões de respostas categorizadas como: Correta (C), Parcialmente Correta (PC) e Incorreta (I). As respostas consideradas corretas estão descritas nos quadros de 6 a 10 em que apresentamos o número de respostas classificadas em cada categoria e um exemplo ilustrativo. Já as respostas classificadas como parcialmente corretas e incorretas ficaram definidas como:

- *Parcialmente correta*: respostas incompletas e/ou com algum erro conceitual tendo como referência a resposta correta.
- *Incorreta*: respostas que não guardavam qualquer referência à resposta correta.

Quadro 6: Desempenho da turma na questão 1.

Em que consiste o efeito fotoelétrico?		
RESPOSTA	**N**	**EXEMPLO**
C	14	*É quando uma luz incide em uma placa metálica e arranca os elétrons dela.* (A12)
PC	3	*É quando incide a energia em um material, tirando elétrons dele.* (A9)
I	2	*Consiste em um feixe de luz que conduz eletricidade*. (A2)

Correta: respostas que mencionavam a emissão de elétrons de uma placa metálica a partir da incidência de radiação eletromagnética (luz) nesta placa.

Quadro 7: Desempenho da turma na questão 2.

O efeito fotoelétrico ocorre em qualquer material e com todos os tipos de luz? Por quê?		
RESPOSTA	**N**	**EXEMPLO**
C	5	*Ocorre com qualquer material, mas com o metal é mais fácil de observar. Ocorre dependendo da frequência da luz, se a frequência for abaixo do necessário os elétrons não são arrancados do metal.* (A13)
PC	4	*Não, pois depende da sua frequência.* (A14)

I	10	*Não. Porque existem vários tipos de luz, depende da energia cinética*. (A1)

Correta: quando respondiam as duas perguntas da questão. Com relação ao material: qualquer um ou preferencialmente metálico. Com relação ao tipo de luz: mencionar a dependência da frequência dela.

Quadro 8: Desempenho da turma na questão 3.

Por que este fenômeno contraria as leis da Física Clássica?		
RESPOSTA	**N**	**EXEMPLO**
C	4	*Contraria as leis, pois pensamos que ao aumentar a intensidade da luz arrancaria os elétrons, porém o que depende é da frequência da luz.* (A3)
PC	8	*Até a equação de Max a luz era emitida em pacotes. Depois Einstein descobriu que a luz é onda e partícula ao mesmo tempo.* (A15)
I	7	*Porque diziam que a propagação da luz era feita em pacotes de energia*. (A10)

Correta: respostas que mencionavam o fato de, na Física Clássica, a luz ser considerada uma onda e/ou alguma das inconsistências observadas por Lenard que foram citadas pelo professor no decorrer da aula.

Quadro 9: Desempenho da turma na questão 4.

Como Einstein resolveu este problema?		
RESPOSTA	**N**	**EXEMPLO**
C	7	*Ressuscitou a teoria corpuscular de Newton e utilizou a fórmula de Max Planck para a radiação do corpo negro, substituiu os corpúsculos luminosos por quantas de luz (fótons).* (A16)
PC	1	*Englobando a teoria de outros físicos, chegando a uma ideia de que a luz é formada de partículas.* (A11)
I	11	*Através de experimentos viu-se que a luz é emitida em pacotes com ondas dentro*. (A2)

Correta: Juntando as teorias de Planck (radiação do corpo negro) e Newton (teoria corpuscular da luz) e/ou introduzindo o conceito de fótons e a dualidade onda-partícula.

Quadro 10: Desempenho da turma na questão 5

O que é frequência de corte e função trabalho?		
RESPOSTA	**N**	**EXEMPLO**
C	2	*Frequência mínima para arrancar os elétrons. Característica de cada material, energia mínima para arrancar o elétron da placa.* (A16)
PC	10	*É quando incide a energia em um material, tirando elétrons dele.* (A9)
I	7	*É o eletroVolt necessário para que ocorra o efeito fotoelétrico.* (A12)

Correta: respostas do tipo: frequência mínima da radiação incidente para que ocorra o Efeito Fotoelétrico (frequência de corte) e energia necessária para arrancar o elétron da placa metálica, depende do material que constitui essa placa metálica.

No caso da questão 6, como era de cálculo de grandezas, preferimos apenas registrar que dos 19 alunos presentes: nove (9) nem tentaram fazer, seis (6) tentaram fazer mas não conseguiram resolver todos os itens ou não acertaram nenhum, e apenas quatro (4) alunos resolveram a questão toda de forma correta.

Neste primeiro dia de Organização do Conhecimento, observamos que os alunos tiveram o mesmo comportamento de outras aulas, ou seja, poucas perguntas e colocações, porém demonstraram vontade de aprender sobre o assunto, visto que a grande maioria se concentrou na exposição do professor, não havendo dispersão em conversas paralelas. Contudo, o silêncio excessivo da turma também pode ser interpretado como dificuldade ou praticamente nenhuma compreensão do assunto, já que aceitaram o que foi passado pelo professor sem questionamentos.

Apesar de utilizarmos *slides* contendo figuras e até um pequeno vídeo sobre o detector de ondas eletromagnéticas de Hertz, os alunos apresentaram problemas de abstração e entendimento das situações e fenômenos, mostrando ser o assunto completamente novo para eles. As respostas, mesmo com um razoável nível de acertos, denotaram uma assimilação mecânica do conteúdo caracterizada por frases decoradas da fala do professor e com pouca capacidade de aplicação desse conhecimento. Percebemos, também, algumas poucas respostas muito precisas e com uma linguagem científica incomum entre os alunos, causando certa desconfiança de que a resposta possa ter sido pesquisada rapidamente na internet sem que o professor percebesse. Também encontramos dificuldades em categorizar as respostas, pois

algumas continham duas perguntas na mesma questão e outras que poderiam não estar claras para o aluno, configurando-se em uma falha na elaboração do instrumento de pesquisa, que não pode ser validado anteriormente.

A questão que envolvia cálculos, como já era esperado, teve poucos acertos e grande quantidade de abstenção. Os estudantes que tentaram fazer essa questão apresentaram dificuldades envolvendo unidades de medida e também com a definição de cada uma das grandezas envolvidas. Concluímos que esta aula, expositiva e tradicional, apesar de utilizar recursos alternativos (projeção digital contendo imagens e vídeos), não contribuiu significativamente para a compreensão do efeito fotoelétrico.

4.2.2 **Segunda aula**

No segundo dia da etapa de Organização do Conhecimento, uma aula foi ministrada utilizando somente a simulação do efeito fotoelétrico do PhET[6], seguindo a sequência abaixo:

1) *Definição das grandezas*. Manipulamos a simulação, variando a intensidade e o comprimento de onda da radiação luminosa, modificamos o material das placas metálicas utilizando o sódio, o zinco e o cobre, alteramos a voltagem da bateria e assim mostramos a função de cada uma dessas grandezas, porém ainda sem gerar o efeito fotoelétrico.
2) *Gerando o efeito fotoelétrico*. Fizemos a demonstração do fenômeno usando parâmetros pré-estabelecidos, simultaneamente íamos pedindo aos alunos que descrevessem o que estavam observando e enfim definimos o conceito de efeito fotoelétrico. Também fizemos as perguntas: Que bolinhas são essas que saem de uma placa em direção à outra? O que acontecerá se aumentarmos a intensidade da radiação? E o seu comprimento de onda?
3) *Explicando o modelo.* Discutimos com os alunos como fazer para gerar o efeito fotoelétrico na simulação, ou seja, eles sugeriam ações e nós as executávamos explicando o que estava dando errado até conseguirmos. Trabalhamos também as inconsistências com a Física Clássica, por exemplo, ao aumentar a intensidade da radiação o efeito não ocorria para determinados comprimentos de onda e quando ocorria, a velocidade das bolinhas também não crescia. Definimos o conceito de frequência de corte e explicamos o modelo proposto por Einstein utilizando a opção "mostrar fótons" na simulação.
4) *Atividades*. Manipulando a simulação com a ajuda dos alunos, encontramos o valor da frequência de corte para cada um dos materiais disponíveis, fizemos a relação entre a

[5] Disponível em: <http://phet.colorado.edu/pt_BR/>.

intensidade da radiação e a corrente elétrica concluindo serem diretamente proporcionais. Por fim, realizamos a verificação da equação de Einstein medindo e calculando as variáveis envolvidas.

A ideia inicial era conseguir alguns *tablets* ou *notebooks* para que o roteiro contido no produto educacional fosse seguido ao mesmo tempo em que o professor mostrava no projetor digital e as atividades fossem realizadas em grupo. Alguns alunos trouxeram *tablets*, mas em nenhum deles foi possível executar a simulação por não possuírem programas compatíveis com a linguagem Java em que é programada a simulação. Além disso, o sinal da internet disponibilizada pela escola não alcançava a sala de aula, impossibilitando assim a utilização da simulação diretamente do seu *website*. Com isso, a interatividade dos alunos com a simulação ficou comprometida e todos tiveram que apenas assistir a manipulação da simulação realizada pelo professor, que simultaneamente ia questionando e discutindo as situações de acordo com o que estava descrito no produto educacional.

Ao final da aula, aplicamos o mesmo teste da primeira aula, apenas substituindo a questão 6 por outra também de cálculo e incluímos na pergunta 5 a definição do potencial de corte, além de frequência de corte e função trabalho. No Quadro 11 abaixo selecionamos algumas das respostas dadas pelos estudantes nesta etapa a fim de identificar uma possível evolução na aprendizagem ao se fazer uma comparação com as respostas, classificadas como "incorretas" (I), dadas na etapa anterior.

Quadro 11: Exemplos de respostas que evoluíram conceitualmente.

QUESTÃO	EXEMPLO DE RESPOSTA
1	*Quando uma placa fica exposta a uma radiação, dependendo da frequência, essa consegue arrancar elétrons dessa placa.* (A2)
2	*Não. Ocorre geralmente em materiais metálicos e vai depender da intensidade, da radiação e da frequência.* (A1)
3	*Porque dizia que não deveria depender da frequência da onda.* (A10)
4	*Pensou-se na onda batendo na parede, ou seja, demoraria mais para que o elétron fosse arrancado. Com a chuva de balas, arrancaria mais fácil os elétrons.* (A2)[7]
5	*Frequência de corte = menor frequência para gerar o efeito fotoelétrico; Função trabalho = diferença entre energia de vácuo e energia cinética; Potencial de Corte = ddp que faz voltar para a placa o fotoelétron mais rápido.* (A12)

[7] Analogia feita por Einstein para explicar a natureza da luz (onda x partícula).

Em relação à questão 6, as questões de cálculo continuaram inibindo os alunos, portanto, não houve um aumento de tentativas e nem de resoluções corretas.

Deste segundo dia de Organização do Conhecimento foi possível observar que os alunos se interessaram mais e se arriscaram até em prever alguns resultados. Um dos alunos chegou a dizer: "*Tá vendo, é possível gostar de Física!*". Mesmo não tendo oportunidade de manipular a simulação, os alunos pareceram entender melhor o fenômeno e, assim, pudemos aprofundar um pouco mais o conteúdo. Com isso, a discussão ficou mais interessante, com mais alunos participando e criando soluções para os problemas sugeridos pelo professor. As respostas demonstraram uma sensível evolução na aprendizagem, pois os alunos conseguiram definir mais precisamente o efeito fotoelétrico e os conceitos de frequência de corte e potencial de corte, compreenderam a dependência da frequência para ocorrer o fenômeno confrontando com o pensamento clássico e passaram a entender melhor o modelo proposto por Einstein, visto que um dos alunos usou até uma analogia para responder a uma das questões.

Dessa forma, a etapa de Organização do Conhecimento foi cumprida, visto que trabalhamos os conteúdos e conceitos necessários para a compreensão do efeito fotoelétrico, utilizando variadas fontes e recursos didáticos, além de fornecer subsídios aos alunos através das atividades propostas e da simulação computacional, para que eles adquirissem a capacidade de solucionar problemas e prever resultados.

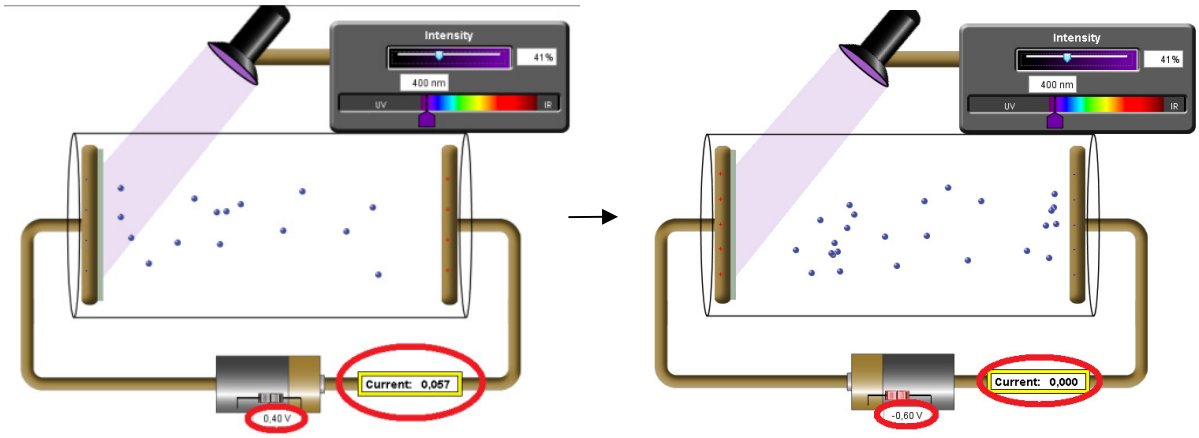


Figura 9: Ilustração da tentativa de determinação do potencial de corte através do simulador.
Fonte: https://phet.colorado.edu

4.3 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

No quarto e último dia, referente à fase da Aplicação do Conhecimento, utilizamos outra simulação computacional, trata-se de um objeto educacional produzido pela Secretaria de Educação do Estado da Bahia em parceria com a Universidade do Estado da Bahia cujo nome é "Física e o Cotidiano / Efeito Fotoelétrico"[8]. Esse recurso contém um desafio que consiste em completar circuitos de dispositivos cujo funcionamento está associado ao efeito fotoelétrico. Dentre os dispositivos estão, nesta ordem: despertador inteligente, porta automática, armadilha, poste de iluminação e alarme de presença.

Para esse momento, optamos por dividir os estudantes da turma em quatro grupos, com seis alunos em cada, e levamos um computador portátil com a simulação previamente instalada para eles realizarem o desafio. Como a atividade foi realizada por um grupo de cada vez, optamos pela montagem de apenas dois dos cinco dispositivos disponíveis para que houvesse tempo de realizar as outras atividades planejadas. A preparação e execução desta atividade consumiram os primeiros 50 minutos da aula.

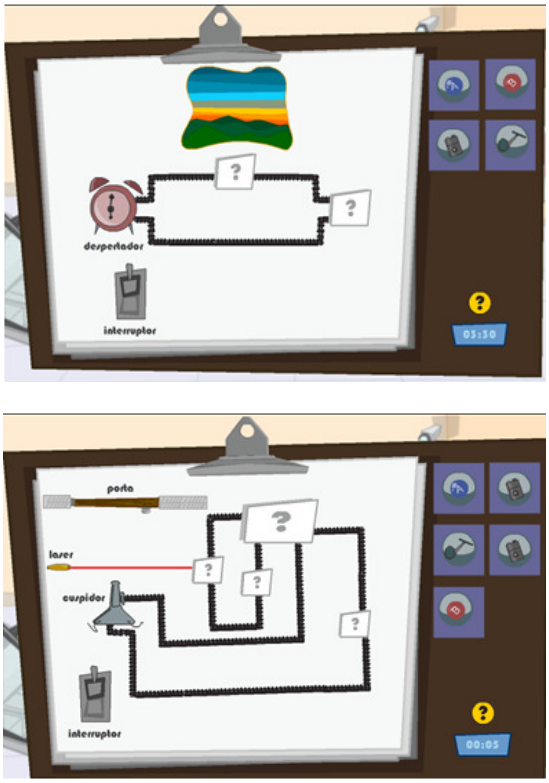


Figura 10: Circuitos: despertador e armadilha.
Fonte: http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14356/open/file/index.html

[8] Disponível em: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14356/open/file/index.html>.

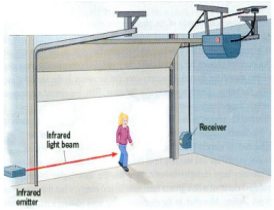
O desempenho de cada grupo, que foi definido de forma livre pelos próprios estudantes, foi avaliado em termos do número de tentativas e erros na montagem dos circuitos de dois dos dispositivos contidos na simulação computacional, acompanhado das observações realizadas pelo pesquisador durante a realização da atividade: despertador e armadilha. A síntese do resultado da aplicação dessa atividade se encontra no Quadro 12 a seguir.

Quadro 12: Síntese do resultado da aplicação da atividade.

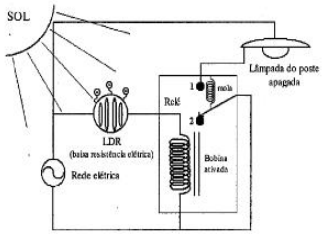
GRUPO	DISPOSITIVO	TENTATIVA	ERRO	OBSERVAÇÕES
1	Despertador	1	0	O grupo analisava o circuito em questão e tentava usar os conhecimentos adquiridos nas aulas. No caso da armadilha, errou apenas por não ter percebido que havia uma célula fotoelétrica específica para forte estímulo luminoso ~~(B).~~
	Armadilha	2	1	
2	Despertador	2	1	O grupo tentou encontrar uma lógica para montar os circuitos se valendo também de algum raciocínio baseado no que aprenderam nas aulas anteriores. Encontrou rapidamente a posição correta das células fotoelétricas, mas demoraram a perceber o papel da bateria nos circuitos.
	Armadilha	3	2	
3	Despertador	2	1	O grupo optou por usar a intuição para montar os circuitos, ou seja, não raciocinaram e nem tampouco aplicaram o que foi trabalhado nas aulas. Sendo assim, utilizaram o método da tentativa e erro, ocasionando uma grande quantidade de erros.
	Armadilha	5	4	
4	Despertador	1	0	O grupo analisava o circuito em questão com cautela e aplicava os conhecimentos adquiridos nas aulas, ou seja, não ligava o dispositivo enquanto não tinham certeza de que estava tudo certo com a montagem do circuito. Procurou entender primeiramente a função de cada elemento do circuito e utilizou o conceito de efeito fotoelétrico corretamente.
	Armadilha	1	0	

Nos 50 minutos restantes da aula, uma segunda atividade foi realizada, dessa vez fazendo uso de imagens em que o professor propôs a seguinte questão aos alunos: “Escolha um dos sistemas e explique o seu funcionamento relacionando com o efeito fotoelétrico”.

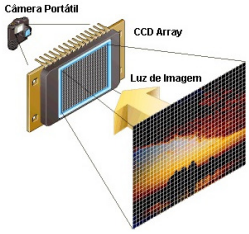
a)



b)



c)



Ao ler os textos dos alunos, encontramos uma grande variedade de respostas nas quais, por meio da análise de conteúdo, pudemos inferir alguns padrões de raciocínio que foram divididos em categorias que apresentamos no Quadro 13 abaixo.

Quadro 13: Categorias de respostas dos alunos quantificadas e exemplificadas.

CATEGORIA	N	EXEMPLOS
Relacionaram o funcionamento do dispositivo à emissão de elétrons devido à incidência de luz em uma placa metálica.	5	*A luz incide no metal, gerando elétrons, onde automaticamente o difusor do poste é disparado, fazendo acender a luz no poste*. (A13) *Está fazendo a emissão de elétrons atravéz de um material metálico... irá gerar energia (luz) e fará com que o objeto funcione*. (A14)
Relacionaram o funcionamento do dispositivo ao bloqueio ou ausência da incidência de luz infravermelho/ultravioleta) em um receptor.	11	*A porta automática possui um radar que incide a luz intravermelha a qual incide diretamente em um receptor mantendo a porta em seu estado de repouso, quando algo impede essa transmição da luz para o receptor a porta sai do seu estado de repouso.* (A11) *Os raios ultravioletas que são emitidos pelo sol incide em um dispositivo que fica atrás do poste fazendo com que ele se apague. Ao anoitecer, o dispositivo não recebe mais os raios ultravioletas.* (A4)

Relacionaram o funcionamento do dispositivo à existência de um sensor de radiação (infravermelha/solar).	3	*O sensor infravermelho, relacionado com o efeito fotoelétrico, detecta quando alguém ou alguma coisa irá passar pela porta.* (A15) *Existe um dispositivo que "sente" a presença da luz solar durante o dia.* (A16)
Relacionaram o funcionamento do dispositivo ao calor emitido por algum corpo	3	*Durante o dia o sol aquece a lâmpada.* (A5) *O efeito fotoelétrico do poste ocorre a partir de sua temperatura, absorve calor e energia.* (A17)
Outras explicações	2	*Os postes que iluminam a noite as ruas possuem um sistema que é responsável por armazenar a luz proveniente do sol durante o dia.* (A2) *A radiação do sol emite sinais que ao entrar em contato com o poste a luz é desligada.* (A10)

A partir da análise das respostas dos estudantes nesta última etapa, concluímos que a maioria dos alunos (16) souberam descrever, mesmo que de forma parcial, o funcionamento dos sistemas. Dessa forma, podemos afirmar que um dos objetivos do trabalho, que era dar aplicabilidade aos conhecimentos adquiridos nas aulas de física, foi atingido. Ou seja, as discussões e abordagens sobre o tema em sala de aula contribuíram para que os alunos construíssem o seu próprio entendimento e, assim, pudessem formular uma explicação com base científica para a questão apresentada pelo professor.

No entanto, desses 16 alunos apenas cinco souberam explicar de que maneira o efeito fotoelétrico pode ser utilizado para fazer funcionar os mais variados sistemas. Um dos fatores que podem ter contribuído para este suposto "fracasso" se deve ao fato de que a atividade de montagem de circuitos por meio da simulação computacional foi realizada com apenas um computador para seis alunos manipularem, ou seja, possivelmente nem todos eles manipularam individualmente a simulação.

Ao citar a emissão de elétrons a partir da incidência de radiação eletromagnética em uma placa metálica, aqueles cinco alunos perceberam que um circuito elétrico pode ser alimentado quando ocorre o efeito fotoelétrico. Podemos observar também que certos alunos utilizaram os termos radiação, infravermelho e ultravioleta, demonstrando a assimilação de alguns conceitos como espectro da radiação eletromagnética e o transporte de energia através da luz. Entretanto, houve respostas completamente equivocadas utilizando conceitos que não influenciavam na situação, como, por exemplo, o calor.

A fase de Aplicação do Conhecimento, que finaliza a sequência didática, mostrou que, de uma maneira geral, houve pouca conexão por parte dos alunos entre os conceitos aprendidos durante as aulas com as situações apresentadas pelo professor. As respostas dadas por esses estudantes nas atividades realizadas confirmaram alguma evolução na aprendizagem do tema,

porém dissociada da sua aplicação na realidade. Essa dicotomia entre teoria e prática ainda representa um grande desafio para os professores, pois persistiu neste trabalho apesar da metodologia conter diversos recursos e estratégias. Uma possível especulação para isso reside no fato da impossibilidade dos alunos terem usado eles mesmo a simulação, criando um ritmo próprio de aprendizagem ao terem que pensar no funcionamento dos dispositivos a partir do conceito do efeito fotoelétrico.

4.4 AVALIAÇÃO DA ESTRATÉGIA DIDÁTICA

Após finalizar a aplicação do produto educacional, ainda durante a quarta aula, distribuímos para os alunos um questionário de avaliação da estratégia didática (Apêndice 2) com objetivo de verificar o grau de satisfação da turma. Mesmo sabendo que as respostas podem ter sido influenciadas pelo fato de o pesquisador ser o próprio professor da turma, consideramos que estas poderiam fornecer alguns dados relevantes a respeito das preferências didáticas dos alunos e de como constroem o seu próprio conhecimento.

O questionário continha seis perguntas contendo respostas fechadas, associadas a uma nota: não sabe avaliar = 0; muito insatisfeito = 1; insatisfeito = 2; indiferente = 3; satisfeito = 4; muito satisfeito = 5. Nessa aula, estiveram presentes 22 estudantes, e a análise das respostas ao questionário de satisfação é apresentada após o gráfico de frequência absoluta de respostas para cada pergunta.

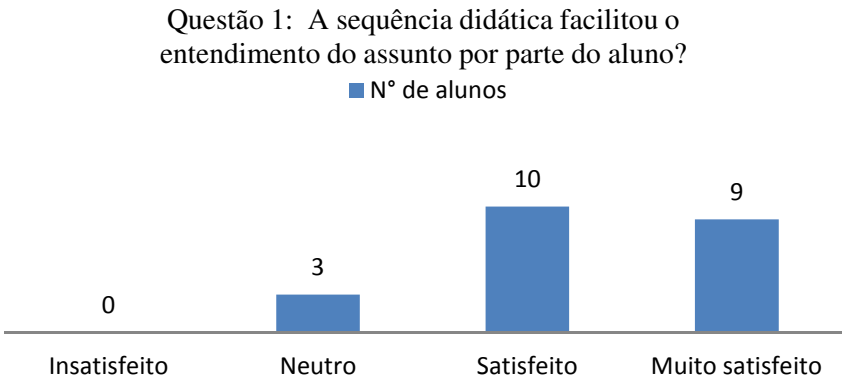


Gráfico 1: Contribuição da sequência didática para a compreensão do assunto.

Durante todo o ano letivo utilizamos variados recursos e estratégias didáticas nas aulas, mas sempre de maneira expositiva e com pouco ou nenhum espaço para que os alunos construíssem o seu conhecimento, isto é, apenas transmitimos um conhecimento que já estava

pronto, dando a ideia de uma ciência pronta, inquestionável e não como produção humana. A sequência didática elaborada deu a oportunidade para que os alunos observassem o fenômeno do efeito fotoelétrico, tirassem suas próprias conclusões e as aplicassem em situações concretas. Sendo assim, houve uma melhor consolidação dos conceitos devido a um aumento do interesse gerado pela estratégia planejada com base nos 3MP e fazendo uso de recursos digitais. Esses motivos provavelmente justificam o fato de a maioria dos estudantes ter considerado a sequência didática como facilitadora do entendimento do assunto abordado, conforme evidencia o Gráfico 1 acima.

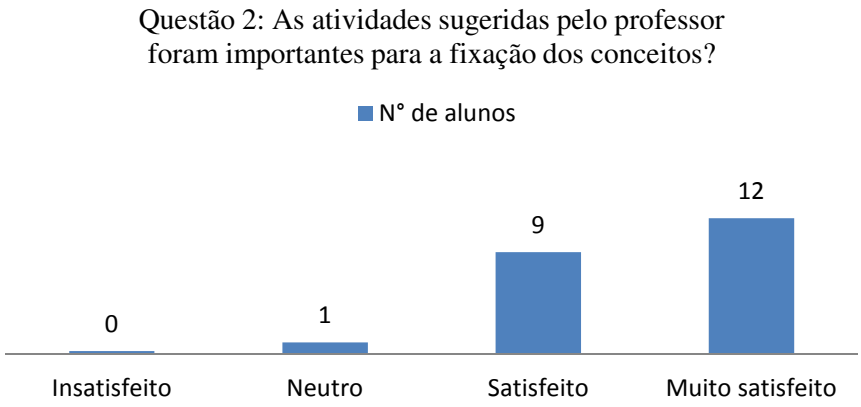


Gráfico 2: Importância das atividades sugeridas para a compreensão do assunto.

As atividades sugeridas pelo professor ocorreram na terceira aula, quando os alunos mediram e calcularam grandezas através do simulador PhET, e na quarta aula quando a turma foi dividida em grupos e, através do simulador Física e Cotidiano, fizeram o desafio de montar os circuitos dos dispositivos que utilizam o efeito fotoelétrico como principio de funcionamento. Ao contrário das listas de exercícios e pesquisas sobre um determinado tema, atividades predominantemente objetivas realizadas ao longo do ano letivo, essas atividades sugeridas durante a aplicação da sequência didática exigiram dos alunos a observação do fenômeno, a criação de hipóteses e a aplicação de conhecimentos em uma situação mais próxima do real. O surgimento desses elementos, inéditos até então para os alunos (e para o próprio professor que, até então, não tinha aplicado nenhuma estratégia planejada como a do produto educacional desenvolvido), contribuíram para a superação de obstáculos como a abstração, a matemática e a interpretação de problemas. Acreditamos serem esses os motivos para que a quase totalidade dos alunos ficasse satisfeita com as atividades sugeridas (Gráfico 2).

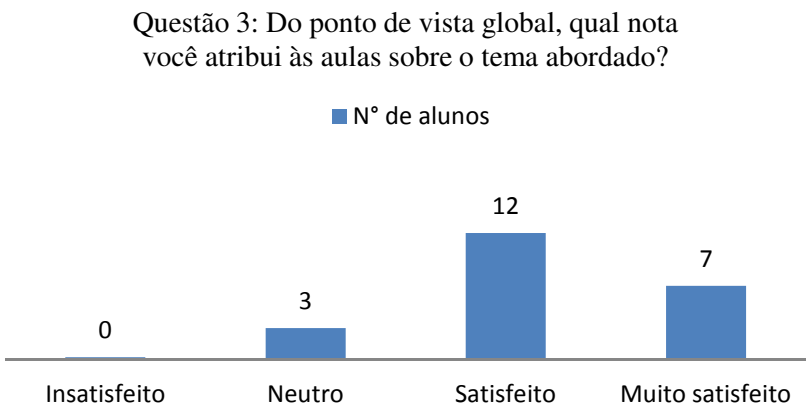


Gráfico 3: Satisfação dos alunos em relação às aulas.

Apesar do esforço na elaboração de uma sequência didática que motivasse os alunos e facilitasse o entendimento do efeito fotoelétrico, ainda assim ela não produziu efeitos positivos para alguns alunos. Isso pode ser explicado pela própria complexidade do tema estudado e/ou dificuldade de interpretação da simulação computacional apresentada. A insuficiente aprendizagem de alguns conceitos que são requisitos para o entendimento do assunto também pode ter dificultado essa parcela da turma, mas consideramos que o resultado, no geral, foi bastante satisfatório na opinião dos alunos, conforme mostra o Gráfico 3.

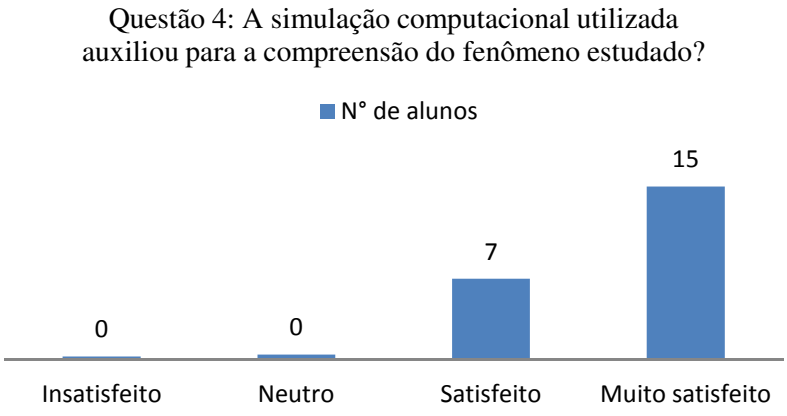


Gráfico 4: Contribuição da simulação computacional para a compreensão do assunto.

Esse talvez seja o aspecto mais interessante a destacar do questionário de satisfação: a unanimidade dos estudantes em relação ao auxílio da simulação computacional para a compreensão do efeito fotoelétrico, conforme mostra o Gráfico 4 acima. Com isso, consideramos que a inserção de recursos digitais como a simulação na sequência didática cumpriu bem o papel de elemento motivador e, sobretudo, de alternativa ao laboratório de ciências, ausente na escola. Porém, consideramos também que uma pesquisa mais aprofundada

é necessária a fim de compreender aspectos intrínsecos à simulação e sua contribuição para a aprendizagem em física.

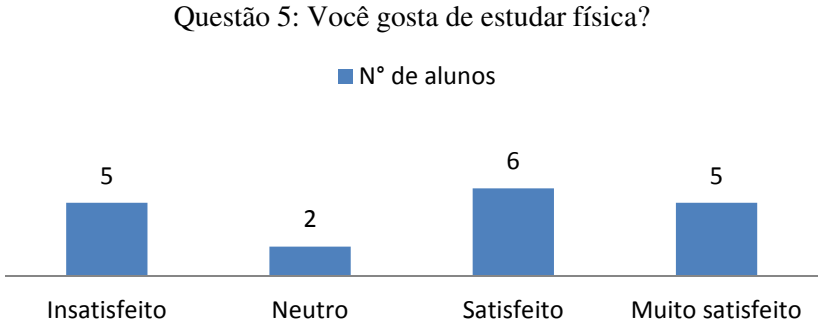


Gráfico 5: Satisfação dos alunos em estudar física.

O Gráfico 5 mostra que um pouco mais da metade da turma gosta de estudar física, o que se configura como um aspecto facilitador para a aprendizagem dos conteúdos. Apesar das muitas dificuldades apresentadas ao longo do curso, os alunos dessa turma sempre se esforçaram para alcançar a média estabelecida pela escola, realizando todas as atividades e trabalhos que o professor propunha.

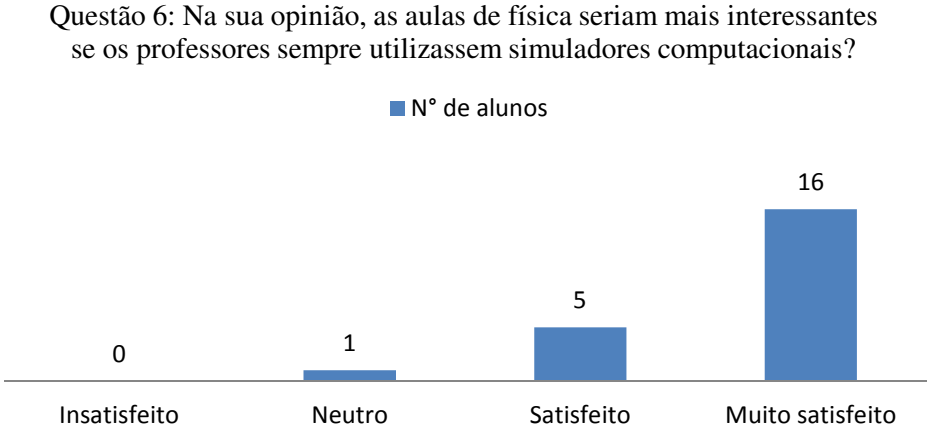


Gráfico 6: Potencial do uso de simulações computacionais em aulas de física.

A partir da análise do Gráfico 6, concluímos que a utilização de simulações computacionais nas aulas de física foi aprovada por praticamente todos os alunos, se tornando inclusive um recurso fundamental para tornar as aulas mais atraentes, segundo os mesmos. Apenas um desses estudantes classificou como neutra a inserção desses recursos nas aulas.

Como instrumento de avaliação da aprendizagem do conteúdo abordado, utilizamos a prova bimestral (Apêndice 3) elaborada pelo próprio professor da turma e aplicada pela escola, sendo uma avaliação obrigatória prevista no calendário escolar. A prova foi estruturada de

acordo com as diretrizes institucionais e continha seis questões que versavam sobre os conteúdos radiação do corpo negro, modelos atômicos e efeito fotoelétrico. Três dessas questões eram exclusivamente sobre o efeito fotoelétrico, sendo duas teóricas e uma de cálculo. O rendimento da turma, apenas com relação a essas três questões sobre o efeito fotoelétrico, pode ser observado no Gráfico 7.

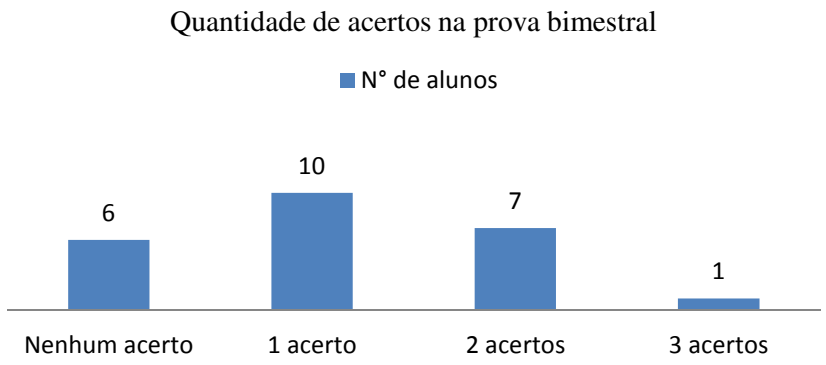


Gráfico 7: Rendimento dos alunos nas três questões sobre efeito fotoelétrico na prova bimestral.

Baseado na quantidade de acertos nas três questões sobre o efeito fotoelétrico, consideramos insatisfatório o desempenho global da turma se comparado ao volume de atividades realizadas durante a aplicação da estratégia didática. Isso pode ser afirmado uma vez que dois terços da turma tiveram mais erros do que acertos. Porém, consideramos que a estratégia didática proporcionou uma melhora em relação à aprendizagem conceitual do tema, e que não é refletido em uma prova com questões objetivas que não permitem que os estudantes expressem suas ideias acerca do fenômeno físico, já que em etapas anteriores muitos alunos se aproximaram da resposta cientificamente correta nas questões teóricas. Sendo assim, o resultado obtido com a prova bimestral não deve ser levando em consideração para avaliar a sequência didática, pois estratégias diferentes da tradicional requerem também outros instrumentos de avaliação.

Um aspecto positivo em relação à prova bimestral foi um maior número de tentativas de resolução da questão de cálculo, demonstrando, talvez, um aumento de confiança dos alunos na assimilação, pelo menos em parte, do assunto, associado ao fato de que a prova era uma atividade que impactava na nota bimestral e na aprovação dos alunos.

O fraco desempenho da turma nessa prova pode ser explicado pela falta de exercícios trabalhados em sala durante a aplicação do produto educacional. A estratégia didática focou mais na discussão de um problema e na experimentação do fenômeno através de simulações computacionais, não separando, portanto, um tempo para a resolução de exercícios. Somado a

esse descompasso entre a estratégia didática desenvolvida nas quatro aulas e a prova bimestral da escola, a própria complexidade inerente ao assunto abordado pode ter contribuído para que os resultados na prova bimestral não fossem tão satisfatórios. No entanto, consideramos que o objetivo foi cumprido, uma vez que se almejava a compreensão do efeito fotoelétrico para além de problemas do tipo “valor numérico” ou o acerto de uma questão de múltipla-escolha que pode não refletir o quanto o aluno aprendeu sobre determinado assunto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar este trabalho buscamos contribuir para a inserção de conteúdos de FMC no EM e discutirmos a importância de acrescentar essa parte da física nos currículos escolares, pois o mundo em que vivemos está cercado de tecnologias que foram desenvolvidas graças ao conhecimento produzido durante o desenvolvimento dessa área. Portanto, consideramos que é preciso fornecer aos estudantes a visão de uma ciência em constante evolução, cujo objetivo é trazer benefícios para a sociedade, e não de uma ciência infalível, pronta, finalizada. Além disso, documentos oficiais, vestibulares e o próprio mercado de produção de livros e recursos didáticos, cada um a sua maneira, pressionaram as instituições de ensino a incluírem tópicos relacionados à FMC em seus currículos.

Observamos também, por meio de um levantamento de publicações e da revisão de literatura, que a abordagem desses assuntos ainda se apresenta problemática. Os trabalhos publicados destacam a complexidade dos conceitos inerente à FMC e, principalmente, a falta de preparo do professor como fatores determinantes para o insucesso do processo de ensino e aprendizagem dos principais assuntos dessa área da física. Muitos autores detectaram problemas na formação inicial docente com relação ao ensino de FMC em que os cursos de licenciatura em física, de maneira geral, privilegiam a dedução de equações matemáticas que geralmente são incompatíveis com o nível de ensino em que o professor atuará. Os futuros professores precisam de uma base conceitual mais sólida da FMC e isso passa por uma reformulação das disciplinas que abordam esses assuntos nos cursos de formação de professores. Para os docentes em exercício, a formação continuada surge como uma importante alternativa a fim de colaborar para a consolidação de seus conhecimentos sobre FMC e para a sua recontextualização para o EM, mas estarão fadados ao fracasso caso insistam em repetir o formalismo praticado nos cursos de licenciatura.

Apesar da preocupação por parte dos pesquisadores em inserir FMC no EM, ainda é pequeno o número de trabalhos que sugerem estratégias didáticas para os docentes trabalharem esses assuntos com seus alunos, principalmente em se tratando do efeito fotoelétrico, o que nos levou a fazê-lo tópico desta pesquisa. Encontramos apenas cinco trabalhos sobre o ensino do efeito fotoelétrico publicados nos principais periódicos da área de ensino de ciências entre os anos de 2011 a 2016, evidenciando que há necessidade de se produzir estratégias didáticas e materiais para auxiliar os professores. Isso não significa necessariamente produzir mais uma

simulação, mais uma animação nem mais qualquer outro recurso, mas sim problematizar e investigar estratégias didáticas que levem em consideração a aprendizagem da física que possa promover de fato uma alfabetização científica e não corrobore para a ojeriza que as pessoas têm da física em suas memórias da etapa de escolarização dessa disciplina, um dos pilares das ciências naturais. Justamente por isso optamos por não desenvolver uma "inovação" como produto educacional, já que encontramos na rede mundial de computadores recursos como as simulações computacionais utilizadas na sequência didática que atendem satisfatoriamente o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico.

Dentre os tópicos que fazem parte da FMC, o efeito fotoelétrico é considerado por muitos autores um dos mais importantes, uma vez que foi o responsável por comprovar ideias que permitiram a quebra de paradigmas clássicos, promovendo um grande avanço na física. É consensual também entre os pesquisadores que esse tópico não pode estar ausente em qualquer currículo que contemple a FMC dentre os conteúdos de física nas escolas, fato hoje praticamente inquestionável. Mas qual a melhor forma de abordagem: trabalhar com história e filosofia da ciência? Trabalhar com analogias clássicas? Explorar a aplicação desses conceitos na criação da tecnologia que usamos no nosso cotidiano?

Neste trabalho utilizamos todas essas formas distribuídas nas três etapas correspondentes à dinâmica dos 3MP e obtivemos resultados positivos, em que os conhecimentos dos alunos foram evoluindo gradativamente. Ainda assim, é fundamental que os alunos tenham uma base de conceitos da física clássica para que a aprendizagem do efeito fotoelétrico não fique ainda mais comprometida. Dentre os conceitos que entendemos serem requisitos para a abordagem de conteúdos de FMC citamos: ondas eletromagnéticas, corrente elétrica, diferença de potencial elétrico, entre outros.

Mesmo em se tratando de assuntos complexos e ainda serem recentes as discussões sobre a sua transposição didática, concluímos ser possível potencializar a aprendizagem de tópicos de FMC através da utilização de um método pedagógico baseado na problematização e aplicação de conhecimentos em situações do cotidiano dos alunos. Neste trabalho, consideramos que a introdução de simulações computacionais potencializou a sequência didática e foi importante para minimizar problemas de abstração, muito comuns quando se trabalha com o efeito fotoelétrico, entre outros da FMC, no EM. Utilizamos duas simulações, uma delas após a aula expositiva do conteúdo, para demonstrar e explicar melhor a teoria, e a outra na aula seguinte, para aplicar o que aluno aprendeu. Isso fez com que as aulas se tornassem mais dinâmicas e até mesmo divertidas, prendendo a atenção dos alunos por mais tempo e promovendo uma maior participação individual e em grupo.

Braga, Killner e Araújo (2017) não observaram diferenças significativas de aprendizagem quando usaram uma simulação computacional associada aos 3MP no início ou no final da sua estratégia didática. Porém, entendemos que, em se tratando de uma simulação computacional com características demonstrativas, ou seja, sem contextualização ou problematização, como é a do PhET, devemos inseri-la após a abordagem sistemática, durante a fase de intermediária dos 3MP, na qual chamamos de Organização do Conhecimento.

É importante destacar que os alunos, através das suas respostas aos questionários aplicados, demonstraram evolução na aprendizagem dos conceitos envolvidos e uma razoável compreensão do modelo proposto por Einstein para explicar o fenômeno. Antes da intervenção didática, por exemplo, definiam a luz como uma forma de energia que poderia inclusive ser armazenada. Além disso, não conseguiam enxergar a luz como uma onda, tampouco considerar sua natureza dual. Conheciam muito superficialmente os conceitos de frequência, comprimento de onda e energia. Porém, no decorrer das aulas e principalmente através das simulações, os alunos começaram a entender a função de cada uma dessas grandezas, associar as cores às diferentes faixas de frequências e finalmente perceberam que a luz possuía todos os elementos de uma onda, definindo-a como uma radiação de natureza eletromagnética. De posse desses conceitos assimilados, os alunos foram capazes até mesmo de sugerirem ações ao professor para a resolução de problemas que o mesmo colocava durante a manipulação da simulação. Pode-se dizer que esses aspectos resumem o êxito da estratégia didática aplicada, a concessão de autonomia aos alunos para que estes chegassem às suas próprias conclusões e o fornecimento de subsídios para que eles se sentissem capazes de tomarem decisões.

Contudo, esses aspectos positivos citados acima não se refletiram na prova bimestral aplicada pela escola e também na avaliação aplicada na fase de Aplicação do Conhecimento. Esperávamos que a quantidade de acertos na prova fosse maior, ou seja, que a sequência didática facilitasse a interpretação dos problemas e também na resolução de questões que envolvessem cálculo. Além disso, percebemos que os alunos que apresentaram uma dificuldade maior em aprender os conteúdos de física ao longo do ano não melhoraram o seu rendimento após a utilização da estratégia didática baseada nos 3MP envolvendo simulações computacionais. Esses ainda apresentaram deficiências na interpretação de problemas e em cálculo, que geralmente trazem consigo desde o ensino fundamental, criando o estigma de que a física é uma disciplina que dificilmente irão aprender. Por outro lado, mais importante destacarmos é a dificuldade em se criar mecanismos de avaliação compatíveis com a estratégia didática, já que ficamos restritos às clássicas avaliações escritas que priorizam a aprendizagem

mecânica, memorística, que se distancia de uma abordagem fenomenológica da física como ciência natural.

Durante todo o processo, a turma inteira se mostrou bem receptiva à metodologia aplicada, se comportando de maneira mais ativa e interessada. Mesmo aqueles alunos que não se identificam com a Física e os com baixo rendimento ao longo do ano letivo apresentaram perceptível evolução de conhecimentos. Concluímos então que este trabalho contribuiu para aprendizagem do tópico Efeito Fotoelétrico em turmas de EM, além de aos alunos a perceberam que são capazes de aprender quando o professor utiliza outros métodos e recursos em sala de aula. Entretanto, representa apenas uma das formas de aplicação dos 3MP, de utilização da simulação computacional para o ensino de Física e também de abordagem de um conteúdo de FMC. Assim, abrimos a possibilidade de que outros tópicos de FMC sejam abordados utilizando esta sequência didática configurando-se em novas pesquisas dentro da área. Com este trabalho, esperamos contribuir para a aprendizagem de um tópico de FMC, o efeito fotoelétrico, de maneira válida e baseada nos resultados de pesquisa produzidos pela área sobre essa temática.

Por fim, este trabalho proporcionou um crescimento profissional bastante significativo, pois foi possível aprofundar em um tema que não sentia segurança em trabalhar com os alunos, e foi possível ainda incorporar a história que envolveu a descoberta do efeito fotoelétrico e desenvolvimento da teoria que explicava esse fenômeno, consolidando os conhecimentos adquiridos durante a formação inicial e até mesmo pela experiência com os anos de docência. Nos fez refletir sobre a nossa própria prática, que até então se encontrava inerte e acomodada frente aos avanços na área de ensino de física, pois passamos a conhecer diversas teorias de aprendizagem e diversos recursos pedagógicos que fundamentaram o desenvolvimento da sequência didática apresentada neste trabalho, e, dessa forma, considero que o curso de mestrado profissional teve seu êxito. A partir daí nossas aulas passaram a ter um foco maior no aluno e na sua vivência, procurando fazer da física uma disciplina mais interessante e aplicável ao cotidiano deles.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, K. B.; SANTOS, P. J. S.; KAIANA, G. F. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.32, n.2, p.461-482, 2015.

BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2009.

BRAGA, A. S.; KILLNER, G. I.; ARAÚJO, F. G. O uso de simuladores computacionais como recurso didático nas aulas de Física: Antes ou depois? In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 22., 2017, São Carlos. *Atas*... São Paulo: SBF, 2017.

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica. *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio*. 2000.

_____. Ministério de Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica. *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio*. 2002.

_____. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Proposta preliminar. Segunda versão revista. Brasília: MEC, 2016.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, v.10, n.3, p.387-404, 2005.

CARDOSO, R. C.; PIRES, M. O. C. Uma proposta para associar a luz com ondas eletromagnética no ensino médio em uma abordagem dos Três Momentos Pedagógicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 22., 2017, São Carlos. *Atas*... São Paulo: SBF, 2017.

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*, v.29, n.2, p.891-934, 2012.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, T. T.T.; BUENO, D. A. Controle Remoto: Princípio de funcionamento (parte 1 de 2). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.30, n.3, p.554-565, 2013.

DELIZOICOV, D. *Didática Geral*. 1 ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2008.

DIONISIO, P. H. Albert Einstein e a Física Quântica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.22, n.2, p.147-164, 2005.

DOMINGUINI, L.; MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO, L. Novas abordagens do conteúdo física moderna no ensino médio público do Brasil. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO DA REGIÃO SUL, 9., 2012, Caxias do Sul. *Atas*... Caxias do Sul: UCS, 2012.

EINSTEIN. A., INFELD, L. *A evolução da física – De Newton até à Teoria dos quanta*. Lisboa: Edição Livros do Brasil. Original: *The evolution of physicsi.* London: Cambridge University Press, 1938.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a Educação em Ciências. *Ciência & Educação*, v.18, n.1, 2012.

GOMES, V. C. *O uso de simulações computacionais do efeito fotoelétrico no ensino médio*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba. 2011.

HERTZ, H. R. *Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space* (London: Macmilan and Co, 1893).

KLASSEN, S. The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. *Science & Education*, v.20, n.7, p. 719-731, 2009.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Por um Pluralismo Metodológico para o Ensino de Ciências. *Ciência & Educação*, v.9, n.2, p.247-260, 2003.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

MACÊDO, J. A. de. *Simulações Computacionais como Ferramenta Auxiliar ao Ensino de Conceitos Básicos de Eletromagnetismo: elaboração de um roteiro de atividades para professores do ensino médio*. 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais. 2009.

MACÊDO, J. A. de; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. de. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de Eletricidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.29, n. especial 1, p.562-613, 2012.

MANGILI, A. I. Heinrich Rudolph Hertz e a "descoberta" do efeito fotoelétrico: um exemplo dos cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, v.6, p.32-48, 2012.

MARTINS, R. A.; ROSA, P. S. *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2014.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n.2, 2002.

MINAYO, M. C. de S. *O desafio do conhecimento*. 11 ed. São Paulo: Hucitec, 2008.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e a Formação de Professores: racionalidade técnica ou racionalidade comunicativa?. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2009, Vitória. *Atas*... São Paulo: SBF, 2009.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatórias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, v.8, n.1, p.1-13, 2013.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os Três Momentos Pedagógicos e o contexto de produção do livro Física. *Ciência & Educação*, v.20, n.3, p. 617-638, 2014.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Tópicos de Física Contemporânea na Escola Média: um Estudo com a Técnica Delphi. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 6., 1998, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: UFSC, 1998.

_____. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.5, n.1, 2000.

_____. 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 Brasileiro de Ensino de Física*, v.18, n.2, p.135-151, 2001.

PAULO, I. J. C. de; MOREIRA, M. A.. O problema da linguagem e o ensino da mecânica quântica no nível médio. *Ciência & Educação*, v.17, n.2, p.421-434, 2011.

PEREIRA, M. V.; MOREIRA, M. C. do A. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.34, n.1, 2017.

PIETROCOLA, M.; BROCKINTON, G. Recursos computacionais disponíveis na internet para o ensino de Física Moderna e Contemporânea. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4., 2003, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC, 2003.

PINTO, A.C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.16, n.1, p.7-34, 1999.

REZENDE JUNIOR, M. F.; CRUZ, F. F. S. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: do consenso de temas à elaboração de propostas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4., 2003, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC, 2003.

RIO DE JANEIRO. *Currículo Mínimo - Física*. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro, 2012.

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

SABINO, A.; PIETROCOLA, M. Saberes docentes desenvolvidos por professores do ensino médio: um estudo de caso com a inserção da Física Moderna. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.21, n.2, 2016.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v.6, n.1, p.69-83, 2013.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o Efeito Fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.29, n.2, p.313-324, 2012.

SILVA, R. S.; ERROBIDART, N. C. G. Sobre as pesquisas relacionadas ao ensino do efeito fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.32, n.3, p.618-639, 2015.

SCHULZ, P. A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.29, n.4, p.509-512, 2007.

SOARES, A. A.; MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.32, n.3, p.915-933, 2015.

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

VEIT, E. A.; THOMAS, G.; FRIES, S. G.; AXT, R.; SELISTRE, L. F. O efeito fotoelétrico no 2° grau via microcomputador. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.4, n.2, p.68-88, 1987.

XAVIER, B.; XAVIER, J.; MONTSE, N. Applets en la enseñanza de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, v.21, n.3, p.463-472, 2003.

YEO, S.; LOSS, R.; ZADNIK, M.; HARRISON, A., TREAGUST, D. What do Students Really Learn from Interactive Multimedia: a Physics Case Study. In: AUSTRALIAN COMPUTERS IN PHYSICS EDUCATION CONFERENCE, 4., 1998. *Proceedings*… Freemantle, Australia, 1998.

APÊNDICE 1 – PRODUTO EDUCACIONAL

"ESTUDANDO O EFEITO FOTOELÉTRICO"

INTRODUÇÃO

No mundo atual, convivemos diariamente com as mais diversas formas de tecnologia que nos trazem inúmeros benefícios e conforto. Hoje é possível realizar exames cada vez mais precisos, cirurgias a *laser* e nos comunicar a distância sem o auxílio de cabos, por exemplo. A sociedade moderna não mais se imagina viver em um mundo sem celulares, câmeras digitais, equipamentos operados por controle remoto entre outros.

Mas o que esses aparelhos tão utilizados por nós hoje em dia têm em comum? Todos eles possuem entre as suas funções um mecanismo de funcionamento baseado em um conceito físico muito importante: O efeito fotoelétrico. Sua descoberta ocorreu no final do século XIX e deu origem a teorias que se tornaram a base para a criação de diversos equipamentos, promovendo assim, um grande avanço tecnológico. Por este motivo, é importante que os alunos tenham acesso a esses conhecimentos, pois os ajudarão a compreender os riscos e benefícios que essa tecnologia que os cercam pode trazer.

Porém, é preciso que os professores enquanto agentes educacionais, estejam preparados para transmitir esses conhecimentos aos alunos. Este produto educacional caracteriza-se como um manual para auxiliar o professor na abordagem do tópico "efeito fotoelétrico" com os alunos do ensino médio através da aplicação de uma sequência didática que utiliza o recurso da simulação computacional. Esta sequência didática está baseada no método pedagógico conhecido como "Os três momentos pedagógicos" (3MP), desenvolvido por Delizoicov e Angotti no início dos anos 80. Este método se divide em três fases, cuja aplicação neste produto educacional será descrita a seguir.

1. A Problematização Inicial

Este item refere-se ao primeiro dos três Momentos Pedagógicos: a problematização inicial. Neste momento o professor vai iniciar uma discussão com a turma a respeito dos avanços tecnológicos que culminaram na produção de aparelhos e sistemas eletrônicos que os alunos se acostumaram a ver no seu cotidiano. Através da apresentação de exemplos desses sistemas eletrônicos e uma breve explicação do que cada um faz, o professor pode (vai) inserir a pergunta: Como funcionam esses sistemas? Ou seja, quais são os conceitos físicos que estão envolvidos no mecanismo de funcionamento desses aparelhos? O objetivo deste primeiro

momento, além de estimular a curiosidade e o interesse da turma, é promover um distanciamento crítico do aluno fazendo com que ele perceba que, mesmo estando em contato com esses aparelhos diariamente e sabendo manuseá-los tão bem, não dispõe de conhecimentos suficientes para entender como funcionam. Com isso, espera-se que o aluno sinta a necessidade de aprender mais sobre o assunto.

1.1 Iniciando a contextualização:

Antes de iniciar a discussão, o professor irá introduzir o tema a ser discutido através de um texto que será trabalhado com a turma. A função deste texto é promover uma contextualização junto aos alunos do assunto que será abordado. Abaixo sugerimos um texto que pode ser utilizado pelo professor nesta fase. Este texto é uma compilação de alguns trechos retirados da internet.

O EFEITO FOTOELÉTRICO NO COTIDIANO

"Já se perguntou como ocorre o funcionamento das portas de shoppings que se abrem sozinhas? Como um sistema de iluminação pode acender e apagar sozinho? Ou mesmo como sistemas de alarme ligam e desligam automaticamente? Perguntas como essas são respondidas e explicadas através do efeito fotoelétrico.[9]"

"Do ponto de vista tecnológico, o efeito fotoelétrico é empregado em visores noturnos (sensíveis à radiação infravermelha), fotômetros, dispositivos para aberturas de portas e outros[10]". "Graças ao efeito fotoelétrico tornou-se possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). O emprego de aparelhos fotoelétricos permitiu construir maquinaria capaz de produzir peças sem intervenção alguma do homem. Os aparelhos cujo funcionamento assenta no aproveitamento do efeito fotoelétrico controlam o tamanho das peças melhor do que o pode fazer qualquer operário.[11]"

"A descoberta do efeito fotoelétrico teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. Porém, o valor da ciência consiste não só em esclarecer-nos a estrutura complexa do mundo que nos rodeia, como em fornecer-nos os meios que permitem aperfeiçoar a produção e melhorar as condições de trabalho e de vida da sociedade.[12]"

---

[9] Marco Aurélio da Silva/Equipe Brasil Escola.
[10] CAVALCANTE, M. A.; FAGUNDES, D. ; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano ; MUZINATTI, J. . Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no Desenvolvimento de Competências e Habilidades. Revista Brasileira de Ensino de Física JCR, Brasil, v. 3, n.1, p. 24-29, 2002.
[11] https://dfte.ufrn.br/caio/index.html.
[12] http://www.sistemaaguia.com.br/downloads/28-effoto.pdf.

1.2 Discutindo aplicações do Efeito Fotoelétrico:

Após a apresentação do tema, trabalhado por meio de um texto de apoio, o professor vai iniciar efetivamente um debate sobre as aplicações do efeito fotoelétrico no nosso cotidiano. Utilizando alguns sistemas fotoelétricos como exemplos, pretende-se estimular os alunos a pensarem em como esses equipamentos funcionam com a finalidade de associar esse funcionamento ao conceito de efeito fotoelétrico. A seguir, sugerimos um roteiro para promover a discussão.

SISTEMAS FOTOELÉTRICOS: COMO FUNCIONAM?

Alguns sistemas eletrônicos operam de maneira autônoma, ou seja, assim que instalados, funcionam sem o controle do homem e por isso são chamados de inteligentes. Esses sistemas inteligentes possuem diferentes mecanismos que os tornam automáticos. Abaixo podemos observar dois exemplos de sistemas inteligentes:

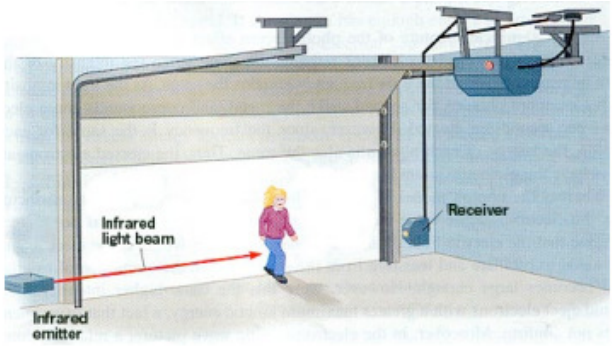
Você é capaz de dizer como é o mecanismo de funcionamento desses sistemas?
Que conceitos científicos estão por trás?
Como o sistema percebe a aproximação de uma pessoa? Como reconhece que está de noite?

Um equipamento também bastante conhecido e muito utilizado que sofreu uma considerável evolução foi a máquina fotográfica. Na figura abaixo temos um exemplo de uma câmera antiga e uma mais atual.

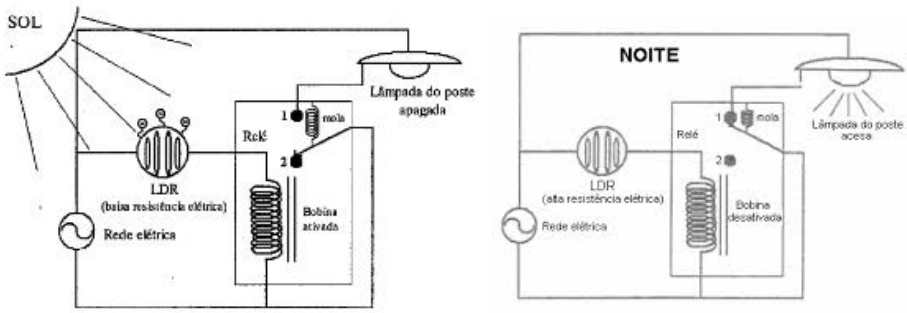
Qual a diferença entre as câmeras?

Qual o mecanismo de gravação da imagem de cada uma delas?

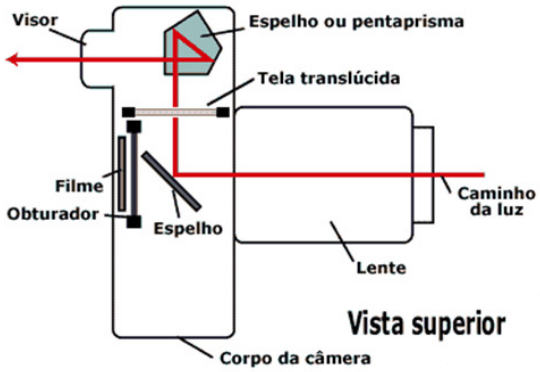
A seguir podemos observar como cada um desses sistemas opera:

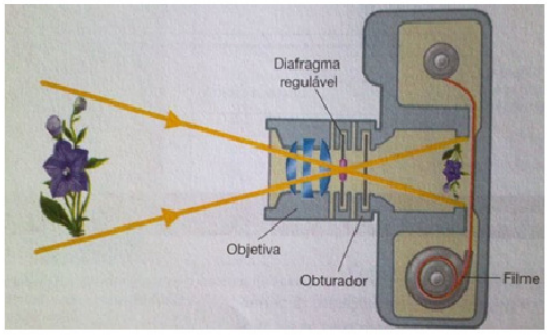


No caso da porta automática, um feixe contínuo de luz infravermelha é emitido em direção a uma placa metálica, que está ligada em um circuito, fazendo com que o sistema mantenha a porta fechada. Quando uma pessoa passa na frente do feixe bloqueando-o, o circuito para de funcionar. Isso faz com que a porta se abra, voltando à posição de repouso.

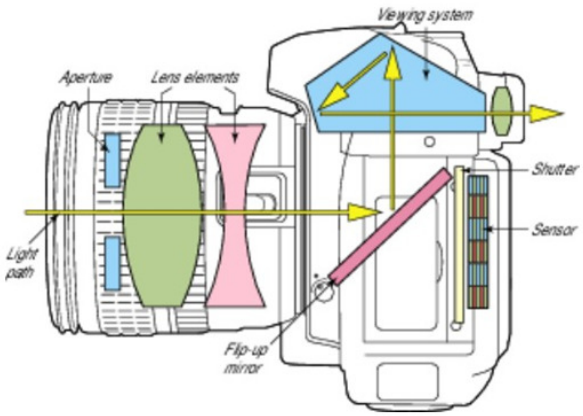


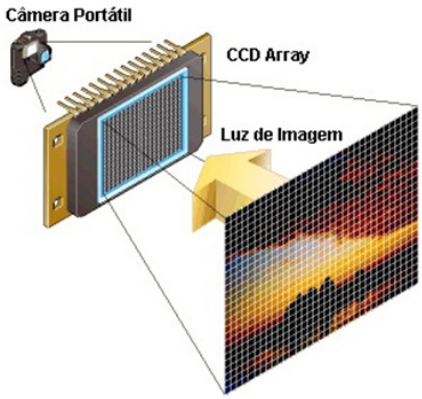
O poste de iluminação possui uma placa metálica acoplada a um solenoide e um circuito elétrico ligado à rede elétrica. Durante o dia, a luz do sol incidindo na placa metálica faz com que o solenoide comece a gerar um campo magnético. Esse campo magnético irá atrair uma das chaves do circuito fazendo com que ele fique aberto. Quando anoitece, esse campo magnético cessa e a chave (puxada pela mola) retorna à posição original, fechando o circuito e acendendo a lâmpada do poste.





Na câmera fotográfica comum (antiga) a luz entra por uma pequena abertura que regula a quantidade de luz que entra. Em seguida, a luz passa por lentes que desviam o feixe de luz e o fazem convergir num único ponto. Isso dará origem à imagem, que vai ser formada invertida no fim do processo. No fundo da máquina, a luz incide sobre um filme fotográfico de plástico coberto por uma solução sensível à luz. As áreas do feixe atingidas pela luz sofrem uma reação química, criando o negativo, que passará pelo processo de revelação e dará origem à foto.





O funcionamento de uma câmera digital é similar ao funcionamento das câmeras comuns. A principal diferença é que, após capturar e focalizar a imagem seu armazenamento se dará por meio de um dispositivo eletrônico e não o filme. Este dispositivo, conhecido como CCD (Charge-Coupled Device), converte a intensidade de luz que incide sobre ele em valores digitais armazenáveis na forma de Bits e Bytes. O CCD do tipo Array é uma matriz com milhares de elementos fotossensíveis que capturam os pontos da imagem na câmera de uma vez só.

Neste momento, após revelar o mecanismo de funcionamento desses sistemas, o professor poderá perguntar aos alunos o que eles têm em comum. O objetivo é fazer com que estes alunos percebam que a incidência da luz na célula fotoelétrica de cada um dos sistemas,

ativa os seus respectivos circuitos elétricos. O porquê de isso acontecer será explicado adiante introduzindo o conceito de Efeito Fotoelétrico.

2. A Organização do conhecimento

Segundo Momento Pedagógico, a organização do conhecimento é o momento em que ocorrerá o estudo sistemático dos conhecimentos envolvidos no tema e na problematização inicial, culminando com a ruptura entre o conhecimento do estudante e o conhecimento produzido pela Ciência. Para isso, o professor fará uso de um texto sugerido a seguir podendo ser trabalho em conjunto com uma aula preparada por ele mesmo através do quadro negro, slides ou vídeos. Após esta aula, uma proposta de abordagem do tema por meio de uma simulação computacional é apresentada neste manual para que o professor aplique esta metodologia. O objetivo desta fase é dar subsídios aos alunos para que eles sejam capazes de interpretar o fenômeno de maneira mais sólida e generalizada. É necessário lembrar que alguns conceitos como ondas (comprimento e frequência), conservação de energia e espectro eletromagnético, são requisitos para a compreensão do assunto abordado neste manual.

2.1 Iniciando com uma aula tradicional

Nesta fase da sequência didática, o professor vai seguir o seu próprio plano de aula e suas anotações, ou seja, utilizará os recursos (quadro negro, textos ou vídeos) que planejou previamente para trabalhar o tema. O conteúdo a ser trabalhado deverá ir desde a descoberta do fenômeno, passando pelo conceito de frequência de corte até chegar na equação de energia máxima. A seguir sugerimos um texto de apoio, desenvolvido pela Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro, que poderá ser usado para auxiliar na aula, mas o professor terá autonomia para escolher os textos e recursos que achar melhor.

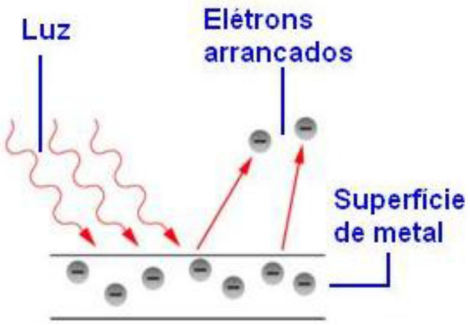
DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA E O EFEITO FOTOELÉTRICO

Durante o século XVII, dois grandes físicos defendiam modelos teóricos diferentes para a natureza da luz. O físico holandês Christian Huygens (1629-1695) tratava a luz como uma onda, enquanto Isaac Newton (1642-1727) a via como partícula. Hoje já se sabe que os dois cientistas estavam corretos, porque há situações em que a luz se comporta como onda e em outras, como partículas ou corpúsculos. Esse fenômeno ficou conhecido como dualidade onda-partícula. A luz se propaga como uma onda e interage como partícula. Apesar da luz ter esse comportamento duplo, ela nunca apresentará ambos num mesmo experimento.

Como onda, um feixe de luz não desvia seu caminho ao se encontrar com outro feixe de luz. Ao atravessar um orifício, a luz se espalha, isto é, difrata. Ao passar por duas fendas duplas próximas uma da outra, a luz sofre interferência, o que é observado num anteparo através de franjas claras e escuras. E, finalmente, a luz apresenta cores diferentes, o que reforça a ideia de que cada cor é uma onda eletromagnética com frequência e comprimento de onda definidos.

Como partícula, um feixe de luz é capaz de transferir uma quantidade de movimento a um objeto. Outra boa evidência de que a luz se comporta como corpúsculo é observado quando uma superfície metálica, sob tensão elétrica, emite elétrons e passa a conduzir corrente elétrica, se iluminada por uma luz de alta frequência. Este último fenômeno ficou conhecido como efeito fotoelétrico. Vamos entendê-lo melhor!

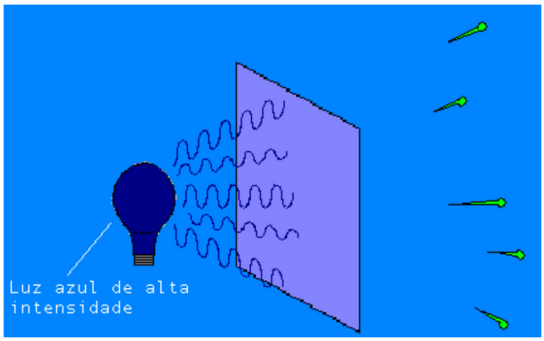
Quando ondas eletromagnéticas de um tipo específico atingem um corpo, principalmente metálico, é possível fazer com que elétrons sejam arrancados dos átomos do material por causa da absorção de certa quantidade de radiação.



Fonte: http://quartzodeplasma.wordpress.com/tag/efeito-fotoeletrico/

Para explicar o efeito fotoelétrico, a luz é vista como partículas que são denominadas de fótons e que carregam “pacotes” de energia, chamados de quantum. Einstein, em 1905, esclareceu melhor o efeito fotoelétrico utilizando a noção de quantização de energia proposta pelo físico alemão Max Planck (1858- 1947). O trabalho de Einstein rendeu a ele o Prêmio Nobel de Física de 1921.

Nem toda radiação provoca efeito fotoelétrico e aquelas que provocam podem ter efeitos mais ou menos intensos. Por exemplo, a luz vermelha tem baixa frequência e, portanto, baixa energia. Quando ela incide numa placa metálica, observa-se que são poucos os elétrons arrancados e que ainda apresentam baixa energia. Mesmo que a fonte tenha grande intensidade, os elétrons emitidos terão baixa energia. Entretanto, se a fonte luminosa emitir uma luz azul, por ser uma radiação de alta frequência é também mais energética que a vermelha, os elétrons emitidos serão mais energéticos.



Fonte: http://sabedoriaquantica.blogspot.com.br/2011/11/fisica-quantica-para-todos-2.html

Cada fóton carrega um quantum de energia (E), que é proporcional a sua frequência (f). Para obter essa quantidade de energia, pode-se usar a expressão matemática:

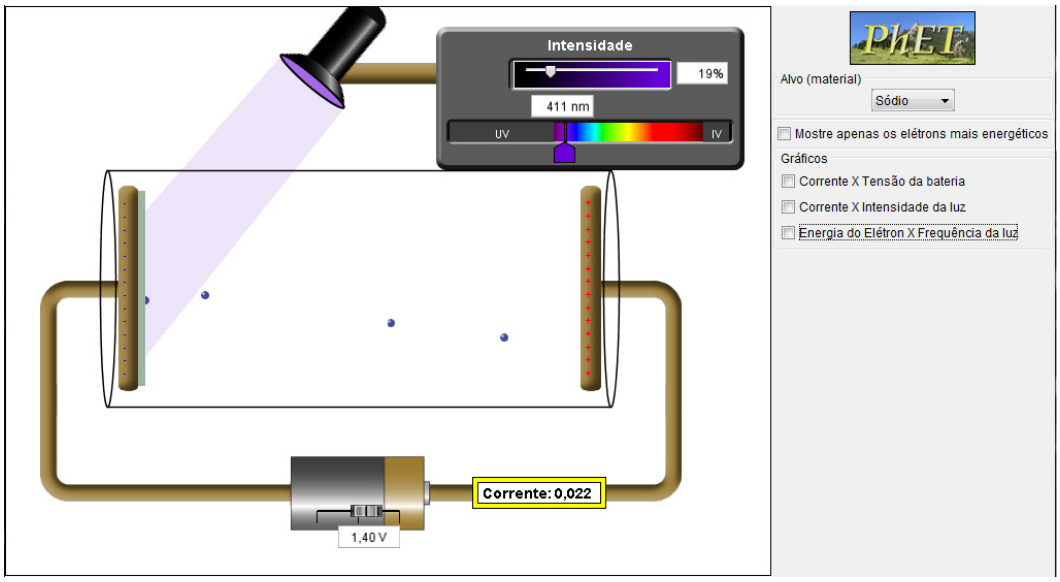
$$E = h.f$$

em que h é uma constante chamada de constante de Plank, cujo valor é de 6,63x10^{-34}J.s. Cada um dos fótons cede sua energia a um único elétron e cada elétron que escapa do metal deve absorver um mínimo da quantidade de energia. Se a energia fornecida ao elétron for suficiente para vencer a atração do metal e dotá-lo de certa energia cinética, ele escapará.

O efeito fotoelétrico pode ser observado em dispositivos chamados de fotocélulas, que são usadas em circuitos responsáveis pela abertura e fechamento de portas automáticas, pelo sistema de iluminação de vias públicas e pelos sistemas de segurança e alarmes. Essas são algumas das aplicações do fenômeno no dia a dia.

2.2 Trabalhando com o simulador

Após a aula teórica, chegou a vez de utilizar o simulador computacional para reforçar os conhecimentos adquiridos. Com a simulação, o professor vai demonstrar o fenômeno e, variando as grandezas observará com os alunos diversas situações nas quais eles poderão prever os resultados utilizando o modelo estudado. Para baixar a simulação, basta acessar o site http://phet.colorado.edu/pt_BR/.



Feito isso, após abrir o *applet* "Efeito Fotoelétrico", o professor poderá seguir os passos abaixo na ordem que achar melhor didaticamente:

1º Passo: Variar as grandezas

O professor vai clicar ou mexer em cada um dos botões e perguntar aos alunos o que esses botões estão fazendo. Em seguida definirá as grandezas envolvidas (intensidade, comprimento de onda e voltagem da bateria) variando os seus valores. Neste momento devem-se evitar ainda valores que gerem o efeito fotoelétrico, pois o objetivo é promover a visualização do que significa cada uma das dessas grandezas. Para realizar esta tarefa, sugerimos:

- Após variar o tipo de material da placa, manter no zinco porque este tem uma extensa faixa de comprimento de onda que não produz efeito fotoelétrico;
- Aumentar a intensidade (até 100%) e variar o comprimento de onda sem passar pelo UV;
- Definir as grandezas I (intensidade da radiação), λ (comprimento de onda), V (voltagem da bateria) e i (corrente elétrica gerada).

2º Passo: Gerar o efeito fotoelétrico

Agora o professor vai ajustar os valores de intensidade e comprimento de onda (pré-estabelecidos por ele mesmo), deixando a voltagem da bateria zerada, de modo que o menor número de bolinhas possíveis saia da placa e se desloque lentamente em direção ao outro polo da bateria. É interessante perguntar aos alunos o que eles acham que está acontecendo e que bolinhas são essas que saem da placa. Neste momento é apresentado o fenômeno descrevendo cada detalhe do que é visto na simulação e em seguida podem ser feitas perguntas do tipo: O

que acontecerá se aumentarmos a intensidade? E o comprimento de onda? Para realizar esta tarefa, sugerimos:

- Com I em 0%, colocar no sódio;
- Colocar $\lambda \leq 538$ e variar I até 10% (mostrar o fenômeno);
- Fazer as perguntas.

3º Passo: Explicar o modelo

Neste passo o professor poderá explicar o modelo proposto por Einstein que se caracteriza pela natureza corpuscular da luz onde os fótons colidem com a placa arrancando elétrons. As perguntas feitas no passo anterior podem ser respondidas junto com os alunos. É importante neste momento discutir com os alunos e demonstrar através do simulador o porquê de este fenômeno contrariar as expectativas pautadas na visão da Física Clássica, aplicando o conceito de energia quantificada originada pela Física Moderna. Para isso, o professor pode fazer o seguinte:

- Zerar o I, colocar o λ na faixa do vermelho e perguntar: Como fazer pra gerar o efeito fotoelétrico? Aumentar a intensidade? (Se a luz é uma onda, de acordo com a Física Clássica, aumentando a intensidade ela vai ter mais energia para arrancar o elétron, certo?);
- Aumentar o I até 100% (comentar essa inconsistência).
- Colocar I em 50% em seguida aumentar e diminuir o λ até o meio do espectro verde (mostrar a dependência do λ para ocorrer o efeito fotoelétrico e definir frequência de corte);
- Perguntar: Como fazer para aumentar a velocidade das bolinhas? Aumentando a intensidade?
- Aumentar o I até 100%, observar e depois diminuir o λ (responder a pergunta acima);
- Clicar em "opções" e depois em "mostrar fótons" (explicar o modelo e a equação de Einstein).

4º Passo: Atividades: Relação entre as grandezas e determinação da frequência de corte, potencial de corte, função trabalho (T) e energia cinética máxima (Emáx).

As atividades poderão ser realizadas preferencialmente em um laboratório de informática ou de vários *notebooks* para que o próprio aluno tenha a oportunidade de operar a simulação individualmente. Caso contrário, o professor pode continuar operando sozinho a simulação, ficando os alunos com as anotações e os respectivos cálculos.

Para estudar a relação entre as grandezas envolvidas o professor e/ou os alunos poderão fazer o seguinte:

a) Utilizando os parâmetros do 2° passo, clicar no botão "alvo" para alterar o tipo de material das placas metálicas (fazendo isso, o aluno notará que os elétrons não serão mais arrancados da placa). Em seguida, para cada tipo de material, vá alterando devagar os valores do comprimento de onda até que volte a ocorrer o efeito fotoelétrico (Com isso, o aluno será capaz de relacionar o comprimento de onda/frequência de corte para com o tipo de material da placa atacada). Peça aos alunos que multipliquem a frequência mínima encontrada para cada placa pela constante de Planck (h), para calcular o T de cada material.

b) Retorne aos parâmetros do 2° passo e vá diminuindo o λ até que o marcador de corrente saia do zero. Em seguida, aumente devagar os valores da intensidade da luz e observe o que acontece com o marcador da corrente (o aluno perceberá que à medida que a intensidade vai aumentando ou diminuindo, a corrente elétrica produzida também vai aumentando ou diminuindo, mostrando serem diretamente proporcionais).

c) Utilizando os parâmetros do 2° passo, coloque a intensidade luminosa no máximo (100%), mantenha a voltagem da bateria no zero, vá diminuindo o valor do comprimento de onda até que a corrente marque aproximadamente 0,039. Em seguida mova devagar o botão da bateria para a direita até o final e depois para a esquerda até o final. Verifique o que acontece com a corrente elétrica (o aluno notará que o valor da corrente não se altera quando aumentamos a tensão, mas vai diminuindo a partir de certo valor de tensão abaixo de zero, mostrando assim que a tensão invertida é capaz de fazer o elétron retornar para a placa da qual foi ejetado).

d) Para determinar o potencial de corte, a função trabalho de cada um dos materiais e a energia cinética máxima dos elétrons ejetados, através da simulação, o professor e/ou os alunos poderão repetir o procedimento do item (c) até que o valor da corrente fique zero e anotar este valor (o potencial de corte corresponde a aproximadamente este valor). Com os parâmetros do item anterior, altere a voltagem da bateria até zerar. Em seguida use o valor do λ que está na tela, junto com a função trabalho determinada no item 1 para o material da placa que está sendo usada, e aplique na equação:

   $$\mathbf{h.f = T + E_{máx}}$$

   h = Constante de Planck; f = frequência da luz incidente

   (o resultado de Emáx equivale à energia cinética máxima do elétron ejetado).

3. A Aplicação do Conhecimento

Agora, para aplicar os conhecimentos adquiridos, o professor poderá sugerir a atividade proposta na simulação computacional desenvolvida pela Secretaria de Educação do Estado da Bahia em parceria com a Universidade do Estado da Bahia e disponível em http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14356/open/file/index.html.

Para utilizar a simulação, deve-se acessar a página digitando o endereço acima e clicar em iniciar.

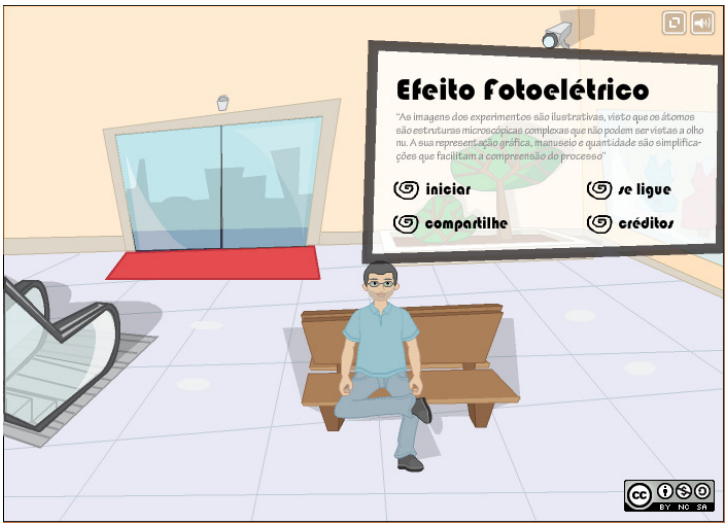
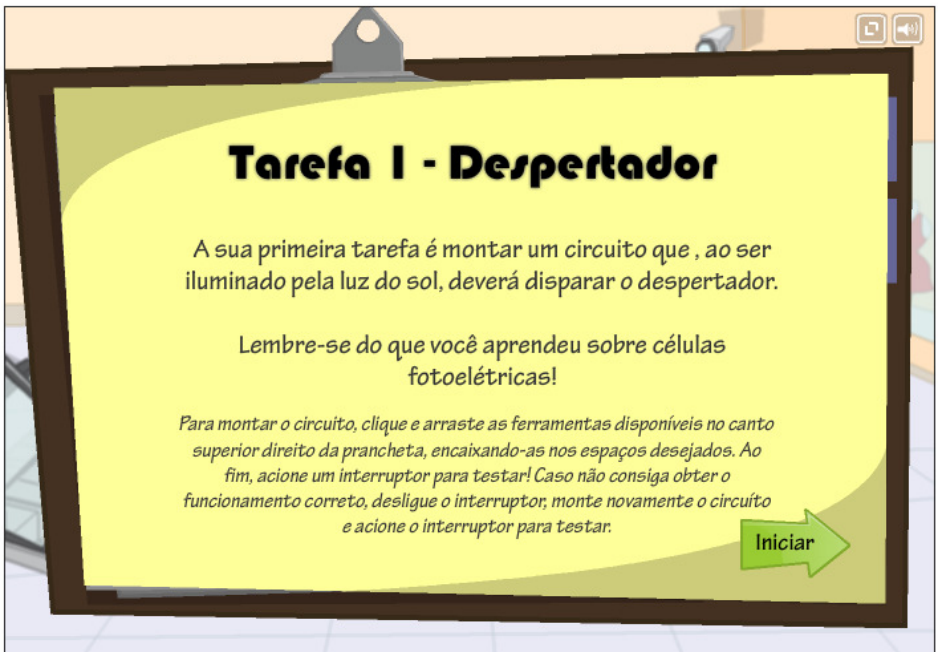
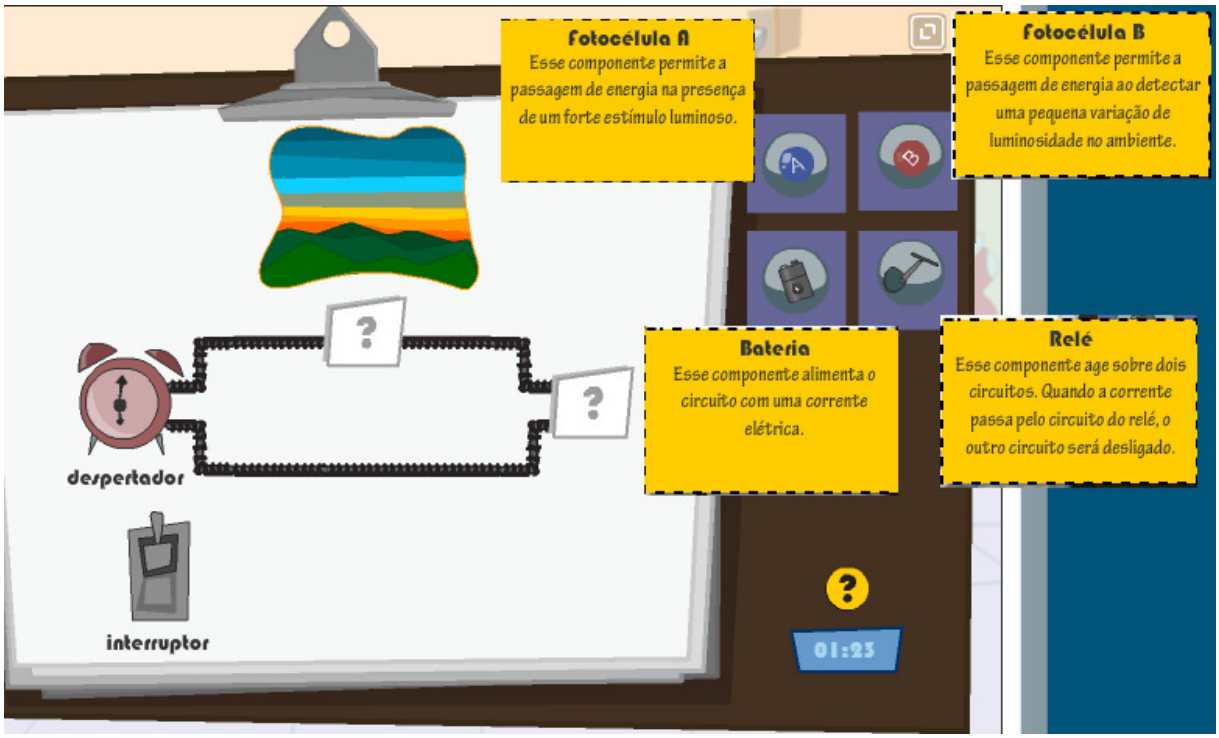


Ilustração da página inicial da simulação computacional

Em seguida aparece a opção de pular a introdução e assim ser encaminhado diretamente para as “tarefas”. As “tarefas” são desafios em que o participante terá que montar 5 circuitos de dispositivos que utilizam o efeito fotoelétrico como princípio de funcionamento.

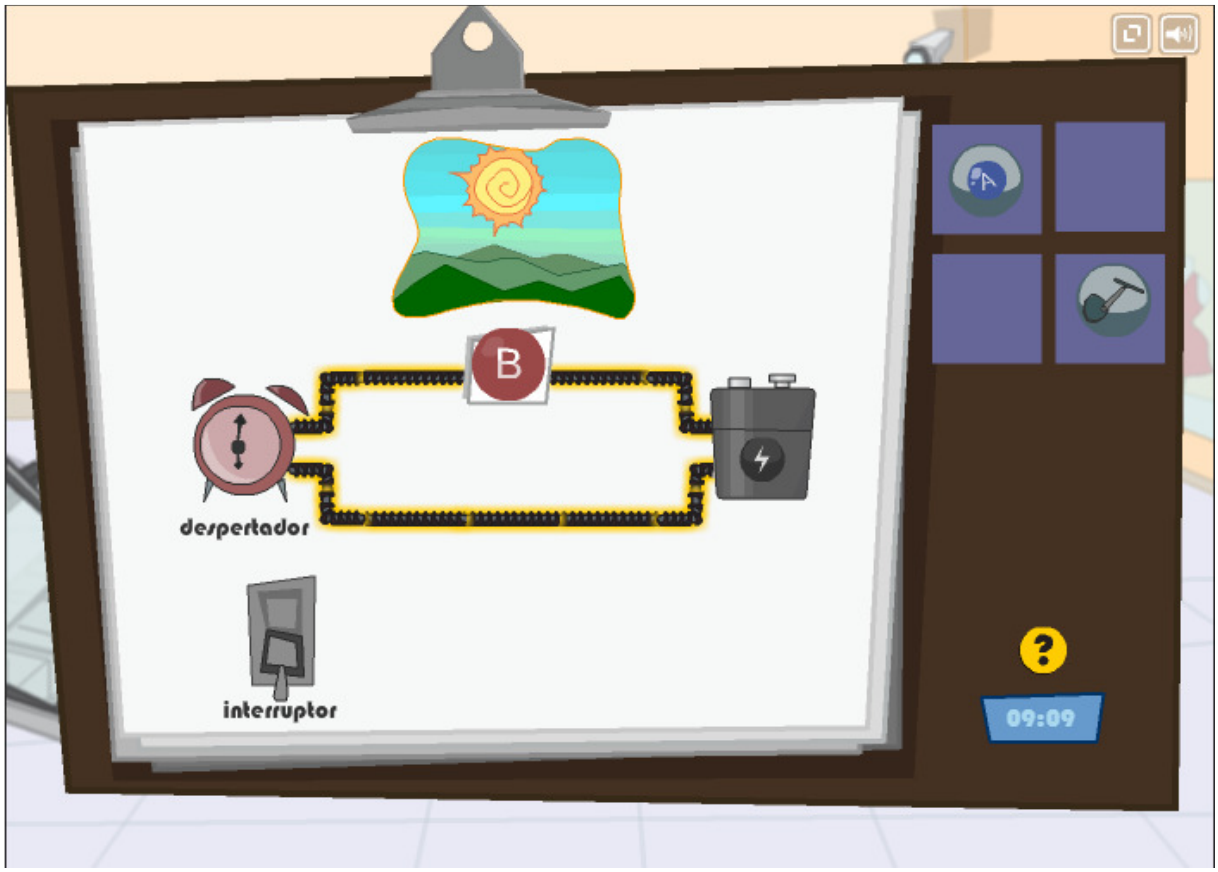


Descrição da tarefa I



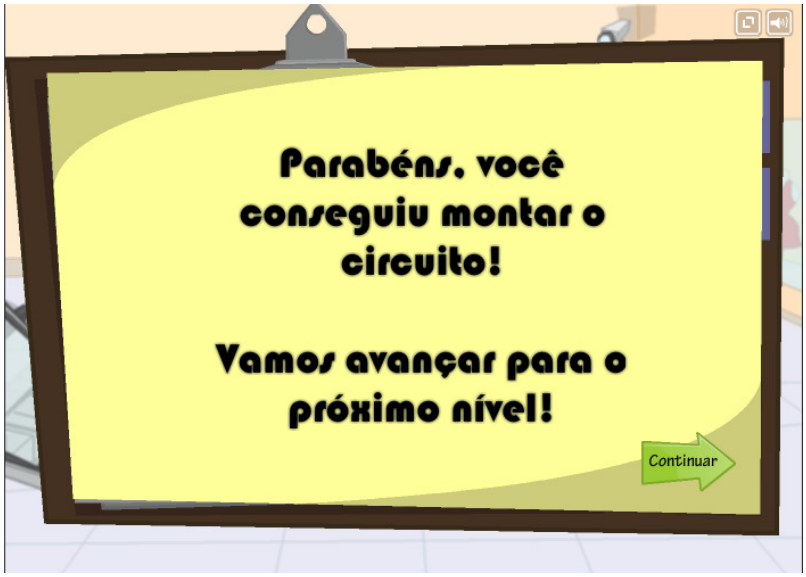
Circuito com a função de cada componente elétrico

Para montar os circuitos basta clicar com o mouse sobre o componente elétrico e arrastá-lo até as caixinhas com o ponto de interrogação (?). Por último, clicar no botão “interruptor” e esperar o circuito funcionar pois pode ser que ele funcione, mas de maneira inadequada.

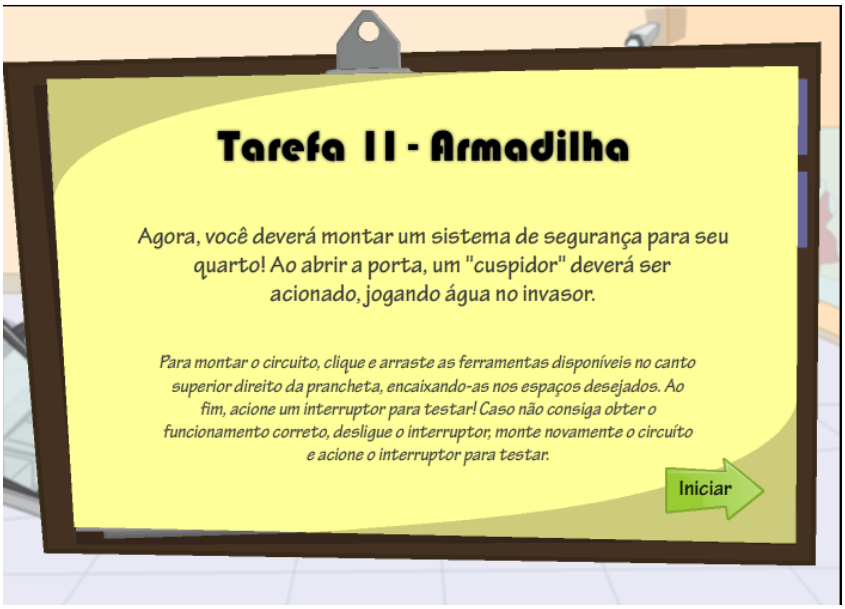


Montagem correta do circuito para ligar o despertador.

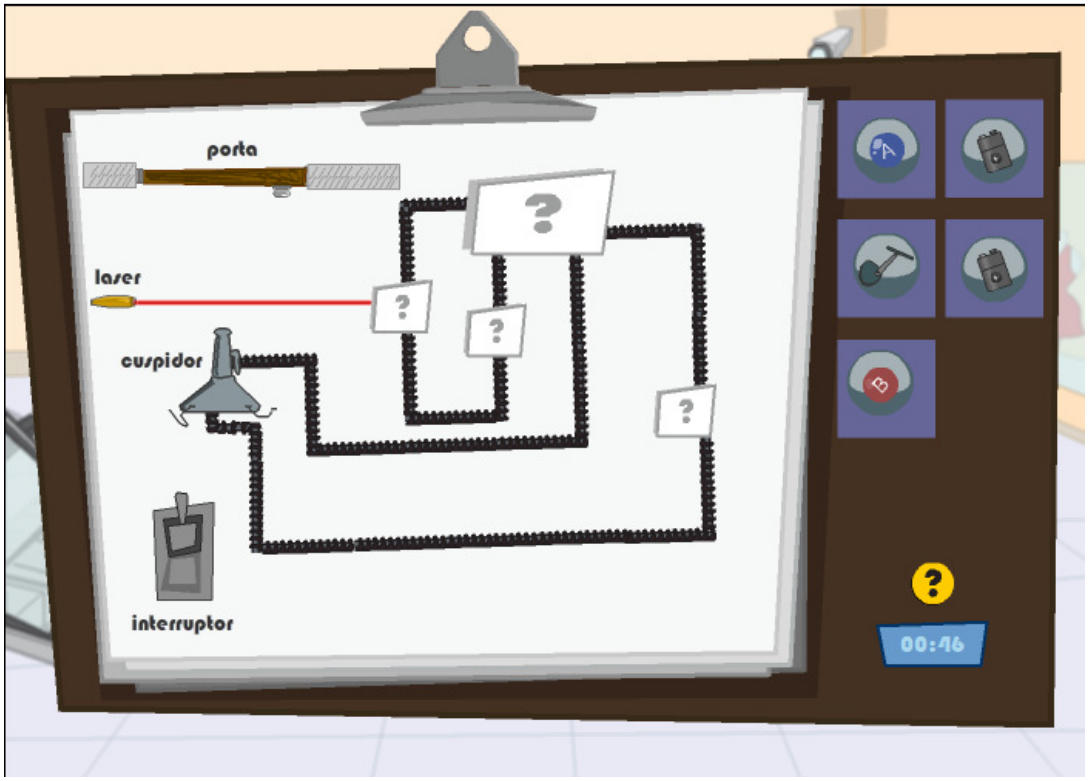
Estando montado de maneira que o dispositivo funcione corretamente, aparecerá a mensagem abaixo e poderá seguir para a próxima “tarefa”.



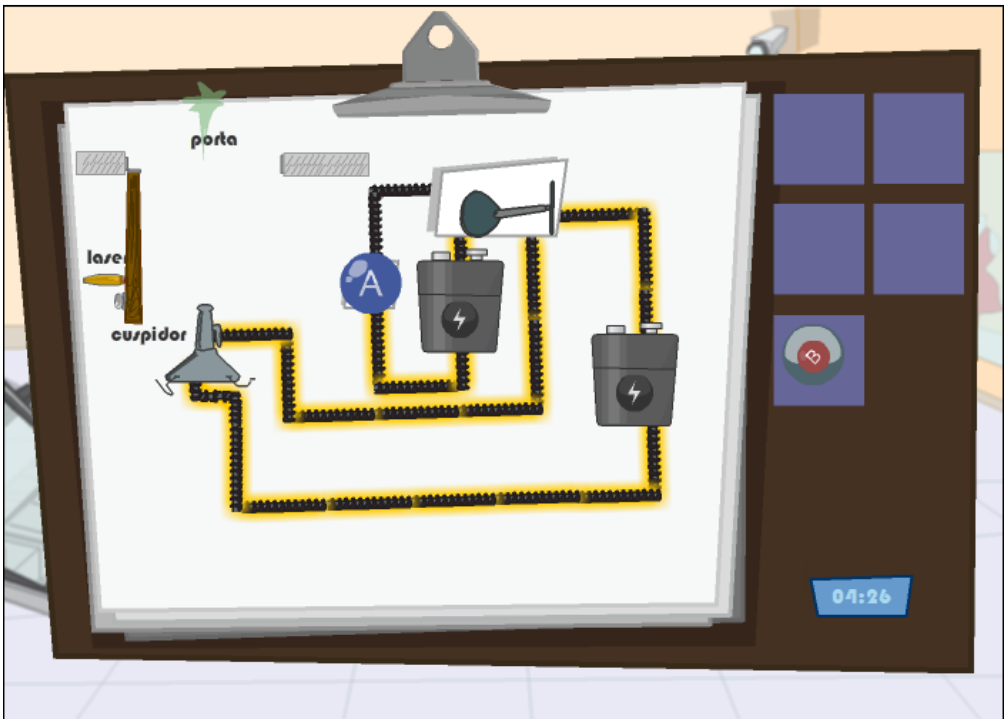
Mensagem de montagem correta do circuito



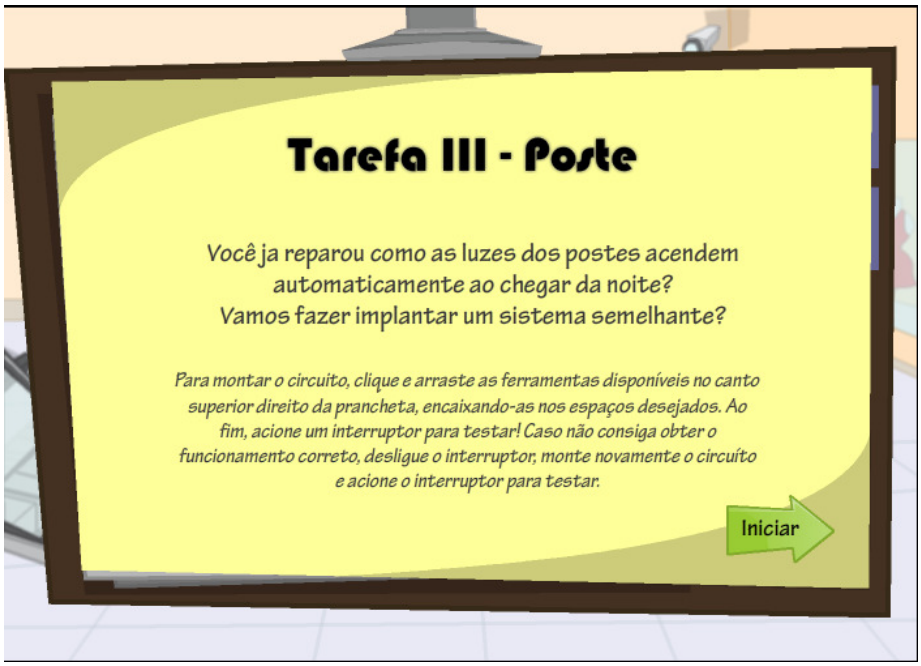
Descrição da tarefa II



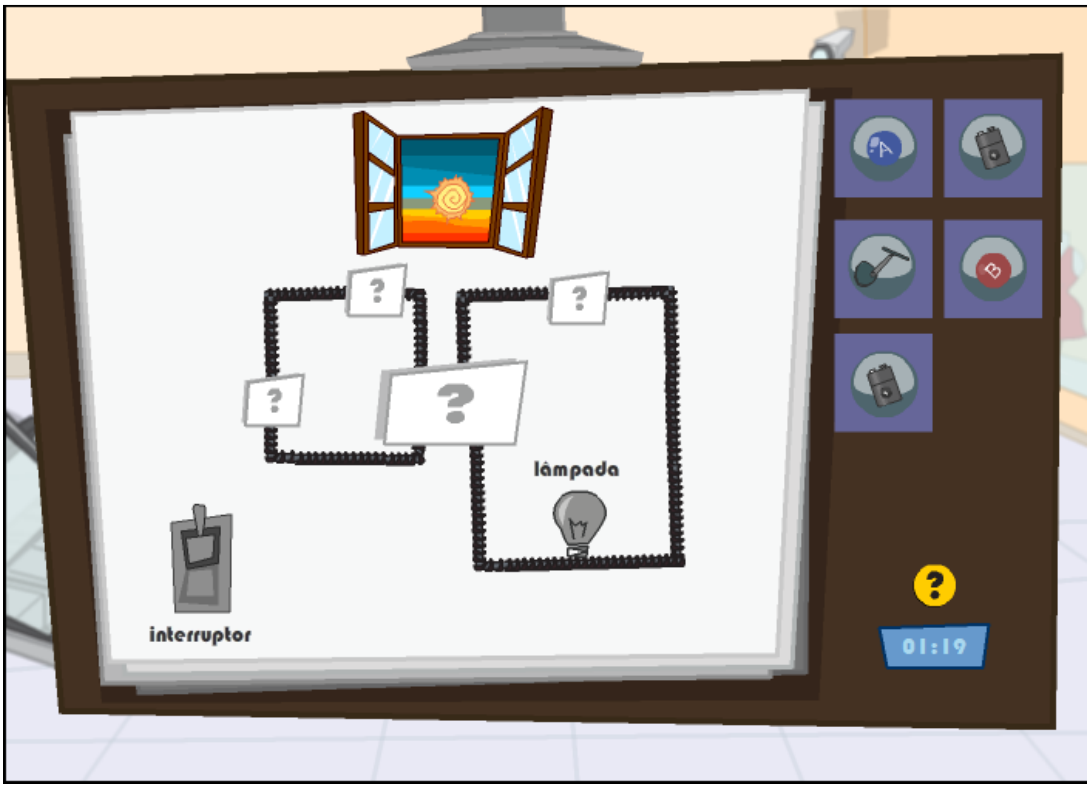
Estrutura do circuito armadilha e os componentes elétricos ao lado.



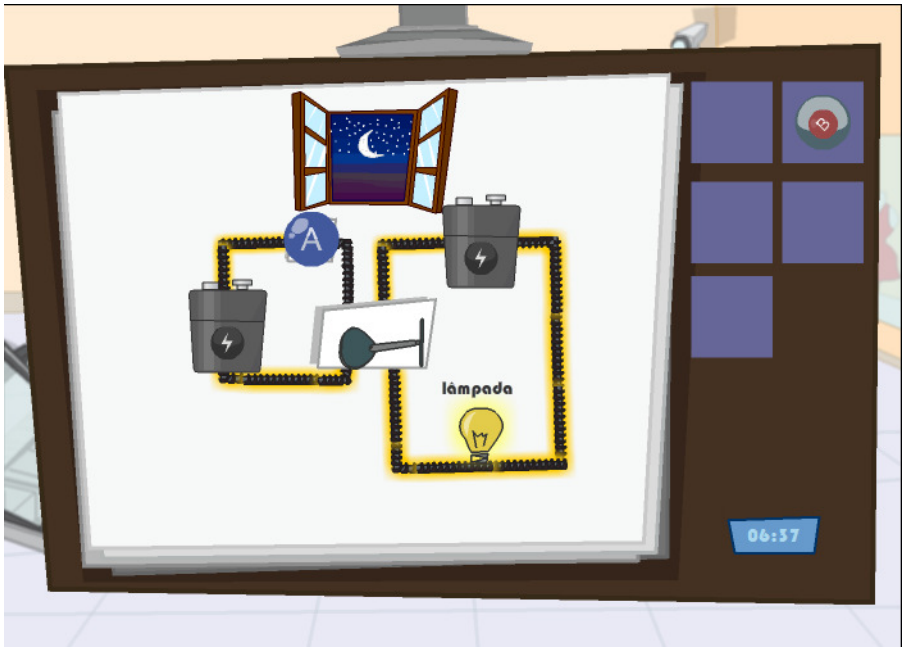
Montagem correta do circuito para ativar a armadilha.



Descrição da tarefa III

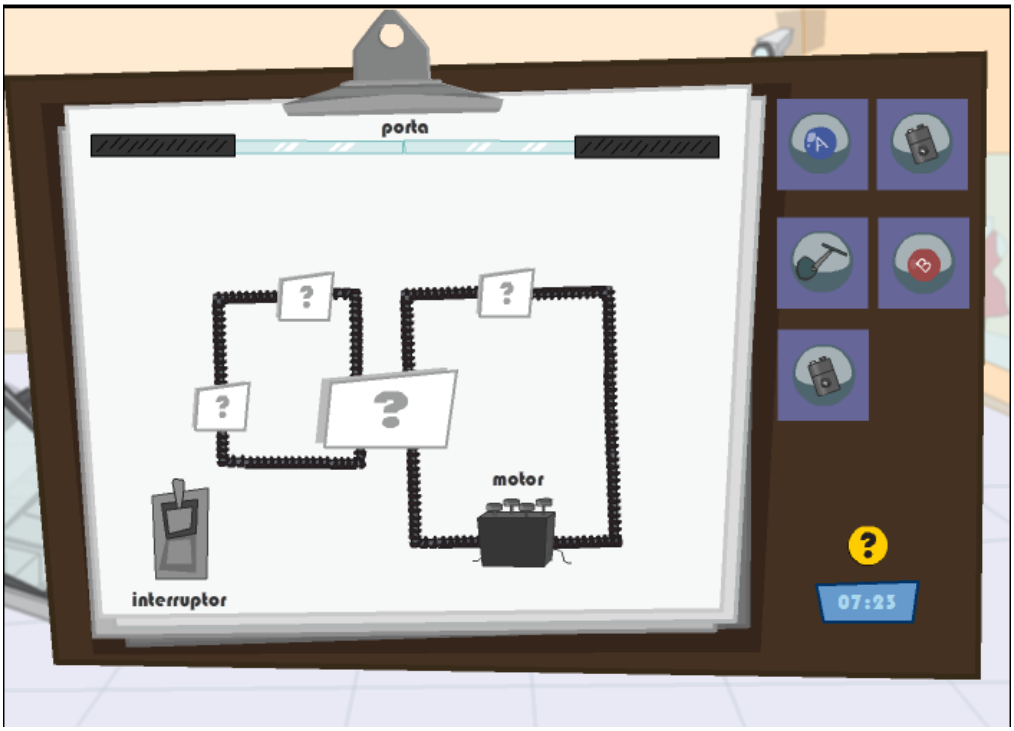


Estrutura do circuito poste e os componentes elétricos ao lado.

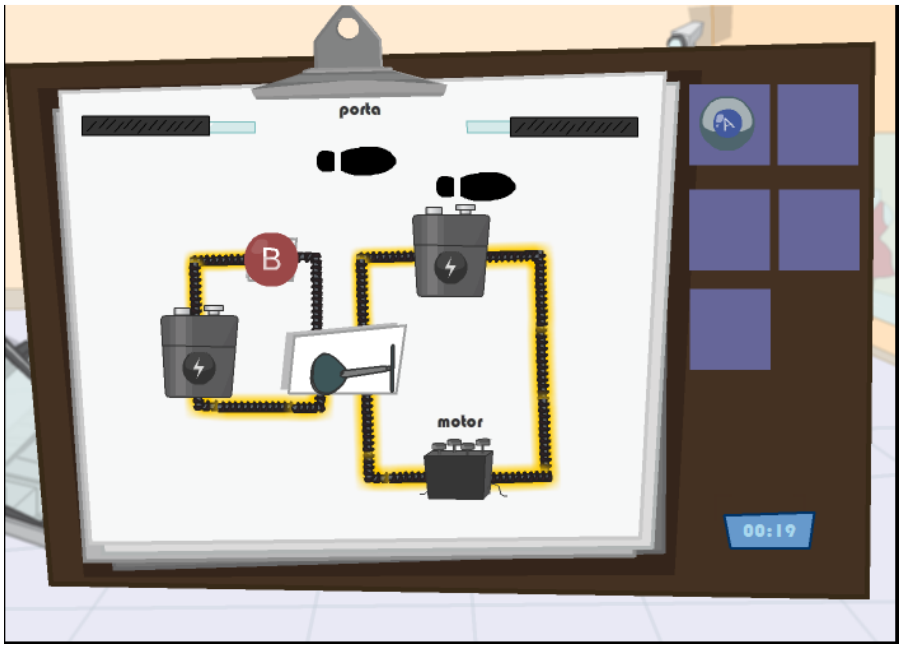


Montagem correta do circuito para ligar a lâmpada do poste.

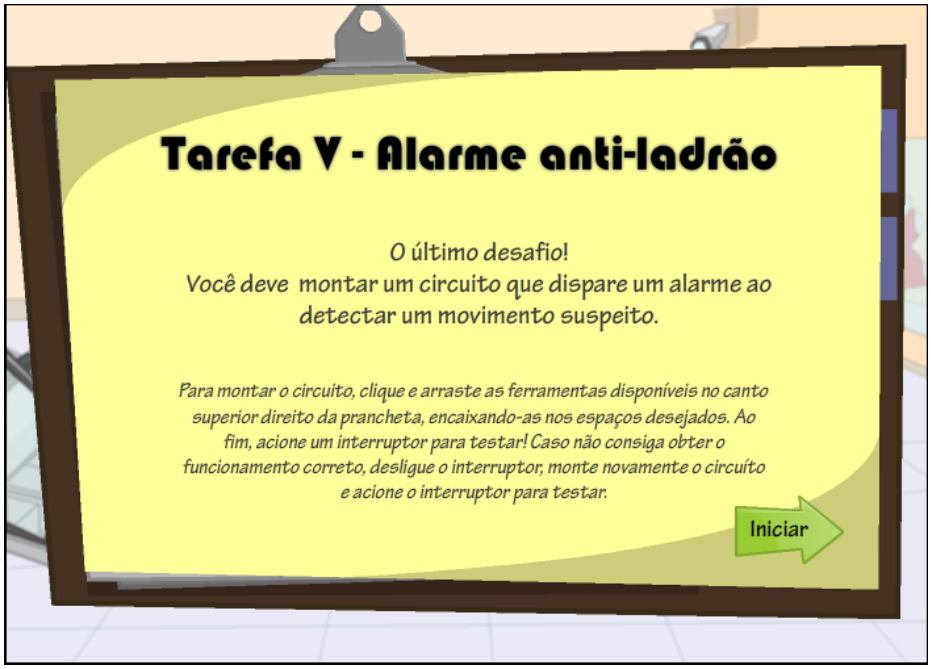
Descrição da tarefa IV



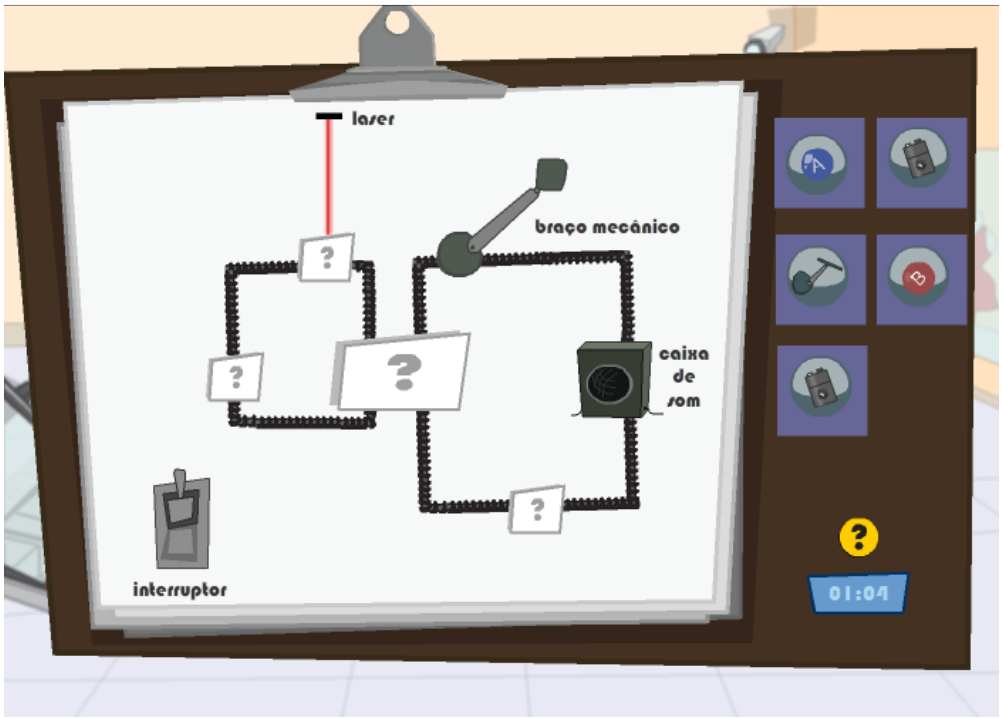
Estrutura do circuito porta automática e os componentes elétricos ao lado.



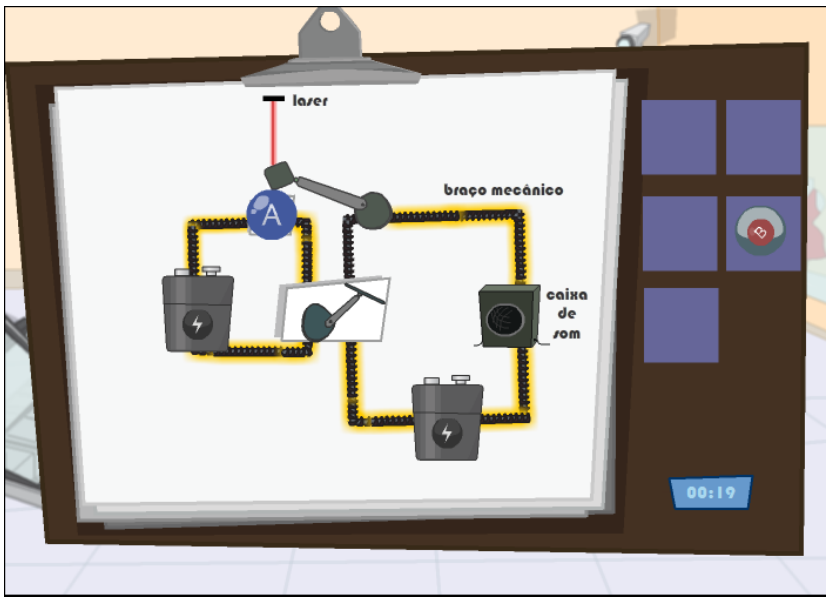
Montagem correta do circuito para ativar a porta automática.



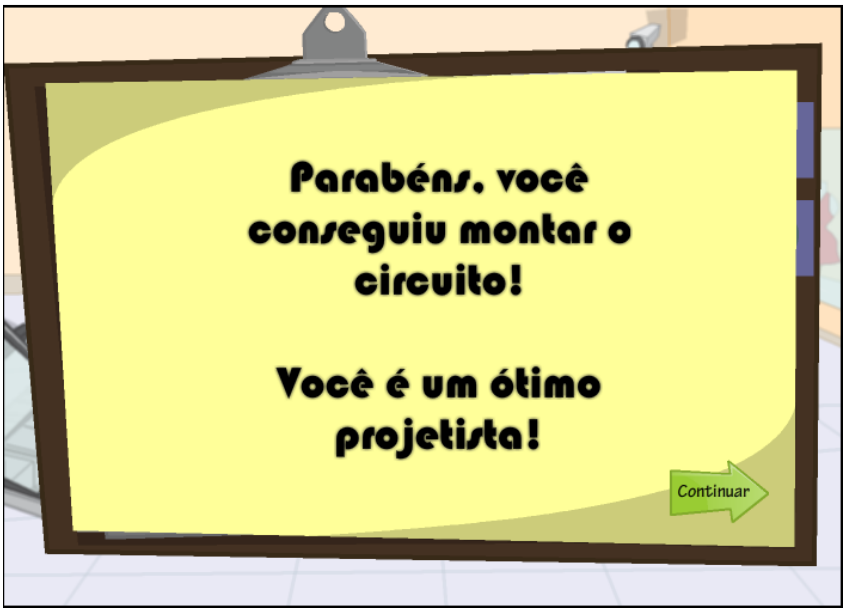
Descrição da tarefa V



Estrutura do circuito alarme anti-ladrão e os componentes elétricos ao lado.



Montagem correta do circuito para ativar a porta automática.



Mensagem de término das tarefas.

APÊNDICE 2 – QUESTIONÁRIO

Numa abordagem qualitativa, o estudo avalia o grau de satisfação do aluno com relação ao Produto Educacional aplicado durante as aulas. O objetivo é saber se o produto foi bem aceito pelos alunos e principalmente avaliar se contribuiu para a aprendizagem destes. A seriedade no preenchimento deste questionário é importante para que o Produto possa ser ajustado e assim melhore a sua eficácia. Cada questão receberá uma nota de 0 a 5, onde cada nota representa o seguinte conceito:

0 → Não sabe avaliar
1 → Muito insatisfeito
2 → Insatisfeito
3 → Indiferente
4 → Satisfeito
5 → Muito satisfeito.

DADOS CADASTRAIS

Escola: Série:
Bairro: Cidade:

1ª Questão - A sequência didática facilitou o entendimento do assunto por parte do aluno?

( ) 0 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

2ª Questão - As atividades sugeridas pelo professor foram importantes para a fixação dos conceitos?

( ) 0 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

3ª Questão - Do ponto de vista global, qual nota você atribui às aulas sobre o tema abordado?

( ) 0 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

4ª Questão - O simulação computacional utilizada auxiliou para a compreensão do fenômeno estudado?

( ) 0 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

5ª Questão - Você gosta de estudar Física ?

( ) 0 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

6ª Questão - Na sua opinião, as aulas de Física seriam mais interessantes se os professores sempre utilizassem simuladores computacionais?

( ) 0 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

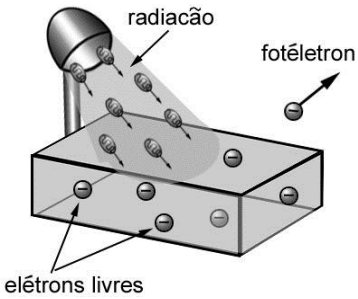
APÊNDICE 3 – AVALIAÇÃO FINAL

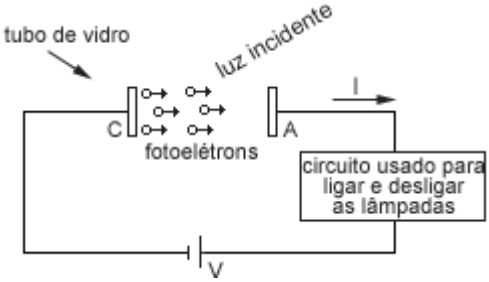
1) O espectro de radiação emitido por um corpo negro ideal depende basicamente de
   a) seu volume.
   b) sua condutividade térmica.
   c) sua massa.
   d) seu calor específico.
   e) sua temperatura.

2) Assinale V (verdadeira) ou F (falsa) para as questões relacionadas ao átomo de Böhr.
   I. ( ) Quando o elétron recebe energia, salta para um nível mais energético.
   II. ( ) Quando o núcleo recebe energia, salta para um nível mais externo.
   III. ( ) Se um elétron passa do estado A para o estado B, recebendo X unidades de energia, quando voltar de B para A devolverá X unidades de energia na forma de ondas eletromagnéticas.
   IV. ( ) Quando um elétron passa de um estado menos energético para outro mais energético, devolve energia na forma de ondas eletromagnéticas.

3) Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo.
   O ano de 1900 pode ser considerado o marco inicial de uma revolução ocorrida na Física do século XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a ideia da ..... da energia, da qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.
   a) conservação
   b) quantização
   c) transformação
   d) conversão
   e) propagação

4) A figura ao lado descreve o efeito fotoelétrico.
   Esse experimento contribuiu para a descoberta da:
   a) dualidade onda-partícula da luz.
   b) energia de ionização dos metais.
   c) emissão continua de radiação por um corpo aquecido.
   d) descrição da ligação química entre elementos metálicos.
   e) radiação do corpo negro.



5) O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:
   a) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
   b) da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
   c) da amplitude e não do comprimento de onda da radiação incidente.
   d) do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
   e) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.

6) Considere que um circuito foi construído conforme a figura e que o catodo é feito de um material com função trabalho W= 3,0 eV (elétron-volt). Se um feixe de luz incide sobre C, então o valor de frequência f da luz para que sejam emitidos fotoelétrons com energia cinética máxima Ec = 3,6 eV, em hertz, vale
   Dados: 1 eV = $1{,}6.10^{-19}$J; h = $6{,}6.10^{-34}$ J.s
   a) $1{,}6.10^{15}$
   b) $3{,}0.10^{15}$
   c) $3{,}2.10^{15}$
   d) $3{,}6.10^{15}$
   e) $6{,}6.10^{15}$