



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
FÍSICA-LICENCIATURA

MANOEL PEREIRA NETO

**A UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES NO ENSINO DE FÍSICA COMO
FERRAMENTA INVESTIGATIVA: Uma aplicação ao efeito fotoelétrico**

Caruaru
2019

MANOEL PEREIRA NETO

**A UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES NO ENSINO DE FÍSICA COMO
FERRAMENTA INVESTIGATIVA: Uma aplicação ao efeito fotoelétrico**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Física - Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof^o. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos

Caruaru
2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

P436u Pereira Neto, Manoel.
A utilização de simuladores no ensino de física como ferramenta investigativa: uma aplicação ao efeito fotoelétrico. / Manoel Pereira Neto. - 2019.
55 f. ; il.: 30 cm.

Orientador: João Eduardo Fernandes Ramos.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2019.
Inclui Referências.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Aprendizagem. 3. Simulação computacional. 4. Fotoeletricidade. I. Ramos, João Eduardo Fernandes (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-372)

MANOEL PEREIRA NETO

**A UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES NO ENSINO DE FÍSICA COMO FERRAMENTA
INVESTIGATIVA: Uma aplicação ao efeito fotoelétrico**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Física- Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovada em: 13/12/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdes Rodriguez (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Prof. Dr. Sérgio de Lemos Campello (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Dedico este trabalho a todos que fizeram parte da minha vida acadêmica, aos colegas que me acompanharam nessa jornada, aos amigos que fiz, a minha noiva que tanto amo, a minha mãe que sempre me auxiliou e a todos os professores com os quais tive o prazer de conviver, trocar experiências e conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Josefa Severina, pelo incentivo, cooperação e apoio diante das dificuldades.

Agradeço ao minha noiva Daniele Severina, por me trazer alegria e conforto sempre que possível, aliviando as perturbações e transmitindo calma.

Agradeço a meu orientador João Eduardo, não apenas por me indicar o melhor caminho, mas também por ter sido um excelente professor e coordenador na universidade.

Agradeço a cada professor que me ajudou a construir conhecimento, principalmente a Gelvanio, professor responsável por despertar em mim o interesse pela matemática e pela física.

Agradeço a todos os amigos que fizeram parte de minha vivencia no ensino básico e médio, principalmente aos que hoje ainda se fazem presentes, obrigado Júnior Manoel, Henrique, Ronaldo, Clênio, Crislaine, Esthefanny e Gislaine.

Agradeço também a todos os amigos que fizeram parte da minha vivencia na universidade, pessoas de cultura fantástica e personalidades únicas com destaque a Gustavo Lira, Ranan Albuquerque, Thiago Tabosa, Emmanuel Fernandes, Luiz Fernando, Elton Lopes, Júlio Cesar e Thiago Edvaldo, Obrigado.

Agradeço também a todos os companheiros de viagem que enfrentam a estrada todos os dias ao meu lado, foram momentos inesquecíveis.

RESUMO

A atividade de lecionar vem sendo um desafio para os profissionais da educação devido ao fato de grande parte dos alunos não se apresentarem dispostos aos estudos que, em sua maioria, são cercados de métodos tradicionalistas de ensino que inibem a aproximação e interação entre professor e aluno. Diante deste cenário a busca por soluções se encontra na apresentação de metodologias variadas que deixam de lado o ensino tradicional e buscam a participação ativa do discente. Este trabalho propõe uma metodologia alternativa, baseada na utilização de programas de simulação computacional voltados ao ensino de física, na qual estes simuladores tomam papel de ferramenta investigativa, auxiliando no estudo e observação de fenômenos físicos. A investigação dos impactos causados por esta metodologia se deu a partir da apresentação de uma aula baseada no estudo do efeito fotoelétrico em turmas do terceiro ano do ensino médio da escola estadual do município de Cumaru, onde dados foram obtidos por meio dos fatos observados durante a aula além de respostas obtidas a partir da aplicação de um questionário voltado aos alunos. A análise desses dados teve como base a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, na qual foi possível identificar evidências que apontam para um aprendizado significativo a partir da assimilação dos conceitos estudados na aula com os problemas propostos no questionário.

Palavras chave: Ensino de Física; Simulação computacional didática; Aprendizagem Significativa; Efeito fotoelétrico.

ABSTRACT

The teaching activity has been a challenge for education professionals due to the fact that most students are not willing to study, which, in their majority, are surrounded by traditional teaching methods that inhibit the approximation and interaction between teacher and student. Given this scenario, the search for solutions is found in the presentation of varied methodologies that leave aside traditional teaching and seek the active participation of the student. This work proposes an alternative methodology, based on the use of computer simulation programs aimed at teaching physics, in which these simulators take the role of an investigative tool, assisting in the study and observation of physical phenomena. The investigation of the impacts caused by this methodology took place from the presentation of a class based on the study of the photoelectric effect in classes of the third year of high school of the state school of the city of Cumarú, where data were obtained through the facts observed during the class and answers obtained from the application of a questionnaire aimed at students. The analysis of these data was based on Ausubel's theory of significant learning, in which it was possible to identify evidence that points to significant learning from the assimilation of the concepts studied in class with the problems proposed in the questionnaire.

Keywords: Physics teaching; Didactic computer simulation; Meaningful Learning; Photoelectric effect.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Página inicial do site PhET.....	21
Figura 2 –	Algumas simulações de física disponíveis na plataforma PhET.....	23
Figura 3 –	Ilustração do experimento de Hertz.....	24
Figura 4 –	Ilustração do experimento de P. Lenard onde podemos observar uma fenda no anodo A por onde os elétrons passavam chegando ao campo magnético.....	25
Figura 5 –	Ilustração da ejeção de um elétron após absorver a energia de um fóton.....	27
Figura 6 –	O simulador Efeito Fotoelétrico.....	28
Figura 7 –	Ferramentas em destaque na simulação.....	28
Figura 8 –	Execução da simulação com a luz representada como fótons.....	29
Figura 9 –	Ilustração do funcionamento de uma placa solar feita por um aluno como resposta da quinta questão.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificações segundo Coelho (2002) quanto a utilização de computadores no ensino de física.....	16
Tabela 2 –	Tipos de simulação computacional segundo Bazzo e Pereira (2003).....	18
Tabela 3 –	Classificações de um modelo matemático segundo Bassanezi (2002).....	19
Tabela 4 –	Questões fechadas do questionário.....	35
Tabela 5 –	Questões abertas do questionário.....	36
Tabela 6 –	Argumentos levantados quanto a dependência da intensidade da luz no efeito fotoelétrico.....	38
Tabela 7 –	Argumentos levantados quanto a dependência da frequência da luz no efeito fotoelétrico.....	39
Tabela 8 –	Hipóteses apresentadas quanto o comportamento corpuscular da luz pela turma A.....	40
Tabela 9 –	Hipóteses apresentadas quanto o comportamento corpuscular da luz pela turma B.....	40
Tabela 10 –	Acertos das questões 1, 2, 3, e 4 nas turmas A e B.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	A TECNOLOGIA DA INFORMÁTICA NO ENSINO.....	14
2.1.1	Computadores no Ensino de Física.....	15
2.1.2	As Simulações e o Ensino de Física.....	17
2.2	A PLATAFORMA PHET.....	21
2.3	EFEITO FOTOELÉTRICO E SIMULADOR.....	23
2.3.1	O Efeito Fotoelétrico	24
2.3.2	O Simulador Efeito Fotoelétrico.....	27
2.4	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	30
3	METODOLÓGIA	33
3.1	A AULA.....	33
3.2	O QUESTIONÁRIO.....	35
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS.....	38
4.1	AS DISCUSSÕES.....	38
4.2	A RESOLUÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	41
5	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A: PLANO DE AULA ELABORADO	50
	APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS	55

1 INTRODUÇÃO

Com os rápidos avanços da informática e da internet a atividade de lecionar vem se tornando um desafio cada vez maior para os profissionais da educação. Hoje é muito comum encontrarmos jovens utilizando smartphones, tablets, computadores e outros aparelhos eletrônicos em seu dia a dia que não eram tão comuns e acessíveis pouco tempo atrás e que hoje se tornaram ferramentas fundamentais no convívio social e principalmente no virtual.

Essa gama de aplicativos, programas, games, etc. que surgiram nos últimos anos possibilitam inúmeras formas de comunicação, proporcionando cada vez mais interatividade e que chamam a atenção dos jovens oferecendo diversos conteúdos e entretenimentos de seus interesses.

Tratando-se do ambiente interno das instituições de ensino, esses avanços não foram muito bem absorvidos, essa explosão tecnológica virtual vivenciada na sociedade ainda vem acontecendo de forma lenta na maioria das escolas. O ensino que vemos hoje ainda é um ensino tradicional que põe o professor como a figura principal dentro da sala de aula onde a interação do aluno é mínima no processo educacional e que aparatos tecnológicos, como computadores e projetores, são utilizados apenas como um quadro branco que poupa o professor da escrita, simplesmente projetando o conteúdo em forma de texto.

Martins, Silva e Bezerra (2018) discutem que nesse modelo tradicional, o que podemos ver atualmente é a personalidade de um professor autoritário que busca manter a ordem e o silêncio na sala de aula, que opta por apresentar aulas expositivas preocupando-se mais com a apresentação do conteúdo que com o aprendizado do aluno além de estreitar a relação com estes.

Para Moreira (2018), no ensino de física esse modelo tradicionalista se apresenta ainda mais ineficaz onde as aulas não passam apenas de uma apresentação de fórmulas que devem ser decoradas pelos alunos que, segundo o autor, “em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado para uma aprendizagem significativa, geram uma indisposição tão forte que chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física.” (MOREIRA, 2018, p. 73).

Além disso, essas aulas são acompanhadas de conceitos mínimos na maioria das vezes sem nenhuma abordagem do seu contexto histórico e que, principalmente em escolas públicas, são ministradas por professores de outras áreas, quase sempre

formados em matemática, fazendo com que essas fórmulas acabem sendo enxergadas pelos alunos como simples operações matemáticas.

É nessa divergência entre os ambientes externo e interno a escola que surgem os problemas nas relações de ensino e aprendizagem da sala de aula. Muito do ambiente de interação criado pela tecnologia consegue inevitavelmente invadir o ambiente escolar desviando a atenção do aluno e dando início a uma disputa por essa atenção, que quase sempre é vencida pelas tecnologias que não possuem fins educacionais como games e redes sociais de conteúdos destinados ao entretenimento e que não estão ligados a educação.

Surge então a necessidade do professor de atrair a atenção do aluno e instigá-lo a aprender criando um novo ambiente de ensino que proporcione uma maior interação e participação do aluno no processo de aprendizagem buscando trazer de volta a sua atenção e que também pode utilizar a tecnologia como aliada, desfrutando positivamente daquilo que ela oferece para o ensino como animações, vídeos, simuladores e muitas outras ferramentas que podem contribuir para a aprendizagem do aluno.

Segundo Grando (2015) é de extrema importância o entendimento da forma com a qual os alunos pertencentes a nova era digital pensam para que a partir desta o professor possa ser capacitado de forma que consigam exercer sua função de educador, promovendo a educação de forma agradável e tornando o ambiente escolar estimulante para esses alunos.

Quanto ao atual papel que o professor deve tomar na sala de aula, Garcia (2013) diz que:

Hoje, ele é um mediador, facilitador do processo de ensino-aprendizagem e os alunos são os sujeitos ativos desse processo, deixando de ser simples receptores do conhecimento. Dessa forma, o professor precisa utilizar recursos que transformem suas aulas, de modo a instigar mais e mais a busca pelo conhecimento por parte dos alunos, ministrando aulas dinâmicas, motivadoras, atrativas e entendendo que as tecnologias disponíveis auxiliam no processo de ensino-aprendizagem, as quais vêm para colaborar com o professor, funcionando como suporte, como um recurso a mais para esse processo e não como um recurso em sua substituição. (GARCIA, 2013, p. 25)

A partir disso, a necessidade de estudar diferentes metodologias de ensino torna-se essencial na formação de um profissional da educação. O ato de ensinar

deve estar sempre se remodelando e se adaptando a realidade a qual os alunos pertencem uma vez que estes são o alvo a ser atingido.

É nessa perspectiva que esse trabalho traz a apresentação de uma metodologia alternativa, baseada na utilização de simulações computacionais no auxílio do ensino de física. O trabalho toma essas simulações como uma ferramenta didática investigativa e discursiva e com o objetivo de identificar seus impactos no processo de ensino e aprendizagem com base na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, identificando vantagens e desvantagens e buscando evidências que permitam a observação de um aprendizado proveniente desta metodologia.

A fim de atingir esses objetivos, a metodologia elaborada teve como base a simulação computacional Efeito Fotoelétrico desenvolvida pelo projeto Physics Education Technology (PhET) e se dividiu em dois momentos. O primeiro se tratou de uma aula na qual a simulação foi trabalhada proporcionando a investigação da relação do efeito fotoelétrico com as propriedades da luz quanto sua intensidade, frequência e natureza. O segundo momento foi destinado a resolução de um questionário com finalidade de analisar o aprendizado construído pelos alunos durante a aula.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a utilização das tecnologias computacionais no ensino com ênfase nas tecnologias de simulação didática para o ensino de física, destacando a relação desta com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

2.1 A TECNOLOGIA DA INFORMÁTICA NO ENSINO

Com a expansão da informática vários programas e tecnologias foram criadas possibilitando um melhor aproveitamento desta. São essas as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) que também se expandiram para o ambiente educativo possibilitando alternativas de ensino-aprendizagem um tanto diferente dos padrões.

O uso dos computadores no ensino vem sendo estudado e trabalhado a muitos anos. Sua utilização iniciou-se por volta de 1950 em universidades, porém, só viriam a se tornar mais acessíveis alguns anos depois com a popularização dos computadores e a expansão da internet.

No Brasil, o estudo sobre a utilização de computadores como ferramenta de ensino iniciou-se no ano de 1971 nas universidades federais do Rio de Janeiro (UFRJ) e Rio Grande do Sul (UFRGS) e também na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Em 1975 a Unicamp propôs um projeto visando a inserção da ferramenta no ensino de escolas de 2º grau, onde em 1977 o projeto passou a envolver crianças em seus estudos (LAPA, 2008).

Das pesquisas realizadas surgiu a necessidade de discussão de uma proposta de inclusão da computação na educação onde o Ministério da Educação (MEC), a Secretaria Especial de Informática (SEI), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) realizaram o I Seminário Nacional de Informática na Educação em 1981 no qual foi destacada a importância dos estudos da utilização do computador no processo de ensino-aprendizagem além de destacar também a importância da face pedagógica nessa tecnologia impondo esta como ferramenta auxiliar no ensino e não como substituta do professor (BRASIL, 2017).

Foi em Abril de 1986 que o Comitê Assessor de Informática na Educação da Secretaria de Ensino de 1º e 2º Graus Recomendou a aprovação do Programa de

Ação Imediata em Informática na Educação de 1º e 2º Graus juntamente as secretarias estaduais de educação. O seu objetivo era criar infraestrutura, promover a capacitação de professores e criação de softwares educacionais. Desse momento em diante diversos programas de educação foram criados e aos poucos o uso de computadores como recurso pedagógico se expandiu. Em 1997 foi criado o Programa Nacional de Informática na Educação promovendo o uso dessa tecnologia na rede pública de ensino fundamental e médio (BRASIL, 2007).

Os fins pedagógicos desses programas era promover a utilização do computador como ferramenta complementar no estudo dos conteúdos abordados em aula e na construção de projetos. Ele discute também que as principais funções desenvolvidas pelos softwares utilizados eram as de tutoriais, exercitação de conceitos, investigação, simulação, jogos de objetivo educacional e abertos, esta última no sentido de oferecerem diversas ferramentas a fim de atender a necessidade do usuário, como criação de tabelas, gráficos, texto e programação (BRASIL, 2007).

Recentemente, em 2012, o governo do estado de Pernambuco promoveu um programa educacional que disponibilizou computadores portáteis para alunos dos segundos e terceiros anos do Ensino Médio com o objetivo de melhorar o ambiente escolar e a aprendizagem dos estudantes. O computador vinha acompanhado de softwares educacionais além de livros em PDF e um vasto conteúdo educacional disponibilizado em links (SILVA, 2014).

Atualmente o projeto encontra-se inativo. Cruz (2013) discute que o programa não gerou resultados significativos pois, mesmo os professores afirmando a importância da utilização do equipamento, estes não fazem uso do mesmo por falta de tempo e qualificação para a preparação de aulas nas quais os softwares disponíveis possam ser utilizados enquanto que por parte do aluno o computador é utilizado em pesquisas na internet, digitação de textos e planilhas eletrônicas, jogos e principalmente o uso de redes sociais.

2.1.1 Computadores no ensino de física

Com relação a utilização de computadores como ferramenta para o ensino de física, Coelho (2002) discute quatro diferentes classificações onde teve como base as ideias de Valente (1993), Bonilla (1995), Oliveira (1997), Rosa (1995) e Rocha (1993) quanto as funcionalidades do computador na educação em geral como também dos

softwares produzidos e destinados a mesma. Essas classificações estão apresentadas a seguir na tabela 1.

Tabela 1 – Classificações segundo Coelho (2002) quanto a utilização de computadores no ensino de física.

Classificação	Característica	Funções
Primeira classificação	Computador como uma máquina de ensinar.	Banco de questões, instrução programada, tutorial, virador de páginas.
Segunda classificação	Computador como ferramenta burocrática e intelectual.	Processamento de textos e realização de cálculos de forma rápida, resolução de questões, coleta de dados e construção de gráficos.
Terceira classificação	Computador como uma ferramenta de programação.	Criação de programas que possibilitam a aprendizagem por descobertas e resolução de problemas.
Quarta classificação	Computador como ferramenta de simulação.	Análise de fenômenos físicos de forma detalhada a partir da observação dos resultados e de suas relações com as variáveis envolvidas

Fonte: Autoral

Para Coelho (2002) uso do computador como ferramenta de simulação surge na época como sendo a mais utilizada no ambiente pedagógico de ensino. Segundo o autor:

Este é o uso mais comum no Ensino de Física, pela óbvia vantagem que tem como ponte entre o estudo do fenômeno da maneira tradicional (quadro-e-giz) e os experimentos de laboratório, pois permitem que os resultados sejam vistos com clareza, repetidas vezes, com um grande número de variáveis envolvidas. (COELHO, 2002, p.39)

Dessa forma a utilização de simuladores no ensino de física surge como sendo uma mistura de teoria e prática, possibilitando o controle detalhado do fenômeno e a

observação da influência que cada variável possui no mesmo e ainda podem possibilitar um amplo campo de teste de hipóteses.

Essas características fazem com que a simulação computacional se destaque em relação a uma experimentação prática onde parte das variáveis são fixas ou sua variação é muito limitada e algumas hipóteses não podem ser testadas e observadas. Além disso as simulações dispensam e suprem a necessidade de um laboratório físico, podendo ser executadas na própria sala de aula sem gerar riscos. No entanto a simulação não se sobrepõe ao contato físico e real proporcionado por uma experimentação prática laboratorial.

Outras três diferentes classificações do uso do computador no ensino de física são discutidas por Fiolhaes e Trindade (2003). Essas são a de multimídia, a de realidade virtual e a internet. A de Hiperídia trata-se de uma interface que proporcionada acesso a diversas formas de ensino como vídeos, imagens, animações, textos, gráficos, simulações, etc., onde o usuário tem liberdade para escolher qual caminho tomar em seus estudos. Enquanto a de realidade virtual propõe a ideia de colocar o usuário em imersão em um ambiente virtual que possibilita uma investigação em primeira pessoa onde suas próprias ações são responsáveis pelas reações do ambiente, buscando ao máximo transmitir a ideia de realidade.

Tratando-se da internet, ela surge como sendo responsável por promover exploração de conteúdo em larga escala, pois, segundo os autores “Ela tornou-se a maior e mais ativa de todas as bibliotecas do mundo, tendo as paredes das salas de aulas sido “derrubadas” através da ligação direta das fontes de informação.” (FIOLHAIS, TRINDADE, 2003, p. 269).

Dentre outras formas de utilização do computador voltadas ao ensino temos, segundo Ribas (2019), a de jogos, se tratando de softwares de entretenimento que promovem interatividade e diversão e podem ser utilizados para fins educativos e de forma eficiente. Podemos destacar também, segundo Magalhães (2015), a de produção de músicas, tomando o computador como ferramenta de composição musical. Ambas as possibilidades podem ser utilizadas no ensino de física, tanto no estudo da física que envolve os jogos como na que envolve a música.

Atualmente o principal papel do computador no ensino, em geral está mais voltado ao acesso a internet, como ferramenta de pesquisa, tomando papel de ambiente informal de ensino. Nela ainda é possível encontrar muitas das diversas metodologias de ensino citadas anteriormente.

Outra atual ferramenta tecnológica e que a maioria dos alunos possuem são os smartphones. Esses celulares inteligentes, assim como o computador, permitem acesso a internet, jogos, redes sociais, softwares educacionais, simulações e diversos outros aplicativos que abrangem as possibilidades citadas anteriormente quanto o uso do computador no ensino. Com relação a utilização dos smartphones no ensino, é possível afirmar que o uso da internet como ferramenta de pesquisa também surge como sendo a principal função desses aparelhos.

2.1.2 As simulações e o ensino de física

Uma simulação consiste em uma experimentação que replica um sistema real de forma idealizada, permitindo demonstrar diferentes reações deste com relação a modificação das grandezas que o envolvem como sua estrutura, ambiente ou condições de contorno (HARRELL et al., 2002).

Segundo Bazzo e Pereira (2003), existem basicamente três tipos de simulação, a icônica, a analógica e a matemática. Podemos observar as características e os objetivos desses diferentes tipos de simulação na tabela 2.

Tabela 2–Tipos de simulação computacional segundo Bazzo e Pereira (2003).

Tipo	Característica	Objetivo
Ícônica	Representação do sistema a partir de modelos físicos	Verificar como o sistema funcionará diante de condições impostas a um modelo deste, que normalmente possui um tamanho diferente do real.
Analógica	Comparação de um sistema não familiar ou de difícil manipulação com um outro sistema conhecido e facilmente manipulável.	Fazer um sistema se comportar de forma análoga a outro com o intuito de facilitar a análise dos resultados.
Matemática	Utilização de modelagem matemática como instrumento de previsão do tipo entrada e saída.	Manipular as grandezas envolvidas nas equações ocasionando alterações no comportamento do sistema simulado a fim de observar

		como essas grandezas interferem no fenômeno real.
--	--	---

Fonte: Autoral

Quanto a modelagem matemática dessas simulações, esta consiste na aplicação de modelos matemáticos. Bassanezi (2002) aponta dois tipos de modelos, o objetivo e o teórico. Enquanto o modelo objetivo busca uma representação concreta do fato ou objeto, composto por variáveis estáveis e homogêneas e sendo representado de forma pictórica, conceitual ou simbólica, o modelo teórico se encontra vinculado a uma teoria geral existente. Segundo o autor: “Ele deve conter as mesmas características que o sistema real, isto é, deve representar as mesmas variáveis essenciais existentes no fenômeno e suas relações obtidas através de hipóteses (abstratas) ou de experimentos (reais).” (BASSANEZI, 2002, p. 20).

Segundo Bassanezi (2002), esses modelos matemáticos podem ser classificados com relação a natureza dos fenômenos ou de acordo com a situação que se é analisada. Essas classificações são as seguintes representadas na tabela 3.

Tabela 3–Classificações de um modelo matemático segundo Bassanezi (2002).

Classificações	Característica
Estática	Quando representa apenas a forma do objeto de estudo.
Dinâmica	Quando simula variações de estágios do objeto de estudo.
Linear	Envolve equações de resultados lineares.
Não-linear	Envolve equações de resultados não-lineares.
Educacional	Envolve a investigação de algumas variáveis, de forma isolada de outras relações complexas do objeto de estudo.
Aplicativa	Baseado em hipóteses realísticas que envolvem muitas variáveis inter-relacionadas com equações de grande quantidade de parâmetros.
Estocástica	Contem fatores estatísticos em suas equações.
Determinística	Não contem fatores estatísticos em suas equações.

Fonte: Autoral.

As simulações computacionais didáticas são normalmente compostas por modelos matemáticos teóricos de características dinâmicas, lineares, estocásticos ou determinísticos e educacionais onde é dada prioridade a simplicidade de assimilação

e fácil execução, proporcionando uma representação confiável do modelo teórico a qual pretende abordar. Portanto essas simulações não devem se prender a representações rígidas do fenômenos, eles devem investir nos recursos visuais dinâmicos, facilitando sua utilização e a compreensão destes.

Medeiros e Medeiros (2002), discutem o possível potencial que as simulações possuem como ferramenta para o ensino de física auxiliando no entendimento dos conceitos. Segundo os autores, a principal vantagem das simulações seria a interatividade que o programa proporciona ao aluno, onde:

Tal interatividade consiste no fato de que o programa é capaz de fornecer não apenas uma animação isolada de um fenômeno em causa; mas também uma vasta gama de animações alternativas selecionada através do *input* de parâmetros pelo estudante. (MEDEIROS E MEDEIROS 2002, p.79)

A manipulação dos parâmetros em um simulador dá a possibilidade de “romper” os limites de uma experimentação real que poderia ser executada pelos alunos. Esse fato proporciona aos programas de simulação um amplo campo de possibilidades no estudo de um fenômeno físico, permitindo uma melhor exploração do mesmo e com maior facilidade. Além disso as simulações podem possibilitar a execução de experimentos que estariam fora do alcance dos alunos como de fenômenos macroscópicos ou microscópicos.

No entanto, as simulações são construídas a partir de modelos matemáticos que idealizam os fenômenos físicos que estão sendo abordados. Segundo Bassanezi (2002), “[...] estes modelos não representam a realidade com o grau de fidelidade adequada [...]” (BASSANEZI, 2002, p. 20), portanto, tomar os resultados obtidos advindos de uma simulação como reais é um erro, algo comum cometido por quem utiliza esse tipo de ferramenta. Surge então a necessidade do entendimento, tanto por parte do professor como por parte do aluno, sobre as limitações com as quais o programa trabalha. Medeiros e Medeiros destacam que:

Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos tornar-se-ão ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros (MEDEIROS, MEDEIROS, 2002, P. 81).

Logo, a utilização de simuladores computacionais para o ensino de física requer um estudo amplo do programa, de suas vantagens e suas limitações para evitar a construção de um conhecimento físico idealizado que seja distorcido da realidade.

Algumas plataformas online disponibilizam uma grande quantidade de simuladores voltados ao ensino como a Physics 2000, a myPhysicsLab, a Labvirt, a Modellus, e a PhET.

2.2 A PLATAFORMA PHET

Fundado em 2002, o Physics Education Technology (PhET) trata-se de um projeto desenvolvido pela Universidade de Colorado Boulder onde, com base em pesquisas de educação, são criadas simulações voltadas ao ensino de física, matemática, química e biologia. Essas simulações são disponibilizadas gratuitamente através de um site onde podem ser acessadas diretamente do navegador além de disponibilizar os arquivos dos programas de simulação para download permitindo o acesso da ferramenta sem a necessidade de internet.

Figura 1 – Pagina inicial do site



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

As simulações disponíveis na plataforma buscam a interatividade do aluno permitindo-o determinar parâmetros e movimentar elementos dentro da simulação

criando condições diferentes e variando os resultados obtidos. Segundo Silva, Tavares e Silva (2018):

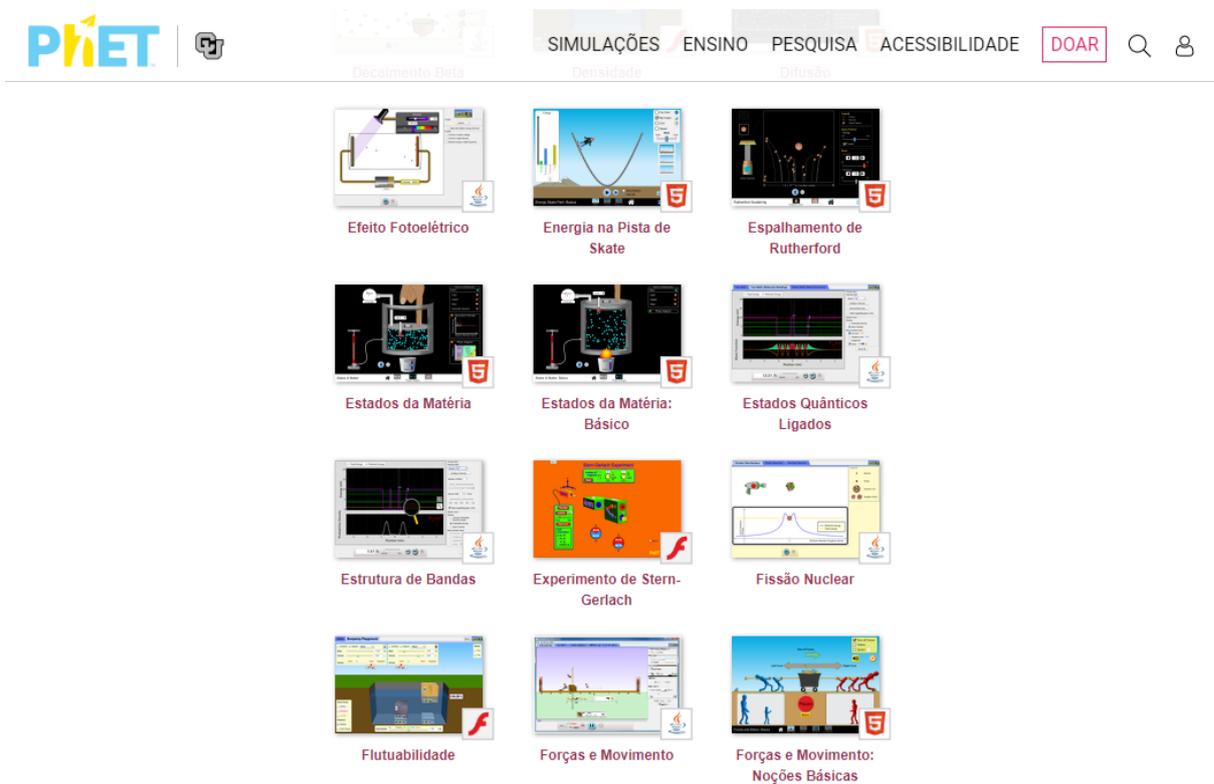
Os recursos interativos entre o usuário e o programa proporcionam ao estudante uma maior facilidade na compreensão do assunto em questão, na medida em que é possível manipular as variáveis envolvidas no fenômeno físico como massa, gravidade, velocidade, força entre outras. Essa interatividade faz do Phet um excelente recurso e que pode ser utilizado com sucesso no ensino de física. (SILVA, TAVARES, SILVA, 2018, p. 6)

São diversos os trabalhos acadêmicos desenvolvidos com base na utilização de simulações no ensino de física que fazem uso das simulações disponíveis nessa plataforma. Por exemplo, Souza (2015) discute a utilização de simulações no ensino de força e movimento a partir da simulação Forças e Movimento: Noções Básicas, Macedo, Dickman e Andrade (2012) estudam o ensino de conceitos básicos de eletricidade a partir da simulação Kit de Construção de Circuito (AC+DC), Carraro e Pereira (2014) trabalham o ensino de eletrodinâmica especificando a utilização de simulações da plataforma PhET, Macêdo (2009) discute o ensino de conceitos básicos de eletromagnetismo a partir da utilização da simulação Laboratório de Eletromagnetismo e Campos (2017) traz o ensino da área de termologia utilizando das simulações Troca de Energia e Transformações, Estudos da Matéria: Básico e Propriedades dos gases.

Todos esses trabalhos apresentaram resultados positivos em suas conclusões, afirmando a existência de indícios que apontam para a existência de um aprendizado, além de mudanças relevantes na atitude dos alunos com relação a participação destes durante as aulas. Ainda segundo Campos (2017), os alunos apontaram o uso de simulações como sendo facilitadoras e motivadores de aprendizagem.

Essas e muitas outras simulações estão disponíveis na plataforma em formato Java, HTML-5 e Flash Player e encontram-se divididas nas categorias de Física, Química, Biologia, Matemática e Ciências da Terra. Da categoria de física são um total de 106 simulações que abordam os mais diversos assuntos de física clássica e moderna. Além disso, as simulações disponíveis em formato HTML-5 podem ser acessadas diretamente de navegadores em smartphones. Na figura 2 podemos observar algumas dessas simulações.

Figura 2 – Algumas simulações de física disponíveis na plataforma PhET.



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics

O próprio site ainda conta com uma ferramenta de compartilhamento de atividades produzidas pelos pesquisadores do projeto e por seus usuários onde as simulações são utilizadas como base. Essas atividades estão disponíveis para qualquer pessoa que visite o site e trazem propostas para professores aplicarem a metodologia de simulações em sala de aula. Além das atividades, também é disponibilizado para cada simulação um tutorial com os comandos e *insights* sobre o pensamento do estudante, o que facilita a preparação do professor.

2.3 EFEITO FOTOELÉTRICO E SIMULADOR

Entre os simuladores disponíveis na plataforma PhET encontra-se o simulador Efeito Fotoelétrico que, como o próprio nome sugere, simula o fenômeno do efeito fotoelétrico, de forma visual a partir de uma experimentação virtual e interativa cercada de variáveis manipuláveis pelo usuário.

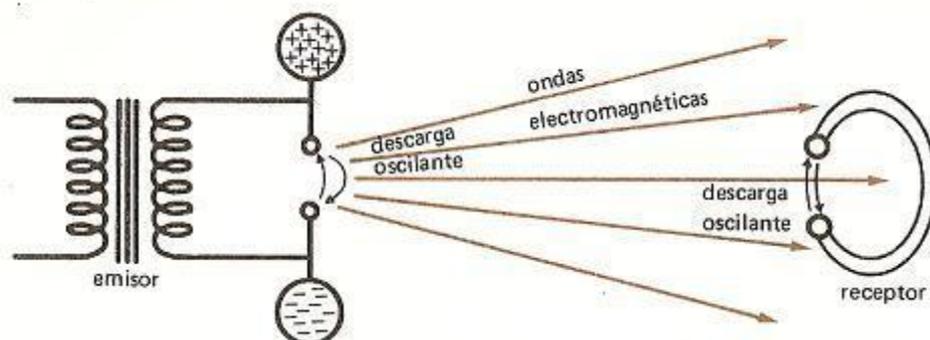
2.3.1 O Efeito Fotoelétrico

Ao incidirmos uma luz de frequência suficientemente alta sobre algum metal, elétrons serão ejetados deste com uma energia cinética diretamente proporcional a essa frequência. Esse fenômeno é denominado efeito fotoelétrico e possui diversas aplicações em nosso cotidiano (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009, p. 188).

Foi em 1887 que o físico alemão Heinrich Hertz observou pela primeira vez esse fenômeno. Em seus experimentos, Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas através de um circuito sintonizado a um centelhador, que gerava as ondas, e um circuito semelhante para detectá-las, como representado na figura 3, confirmando assim a teoria ondulatória da luz de Maxwell. Durante a experimentação, ele observou maior facilidade na produção de centelhas no receptor quando este estava iluminado pela luz incidente das centelhas produzidas pelo gerador. Apesar de interferir em sua pesquisa principal, Hertz reconheceu a importância do fenômeno e o estudou durante seis meses. Ainda em 1887, após a publicação de seus resultados, outros pesquisadores contribuíram para o estudo do fenômeno e descobriu-se que ao expor uma superfície limpa a luz, partículas negativas eram emitidas do material (TIPLER, LLEWELLUN, 2014, p. 81).

Na figura 3 podemos observar que ao gerar uma descarga no emissor ondas eletromagnéticas eram emitidas, as ondas que chegavam ao receptor eram responsáveis por gerar descargas no mesmo.

Figura 3 – Ilustração do experimento de Hertz



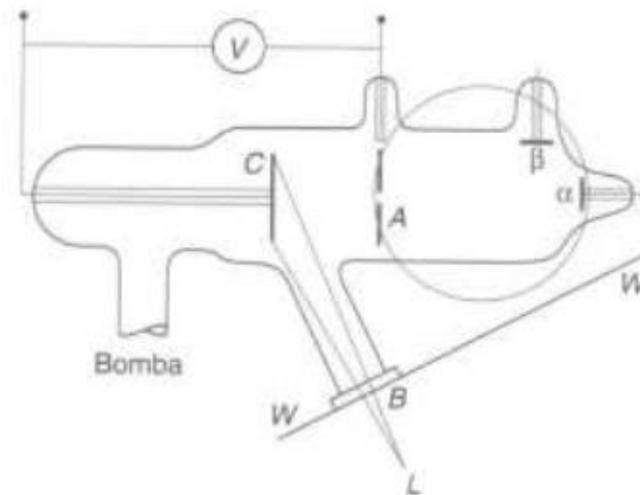
Fonte: <https://culturacientifica.com/2016/08/09/la-primera-confirmacion-experimental-la-teoria-maxwell/>

Segundo Backes (2016), esse fenômeno só viria a ser chamado da forma como é conhecido hoje em 1888 quando o físico Italiano Augusto Righi realizou um

experimento no qual percebeu que ao expor dois eletrodos a uma radiação ultravioleta estes atuavam como um par voltaico, intitulando o fenômeno de efeito fotoelétrico.

O físico alemão Philipp Lenard, que era assistente de Hertz, realizou diversos estudos sobre o efeito fotoelétrico. Em 1900, Lenard submeteu as partículas que eram emitidas a um campo magnético e descobriu que possuíam uma razão carga-massa da mesma ordem que foi observada pelo físico britânico Joseph J. Thomson em seus estudos sobre raios catódicos. Isso levou a conclusão de que as partículas emitidas eram elétrons (TIPLER, LLEWELLUN, 2014, p. 82). A figura 4 mostra uma esquematização do equipamento utilizado por Lenard em seu experimento.

Figura 4 – Ilustração do experimento de P. Lenard onde podemos observar uma fenda no anodo A por onde os elétrons passavam chegando ao campo magnético.



Fonte: TIPLER, LLEWELLUN, 2014, p. 83

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2009), outro fato observado foi que ao tornar o anodo ligeiramente negativo em relação ao catodo a energia cinética dos elétrons ejetados diminuía. Ao aumentar esse potencial negativo no anodo até que fosse possível anular a detecção de corrente no circuito foi determinado o potencial de corte V_0 , que varia conforme o material. Sendo assim, a energia cinética máxima dos elétrons ejetados era diretamente proporcional ao potencial de corte do material e a carga elementar do elétron. Sendo assim

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_0$$

Ainda com relação aos estudos de Lenard, foi observado que para uma luz de uma determinada frequência, suficientemente alta para ocasionar a ocorrência do efeito fotoelétrico em um material, independentemente da intensidade com a qual este material era iluminado não havia alteração na energia cinética máxima dos elétrons emitidos, só se observava essa alteração ao variar a frequência da luz incidente (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009, p. 188).

Na época, foi constatado que esses resultados não eram condizentes com a física clássica pois, de acordo com a teoria ondulatória da luz, o campo elétrico associado a onda eletromagnética é responsável por exercer força sobre os elétrons do material ocasionando a oscilação destes na mesma frequência da onda incidente. Dessa forma, o aumento da amplitude de oscilação dos elétrons ocasionaria a sua ejeção do material.

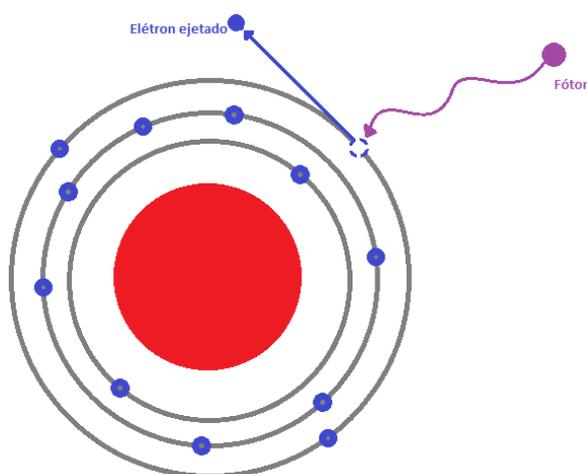
Considerando então a física clássica, ao expor um determinado material a uma luz de baixa intensidade, era esperado um certo intervalo de tempo até que o elétron acumulasse energia vibracional suficiente para ser ejetado do material enquanto que ao ser exposto a uma luz de mesma frequência porém de alta intensidade, os elétrons fossem ejetados quase que de imediato. Portanto o aumento da intensidade da onda incidente resultaria em elétrons ejetados com maior energia cinética máxima. No entanto, isso não era observado, independentemente da intensidade os elétrons eram ejetados do material imediatamente ao serem expostos a luz e com mesma energia cinética máxima (HEWITT, 2015, p. 586).

Segundo Tipler e Llewellyn (2014), uma explicação para essa divergência viria a ser proposta em 1905 pelo físico alemão Albert Einstein. De acordo com Einstein, a quantização de energia proposta por Planck no problema do corpo negro tratava-se de uma característica universal da luz. Em sua teoria, a luz era composta por quantas discretas que dependiam de sua frequência, denominados fótons, que ao atingir um material transferem toda sua energia aos elétrons deste. Dessa forma, sendo ϕ a energia necessária para arrancar um elétron da superfície do material, denominada de função trabalho e que varia com relação ao material, temos que a energia cinética máxima dos elétrons ejetados era dada por

$$eV_0 = \frac{1}{2}mv^2 = hf - \phi$$

Então, a transferência de energia da luz para os elétrons acontece de forma imediata e essa quantidade de energia é equivalente a energia hf de um único fóton, como ilustra a figura 5. Além disso, o aumento da intensidade da luz resulta no aumento da quantidade de fótons que estão sendo emitidos sobre o material e portanto mais elétrons serão atingidos, absorvendo energia e sendo ejetados, enquanto a energia cinética máxima destes permanece a mesma uma vez que a frequência não sofreu alteração (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009, p. 188).

Figura 5 – Ilustração da ejeção de um elétron após absorver a energia de um fóton.



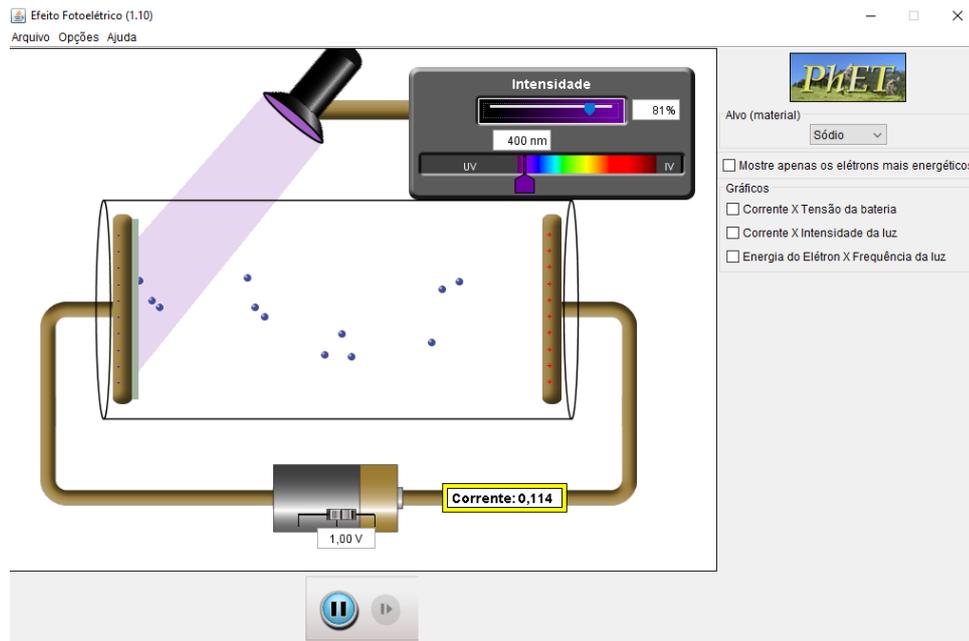
Fonte: Autoral.

Foi apenas com experimentos realizados em 1914 e 1916 pelo físico experimental estadunidense Robert Millikan que a teoria proposta por Einstein foi comprovada confirmando relação com os resultados obtidos por Planck quanto a quantização de energia. (TIPLER, LLEWELLUN, 2014, p. 83)

2.3.2 O Simulador Efeito Fotelétrico

Para a representação visual do efeito fotoelétrico o simulador faz uso de um circuito similar ao representado na figura 4, porém de forma bem mais simples. Ele é composto por uma bateria, um medidor de corrente, catodo e anodo isolados por um tudo em vácuo e uma lanterna que servirá para incidir luz no catodo. Na simulação a ocorrência do efeito fotoelétrico é observada pela ejeção de pequenas esferas azuis provenientes do catodo, que representam os elétrons, ocasionando a observação de corrente no medidor. Podemos observar o funcionamento do simulador na Figura 6.

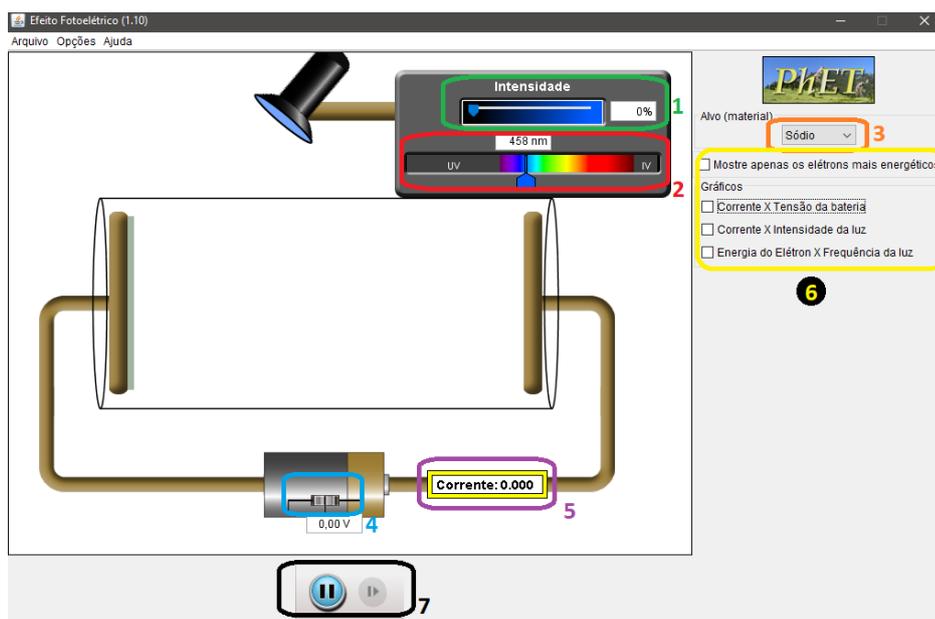
Figura 6 – O simulador Efeito Fotoelétrico.



Fonte: EFEITO FOTOELÉTRICO

O simulador possui ferramentas que permitem ao usuário alterar as variáveis que implicam diretamente no resultado visual do efeito fotoelétrico que será exibido na tela além de outras ferramentas de gráficos que auxiliam na interpretação dos resultados. Essas ferramentas estão destacadas na figura 7 e listadas em seguida.

Figura 7 – Ferramentas em destaque na simulação.

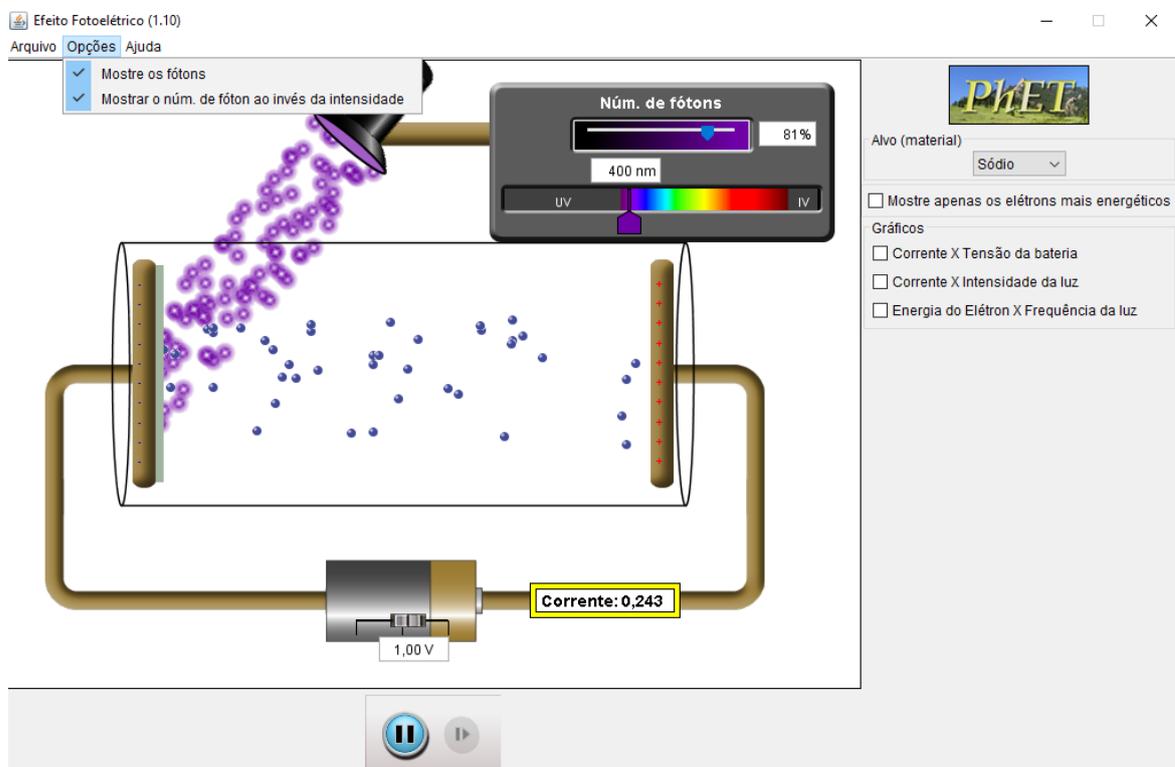


Fonte: Autoral

1. Ferramenta de manipulação da Intensidade da luz incidente sobre o material do catodo (0% a 100% da capacidade da lanterna);
2. Ferramenta de manipulação do comprimento de onda da luz incidente (100 nanômetros a 850 nanômetros);
3. Ferramenta de manipulação do material que compõe o catodo (potássio, cobre, zinco, magnésio, cálcio e sódio);
4. Ferramenta de manipulação da voltagem da bateria ligada ao circuito (de 8 a - 8 volts (V)).
5. Ferramenta visual de exibição da corrente que passa pelo circuito (medida em amperes);
6. Ferramenta visual de gráficos e comando de exclusão dos elétrons ejetados com pouca energia;
7. Ferramenta de comando de pausa e continuidade da simulação.

O simulador conta ainda com uma ferramenta que altera a forma como a luz proveniente da lanterna é exibida. Na figura 8 podemos observar que ao ativar essa opção o cone de luz contínuo passa a ser representado por pequenas esferas ilustrando-a teoricamente como fótons e possibilitando a observação da natureza corpuscular da luz no fenômeno simulado.

Figura 8 – Execução da simulação com a luz representada como fótons.



Fonte: EFEITO FOTOELÉTRICO

O simulador possui duas limitações que implicam na análise dos resultados e na sua execução, dificultando levemente a sua manipulação e compreensão. A primeira a ser destacada é a falta de escala de medição na corrente e também a baixa sensibilidade do medidor que aponta uma corrente nula quando o valor desta é menor que 0,015. A segunda limitação encontrada na falta de uma ferramenta na qual o simulador possa ser reiniciado, a única forma de fazer isso é reverter todos os comandos realizados ou encerrando o simulador e iniciando-o novamente.

2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Na teoria de Ausubel, a aprendizagem significativa se dá por meio das relações entre os novos conhecimentos que estão sendo transmitidos e os conhecimentos prévios já estabelecidos pelo indivíduo em sua estrutura cognitiva. Esta relação se dá de maneira não-arbitraria e não-literal sendo contrária a aprendizagem mecânica de memorização.

Um conhecimento construído significativamente permite que o aluno possa discutir sobre o assunto sem recorrer a instrumentos auxiliares ou apresentar conceitos memorizados, demonstrando uma própria versão do tema, construída por meio da absorção e assimilações de conhecimentos. Assim, aprender significativamente proporciona a capacidade de transmitir esse conhecimento próprio construído para outros. Moreira (1999), em suas discussões sobre a assimilação de conhecimentos segundo a aprendizagem significativa, apresenta que a assimilação de novos conceitos com os já existentes no cognitivo ocasiona a modificação de ambos, criando um novo conceito que abrange ambos os conhecimentos.

Esse novo conceito construído é próprio de cada aluno e evidencia o aprendizado do mesmo. Por exemplo, ao estudar o efeito fotoelétrico o aluno pode assimilar os novos conceitos com os já existentes no seu cognitivo quanto a absorção e quantização de energia dos elétrons de um átomo. Uma vez o novo conceito construído, o aluno pode discutir como o fenômeno ocorre de forma macroscópica, a partir da incidência de luz sobre um material, e de forma microscópica, a partir da absorção da energia proveniente da luz pelos elétrons.

De acordo com Ausubel, o material a ser utilizado para o ensino que busca uma aprendizagem significativa deve condicionar esta aprendizagem. Chamado de material potencialmente significativo, é aquele que é “[...] relacionável (ou

incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e não-literal.” (MOREIRA, 1999, p. 156).

Ao utilizar um programa de simulações em uma aula de física, o objetivo é que os alunos sejam envolvidos em um ambiente intuitivo que proporcione a investigação e a descoberta, forneça interatividade e tornar visível o que não é, fugindo do tradicionalismo, da arbitrariedade e do literal, proporcionando a liberdade de investigação por meio das ferramentas do programa.

Essa metodologia pode se apresentar potencialmente significativa, porém, vale lembrar que no momento em que o professor faz utilidade desta de uma forma simplesmente expositiva, ele está apenas mascarando o tradicionalismo e promovendo um aprendizado mecânico.

Ausubel diz ainda que uma outra condição para que aconteça uma aprendizagem significativa “[...] é que o aprendiz manifeste uma disposição para relacionar de maneira substantiva e não-arbitrária o novo material potencialmente significativo [...]” (MOREIRA, 1999, p. 156). Dessa forma, o aluno deve estar disposto a fazer assimilações dos novos conceitos com os previamente estabelecidos em seu cognitivo, de forma lógica, caso contrário, o aprendizado torna-se mecânico e de memorização.

Com relação a essa aprendizagem, Ausubel apresenta três tipos de aprendizagem significativa que podem ser construídas pelo aluno, a aprendizagem representacional, de conceitos e a proposicional. A aprendizagem representacional é a mais comum e se dá na inclusão de significados a símbolos. A aprendizagem de conceitos se assemelha a aprendizagem representacional, porém, nesta são atribuídos abstrações dos conceitos aos quais os significados se referem. A aprendizagem proposicional consiste em aprender mais que os conceitos ou significados, é propor algo além destes já elaborados (MOREIRA, 1999).

Descrevendo uma argumentação de Ausubel em relação à busca de evidências da construção de uma aprendizagem significativa, Moreira (1999) diz:

Ele argumenta que uma longa experiência em fazer exames faz com que os estudantes se habituem a memorizar não só proposições e fórmulas. Mas também causas, exemplos, explicações e maneiras de resolver “problemas típicos”. Propõe, então, que ao procurar evidências de compreensão significativa, a melhor maneira de evitar a “simulação da aprendizagem significativa” é formular questões e problemas de uma maneira nova e não familiar, que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido (MOREIRA, 1999, p. 157).

Portanto, afim de buscar resultados construtivos e evidências de compreensão significativa, se faz necessário o uso de metodologias alternativas que sejam incomuns para os alunos, fugindo do tradicional e do mecânico. Também é importante buscar metodologias que evitem a construção de uma aprendizagem que seja induzida de forma que essa aparente ser uma aprendizagem significativa.

Focando o aprendizado cognitivo do aluno por meio da participação ativa, do diálogo, da interatividade com o material e da assimilação dos novos conteúdos com aqueles já estabelecidos, a aprendizagem significativa se encaixa no tipo de aprendizagem que se procura nos programas de simulação voltados ao ensino de física.

3 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada dividiu-se em dois momentos. O primeiro momento teve como finalidade identificar as vantagens e desvantagens da utilização de simuladores como ferramenta auxiliar didática no ensino de física. Para isso foi elaborada uma aula tendo como base um dos simuladores oferecidos pela plataforma PhET. O segundo momento teve como finalidade a avaliação da produtividade da aula a partir da aplicação de um breve questionário.

A aula foi elaborada para turmas do terceiro ano do ensino médio da Escola de Referência em Ensino Médio Manoel Gonçalves de Lima situada no município de Cumaru do estado de Pernambuco. A instituição conta com duas turmas deste nível contendo em média 30 alunos em cada turma.

A apresentação do conteúdo foi realizada em duas aulas de cinquenta minutos em cada turma separadamente, enquanto a aplicação do questionário foi realizado em uma única aula de cinquenta minutos também em cada turma separadamente.

3.1 A AULA

Visando uma aula introdutória, o simulador foi selecionado a partir de sua simplicidade de comandos e execução além da fácil visualização das características do fenômeno a ser estudado, sendo esse o simulador Efeito Fotoelétrico, abordando o fenômeno sugerido pelo próprio título além de abrir espaço para discussão do comportamento dualístico da luz entre outros pequenos tópicos.

Os principais objetivos a serem alcançados, por parte dos alunos, foram a compreensão da relação de dependência do efeito fotoelétrico com as propriedades de frequência e intensidade da luz incidente sobre o material alvo e a conclusão do comportamento dualístico da luz, identificando-a como uma partícula carregada (fóton).

Inicialmente, foi realizada uma revisão básica sobre conceitos já estudados pelos alunos e que viriam a ser necessários para o entendimento do fenômeno a ser estudado como o modelo atômico de Bohr e a relação do comportamento dos elétrons neste, introduzindo assim o conceito do que ocorre com os átomos ao absorverem energia e sua liberação de energia em forma de luz. Como o simulador apresenta em suas ferramentas a manipulação do comprimento de onda da luz proveniente da

lanterna, também tornou-se necessário, para o entendimento do fenômeno, a explicação da proporcionalidade inversa entre o comprimento de onda da luz e sua frequência, além de revisar brevemente a relação entre energia cinética e velocidade.

Com a simulação sendo exibida por um projetor, permitindo a visualização ampla do simulador. A voltagem foi fixada em 1 volt e o material selecionado para o catodo foi o sódio, esses fatores foram definidos a fim de facilitar a visualização do fenômeno. A baixa tensão da bateria carrega o anodo com baixa carga positiva fazendo com que os elétrons ejetados do catodo não sofram tanta atração evitando grandes interferências na velocidade destes. Já o sódio, por ser o material de menor função trabalho disponível no simulador, possui uma maior facilidade de liberar elétrons, uma vez que necessita de acumular menos energia nestes para que possam ser ejetados do material, o que aumenta a faixa de frequência que permite que o efeito fotoelétrico ocorra.

Em seguida foi solicitado aos alunos comandos de frequência e intensidade da luz proveniente da lanterna a serem executados pelo professor, ocasionando assim diferentes ocorrências do efeito fotoelétrico. Essas ocorrências apresentavam variação na quantidade de elétrons ejetados e na energia destes, possibilitando assim a discussão dos resultados observados com relação as variações feitas.

Durante a discussão desses resultados, foi incluindo o contexto histórico de descoberta e estudo do efeito fotoelétrico e exemplos da utilização deste no cotidiano, sendo estes o uso de fotocélulas na iluminação pública e portas automáticas que são comuns em shoppings. Foi destacado ainda ao fim da aula que a simulação trabalha uma idealização do fenômeno, exclamando que a ocorrência do efeito fotoelétrico depende de condições específicas da luz incidente e do material ao qual a luz está sendo incidida.

O intuito da aula, além de transmitir conhecimento, foi observar como a metodologia baseada na utilização de simulações influencia na participação dos alunos quanto o envolvimento destes nas discussões levantadas, observar a formação de ideias durante a discussão e também o desenvolvimento dos conceitos físicos envolvidos na simulação. As partes relevantes do momento de discussão dos resultados obtidos a partir da simulação foram registradas em um caderno de laboratório para que posteriormente pudessem ser consultadas, possibilitando uma análise dos momentos discursivos vivenciados durante a aula.

3.2 O QUESTIONÁRIO

Após um período de 15 dias desde a apresentação do conteúdo na aula, sem que tenha ocorrido em nenhum momento um aviso prévio sobre qualquer tipo de avaliação, o questionário foi apresentado e aplicado as turmas. O intuito desta condição foi evitar que os alunos reproduzissem de forma automática o que haviam acabado de observar na aula e também evitar alguma preparação para o questionário.

O questionário é composto por seis questões das quais quatro são fechadas e tratam de características básicas sobre o que foi apresentado em aula. Essas questões apresentam alternativas como objetivo facilitar a recordação do que foi observado em aula e estão apresentadas a seguir na tabela 4.

Tabela 4 – Questões fechadas do questionário

Questão	Enunciado	Alternativas
Primeira	Em seus estudos, Hertz observou em seus experimentos sobre raios catódicos que a luz auxiliava na produção de centelhas. Esse fenômeno foi denominado de efeito fotoelétrico e é caracterizado	(1) Pela ejeção de elétrons de um determinado material quando exposto a luz. (2) Pela vibração causa pelas ondas eletromagnéticas nos elétrons de um material. (3) Pelo deslocamento dos átomos pela matéria. (4) Pela multiplicação de elétrons no material.
Segunda	De acordo com Lenard, assistente de Hertz, a energia cinética dos elétrons variava com:	(1) A variação da intensidade da luz incidente. (2) A variação da frequência da luz incidente. (3) A variação da temperatura do material alvo. (4) A variação da potência da bateria.
Terceira	Ao variarmos a intensidade da luz incidente sobre o material, foi observado que:	(1) A quantidade de elétrons variava proporcionalmente sem que a energia destes fosse alterada. (2) A energia dos elétrons aumentava e mais elétrons eram ejetados do material. (3) Os elétrons paravam de ser ejetados. (4) Não ocorria alteração alguma.

Quarta	De acordo com o que foi proposto por Einstein em seus estudos sobre o efeito fotoelétrico e que também foi observado durante a simulação em aula, como a luz se comporta nesse fenômeno:	<ul style="list-style-type: none"> (1) Como um laser. (2) Como onda eletromagnética. (3) Como uma partícula de energia. (4) Como um flash.
--------	--	--

Fonte: Autoral

A primeira questão apresenta um breve contexto histórico que foi visto na aula anterior e questiona sobre a definição básica do efeito fotoelétrico. A segunda questão, que também envolve uma parte do contexto histórico apresentado em aula, questiona sobre as conclusões observadas na simulação quanto aos efeitos da variação da frequência da luz incidente sobre o material do catodo. A terceira questão, também relacionada ao mesmo contexto histórico da segunda questão, questiona-se os efeitos da variação da intensidade da luz incidente sobre o material alto. Por fim a quarta questão, novamente acompanhada do contexto histórico observado na aula, questiona o que foi concluído quanto o comportamento da natureza da luz.

O fato de as questões se apresentarem acompanhadas de pequenas passagens do contexto histórico que envolve o fenômeno está relacionado a facilitar a recordação do que foi estudado, além de ser importante para a construção do conhecimento do aluno.

As demais questões são abertas e relacionam o conteúdo com o cotidiano dos alunos tendo como objetivo identificar se houve alguma ligação entre o que foi estudado e o dia a dia dos alunos. Podemos observá-las na tabela 5.

Tabela 5 – Questões abertas do questionário.

Questão	Enunciado
Quinta	O efeito fotoelétrico é utilizado em diversas tecnologias que vemos no dia a dia, uma delas é a geração de energia através de painéis solares. Explique de forma breve como isso ocorre baseando-se no que foi observado na simulação.
Sexta	Cite outros exemplos de tecnologias que fazem uso do efeito fotoelétrico em seu funcionamento.

Fonte: Autoral

A quinta questão busca a argumentação do funcionamento de placas solares a partir do que foi estudado e observado em aula com auxílio da simulação. Enquanto a sexta e última questão tem como objetivo identificar se houve por parte do aluno relação do que foi estudado com o seu cotidiano a partir da apresentação de novos exemplos da utilização do efeito fotoelétrico, diferentes daqueles vistos durante a aula.

O questionário foi respondido individualmente, porém foi permitida a interação entre os alunos, valorizando o diálogo e a discussão com o intuito de estimular a troca de informações sobre o conteúdo.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Os resultados a serem apresentados serão divididos separadamente a partir da discussão gerada durante a aula e a partir das respostas dos questionários respondidos pelos alunos. As turmas serão referenciadas nos resultados como turma A e turma B enquanto os alunos de cada turma serão referenciados por Aluno seguido de um número e a letra a qual turma pertence, como por exemplo Aluno 2B, referindo-se a um determinado aluno da turma B.

4.1 AS DISCUSSÕES

Foi por meio de questionamentos que relacionavam os comandos executados com o que era possível observar na simulação que se deu início a alguns momentos de discussão durante a aula. Nesses momentos os alunos foram capazes de apontar características básicas do efeito fotoelétrico e compreender sua dependência com as propriedades da luz incidente.

Com relação a variação da intensidade da luz no simulador mantendo fixa a frequência desta, alguns argumentos foram levantados pelos alunos das duas turmas. Os argumentos mais condizentes com a simulação estão tabelados a seguir na tabela 6.

Tabela 6 – Argumentos levantados quanto a dependência da intensidade da luz no efeito fotoelétrico.

Aluno	Argumentos
Aluno 1A	Aumentando a intensidade mais elétrons saem.
Aluno 2A	Ao aumentar a intensidade da luz a quantidade de elétrons ejetados aumenta.
Aluno 1B	Aumentando a intensidade, aumenta a quantidade de elétrons.
Aluno 2B	A corrente aumenta quando aumentamos a intensidade.

Fonte: Autoral

A observação do aumento da ejeção de elétrons do material à medida que a intensidade da luz proveniente da lanterna aumentava era facilmente perceptível uma

vez que a frequência da luz era suficientemente alta para ocasionar o efeito fotoelétrico no sódio. Isso foi observado pelas duas turmas.

Ao serem realizadas as variações de frequência no simulador, mantendo fixa a intensidade da luz, novos argumentos foram apresentados pelos alunos. Novamente, os argumentos mais condizentes com o fenômeno simulado estão tabelados a seguir da tabela 7.

Tabela 7 – Argumentos levantados quanto a dependência da frequência da luz no efeito fotoelétrico.

Aluno	Argumentos
Aluno 1A	Diminuindo a frequência diminui a saída de elétrons.
Aluno 3A	Aumentando a frequência aumenta a velocidade das “bolinhas”.
Aluno 2B	Se diminuir a frequência da luz, os elétrons diminuem.
Aluno 3B	Aumentando a frequência a velocidade dos elétrons aumenta.
Aluno 1B	Os elétrons só saem a partir de uma certa frequência.

Fonte: Autoral

Das observações feitas pelos alunos de ambas as turmas, a frequência estava relacionada a velocidade e quantidade de elétrons ejetados. Alguns alunos também associaram essa variação de frequência a cor da luz, porém de forma não construtiva, em um tom cômico, desconsiderando conceitos físicos envolvidos.

Após a apresentação desses argumentos a dependência do efeito fotoelétrico com a intensidade e frequência da luz foi explicado de forma mais abrangente, destacando maiores detalhes incluindo o contexto histórico que envolvia o fenômeno, sua descoberta, seus estudos e a discordância com a física clássica.

Os alunos foram então questionados sobre o comportamento da luz e essa discordância com a física clássica e, a partir de mediação, por meio de perguntas que questionavam a transferência de energia entre a luz e os elétrons do material, algumas hipóteses foram levantadas.

Os questionamentos feitos enfatizavam a ejeção quase que imediata dos elétrons após a iluminação do catodo na simulação. A resposta para o problema levantado veio dos alunos da turma A de forma rápida a partir das seguintes analogias apresentadas na tabela 8.

Tabela 8 – Hipóteses apresentadas quanto o comportamento corpuscular da luz pela turma A.

Aluno	Hipóteses
Aluno 4A	Como um carro em movimento batendo em outro parado.
Aluno 5A	O carro parrado ganha energia cinética.
Aluno 1A	Ela vai como uma pedra jogada com muita força.

Fonte: Autoral

Dessa forma, a transferência de energia acontece como uma colisão entre corpos sendo transferida do corpo aparentemente em movimento com maior velocidade para o corpo em movimento com menor velocidade após o contato na colisão.

Na turma B a construção do comportamento da luz se deu mais lentamente apresentando os seguintes argumentos da tabela 9.

Tabela 9 – Hipóteses apresentadas quanto o comportamento corpuscular da luz pela turma B.

Aluno	Hipóteses
Aluno 2B	O tempo que o elétron leva para carregar está errado.
Aluno 4B	A luz está indo em linha reta.
Aluno 2B	Como um “raio” de energia.
Aluno 4B	Assim o elétron recebe energia mais rápido.

Fonte: Autoral

Os argumentos apresentados foram construtivos para que os alunos chegassem a uma conclusão, tomando a luz como algo que transportasse grande quantidade de energia de forma concentrada. Por fim o Aluno 5B exclamou que a luz se comportava como uma partícula de energia.

Com essas conclusões a proposta feita por Einstein foi apresentada aos alunos, trazendo o conceito de fóton e como ocorria a transferência de energia deste para o elétron. Com isso, a aula foi redirecionada para a simulador, configurando a luz da lanterna como fótons e explicando a relações entre intensidade e quantidade de fótons e frequência da luz e energia dos fótons. Também foi discutida a natureza dualística de comportamento ondulatório e de partícula de energia quantizada da luz.

4.2 A RESOLUÇÃO DO QUESTIONÁRIO

O questionário foi respondido por 56 alunos, sendo 25 da turma A, 31 da turma B. Na tabela 10 podemos observar a quantidade de acertos por turma das quatro primeiras questões.

Tabela 10 – Acertos das questões 1, 2, 3, e 4 nas turmas A e B.

Questão	Respostas corretas. Turma A	Porcentagem de acertos. Turma A	Respostas corretas. Turma B	Porcentagem de acertos. Turma B
1º Questão	24	96%	31	100%
2º Questão	19	76%	26	84%
3º Questão	18	72%	20	65%
4º Questão	23	92%	29	94%

Fonte: Autoral

Podemos observar que a maioria dos alunos responderam corretamente as questões. A maior quantidade de acertos estão identificados na primeira e quarta questões, enquanto a menor quantidade de acertos em ambas as turmas encontra-se na terceira questão. No entanto, os erros identificados na terceira questão podem estar associados a semelhança das afirmações contidas nas alternativas 1 e 2, ambas as alternativas afirmam que o aumento da intensidade da luz afeta diretamente no aumento da quantidade de elétrons ejetados, no entanto a alternativa 1 nega que a alteração influencia na variação de energia dos elétrons enquanto a alternativa 2 afirma essa informação.

As outras duas questões relacionadas ao cotidiano mostraram respostas semelhantes entre os alunos. Analisando as respostas obtidas na quinta questão podemos, para a turma A, dividi-las em seis diferentes explicações para o processo de geração de energia a partir de painéis solares. Essas explicações foram as seguintes.

- “Os painéis solares absorvem a luz e a transformam em energia. Quanto maior a absorção de luz, maior é a quantidade de energia, ou seja, de elétrons.”
- “O sol, fonte de luz incidente sobre os painéis, faz com que os elétrons do painel se carreguem e se desprendam sendo ejetados do painel. Esse processo cria uma liberação de energia que é absorvida por um transformador e é transformada em energia elétrica.”
- “A luz do sol bate nos painéis fazendo com que os elétrons entrem em movimento da placa negativa para a positiva, gerando assim energia elétrica.”
- “O sol emite luz, que faz com que os elétrons saltem do material gerando corrente elétrica, ou seja, energia.”
- “Para a formação de energia, o sol bate nas placas solares formando partículas de elétrons que são armazenadas em uma bateria.”
- “A luz atinge a placa fazendo com que os elétrons sejam ejetados do material criando uma corrente elétrica.”

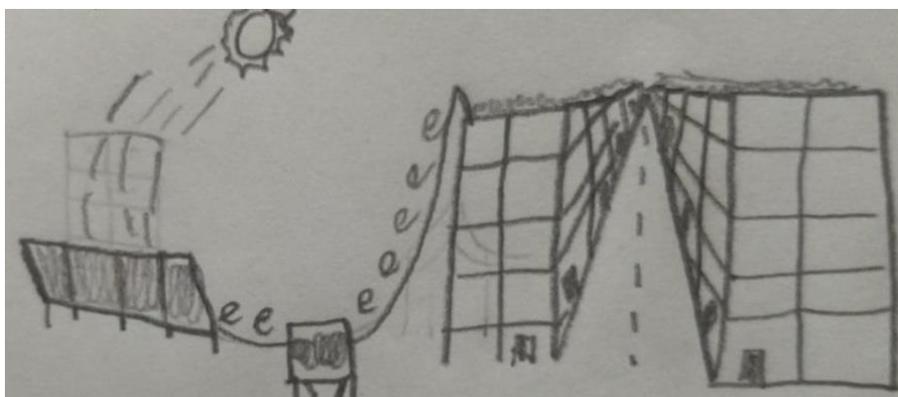
Enquanto que para a turma B, podemos dividir as respostas em 8 diferentes explicações para o funcionamento dos painéis solares. Estas explicações foram as seguintes:

- “O sol mandaria luz para o material dos painéis fazendo com que sejam ejetados elétrons.”
- “A geração de energia ocorre quando a luz do sol bate no material como uma partícula de energia.”
- “A luz que bate no material eletronegativo faz com que elétrons migrem para o objeto carregado positivamente.”
- “O sol lança raios de luzes até a placa solar que contém elétrons fazendo com que eles sejam ejetados do material e assim gerando energia.”
- “Quando a luz bate no painel ele automaticamente enviara partículas de energia a corrente elétrica.”
- “Quando a luz do sol atinge os painéis solares, a luz bate no material como uma partícula de energia acontecendo a liberação de elétrons.”

- “Joga o fotoelétrico para a placa negativa, passando para a positiva, formando uma corrente e gerando energia.”

A última explicação foi apresentada em forma de desenho e está representada na figura 9. No desenho, segundo o aluno, podemos observar o sol iluminando um painel solar, o processo gera corrente que passa por um fio até uma espécie de bateria que armazena a energia e a envia para a cidade.

Figura 9 – Ilustração do funcionamento de uma placa solar feita por um aluno como resposta da quinta questão.



Fonte: Autoral.

Para essas respostas podemos destacar que os alunos, em suas assimilações com o estudo do efeito fotoelétrico, tomaram o sol como fonte de luz e energia que reage com os elétrons das placas solares ocasionando liberação destes e assim gerando energia. Das respostas mais completas podemos destacar a segunda resposta dos alunos da turma A, na qual os alunos incluem a utilização de transformadores do processo e também a ilustração apresentada na figura 9, onde podemos ver a inclusão de uma bateria no processo.

Outras respostas se apresentam mais simplificadas, onde a explicação se restringe apenas a liberação de elétrons devido a iluminação das placas solares, lembrando de forma básica a simulação trabalhada em aula. Nessas respostas também é possível notar alguns equívocos e erros conceituais, por exemplo na quinta resposta da turma A, onde podemos notar o erro na afirmação de que o sol é responsável por formar elétrons ou na sétima resposta apresentada pela turma B, onde é possível observar a falta de informações e a utilização do termo fotoelétrico para representar fótons e elétrons como uma mesma partícula.

Tratando da sexta questão, foi possível observar uma grande repetição dos exemplos apresentados durante a aula anterior, mas outros exemplos foram apresentados quanto a utilização do efeito fotoelétrico no funcionamento de equipamentos como máquinas de raio-X, controle remoto de aparelhos eletrônicos, óculos de visão noturna, sensores de movimento incluindo sistemas automáticos de iluminação e secadores de mão e de unha em gel.

Ao relacionarem o funcionamento do controle remoto e de máquinas de raio-X ao efeito fotoelétrico os alunos fizeram relações equivocadas, porém que não estão totalmente erradas. Com relação ao exemplo do controle remoto, o efeito fotoelétrico se encontra associado ao receptor de sinais destes controles, que capta as ondas eletromagnéticas de infravermelho produzidas pelo controle e identificando, a partir do efeito fotoelétrico, o comando solicitado.

Outro exemplo importante citado que relaciona a questão anterior foi o funcionamento de satélites que dependem do o efeito fotoelétrico para seu funcionamento. Nas palavras do aluno “o satélite recebe luz do sol para carregar suas baterias e funcionar frequentemente mandando informações para terra”.

Ainda com relação as respostas apresentadas na quinta e sexta questão, foi possível observar que os alunos levantaram evidências que apontam para a existência de uma interação entre a luz e a matéria.

5 CONCLUSÃO

Considerando os dados obtidos nesse trabalho, a utilização da simulação no ensino de física como uma ferramenta potencialmente significativa, mostrou-se de fato eficiente, trazendo interação entre professor e aluno e também entre os próprios alunos. Foi discutindo o fenômeno físico durante a aula a partir da sua investigação e observação na simulação que os alunos envolvidos argumentaram sobre o que é, basicamente, o efeito fotoelétrico, quais são suas dependências com relação a luz incidente sobre o material alvo e sua importância para o avanço da ciência e da tecnologia.

Durante as falas apresentadas pelos alunos nos momentos discursivos, foi possível notar afirmações concretas com relação ao fenômeno observado, uma vez que a representação deste por parte do simulador era simples e clara para os alunos, mesmo tratando-se de um estudo da física moderna. Desse modo, o fato de uma simulação computacional proporcionar uma representação detalhada de um determinado fenômeno, bem como as grandezas que o envolvem, pode facilitar a compreensão e o aprendizado deste.

É possível identificar evidências de uma aprendizagem significativa construída pelos alunos em suas respostas nos questionários. As respostas apresentadas nas primeiras quatro questões mostram que a maioria dos alunos foram capazes de recordar as características e conceitos básicos do efeito fotoelétrico vistos em aula. Além disso, nas respostas da quinta questão, algumas mais completas e outras mais simples, podemos observar a associação destas características ao funcionamento das placas solares, demonstrando uma assimilação dos conceitos que foram estudados.

Enquanto aos exemplos citados na sexta questão, estes demonstram a associação do fenômeno estudado e dos exemplos vistos em aula com outras tecnologias presentes no cotidiano dos alunos. Suas respostas apontam indícios de uma aprendizagem significativa proposicional do conteúdo, uma vez que eles criaram assimilações do conceito estudado com outros conceitos presentes em seus cognitivos relacionados aos seus cotidianos, propondo então esses novos exemplos.

No entanto, também foi evidente que mesmo a metodologia empregada ter se tratado de uma ferramenta potencialmente significativa, houve o desinteresse de uma parte dos alunos, não participando das discussões, além de em seus comentários tratarem a simulação como uma simples animação, dispensando os significados

físicos presentes nesta. Pode-se apontar ainda que a pouca ou falta de intimidade entre o pesquisador e os alunos acarreta dificuldade do diálogo e da troca de informações, o que conseqüentemente também implica na falta da participação ativa do aluno na aula.

É importante destacar que uma simulação computacional não substitui uma atividade experimental prática. A experiência de contato com a realidade sempre é de enorme contribuição para a formação básica, permitindo o estudo prático da física, tornando muito mais perceptível a aplicabilidade dos estudos na realidade bem como suas limitações. No entanto, como já foi citado anteriormente, a utilização de simulações pode sim ser vantajosa com relação ao fato de não necessitar de um espaço físico laboratorial, não possuir altos custos financeiros e também com relação ao fato de poder tornar visível fenômenos físicos que normalmente não podem ser observados em um experimento real.

Também é fato que, Independentemente de qual seja a metodologia de ensino utilizada durante a aula, sempre haverá a falta de participação de alguns alunos. Com isso, é indispensável para um professor a atitude de renovar e variar as metodologias de ensino que utiliza em suas aulas, evitando sempre insistir no mesmo método, buscando fazer com que os alunos participem da aula, melhorando assim seu aprendizado.

Porém, existem inúmeros desafios que impedem e dificultam o trabalho dos professores de elaborar novas metodologias, escolas inflexíveis, falta de equipamentos, falta de tempo para elaborar novas atividades, falta de capacitação dos professores e inclusive inflexibilidade dos próprios professores são problemas que inibem a pluralização das metodologias de ensino, não só de Física, mas de todas as disciplinas em geral.

Por outro lado, o estudo das metodologias de ensino nas faculdades tem tomado o papel de proporcionar o conhecimento e o estudo de um grande leque de possibilidades metodológicas, enriquecendo a formação dos novos profissionais de educação, professores e gestores, amadurecendo e incentivando a participação ativa do aluno no ato de ensinar e aprender. Portanto, a utilização dessas metodologias alternativas devem continuar sendo estudadas e pesquisadas no ambiente acadêmico de forma profunda a fim de compreender seus impactos e contribuições no processo de ensino e aprendizagem.

REFERÊNCIAS

BACKES, N. A. C. **Ensino do Efeito Fotoelétrico com o uso das Tecnologias**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação na Cultura Digital) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2016.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São Paulo: Contexto, 2002, 389p.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à engenharia**. Editora da UFSC, Florianópolis, 6 ed., 2003.

BONILLA, M. H. S. Concepções do Uso do Computador na Educação. **Espaços da Escola**, v. 4, n. 18, p. 59-68, 1995.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Departamento de Articulação e Desenvolvimento dos Sistemas de Ensino. **Informática aplicada à educação**. Brasília, 2007.

CAMPOS, B. O. **Utilização de Simulações Computacionais no Ensino de Física, na Área da Termologia**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2017.

CARRARO, F. L.; PEREIRA, R. F. O uso de Simuladores Virtuais do phet como Metodologia de Ensino de Eletrodinâmica. **Cadernos PDE**, Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE, v. 1, 2014. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_francisco_luiz_carraro.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2019.

COELHO, R. O. **O Uso da Informática no Ensino de Física de Nível Médio**. 2002. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2002.

CRUZ, A. G. A inserção de tablets em escolas da rede Pública Estadual na cidade de Petrolina-pe: uma percepção dos educadores e educandos. **REVASF**, v. 4, n. 6, p. 06-26, Pernambuco, 2013.

EFEITO FOTOELÉTRICO. In: **Phet Interactive Simulations**. University of Colorado Boulder. Disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>. Acesso em 22 set. 2019.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no Computador: o computador como ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 259-272, São Paulo, 2003.

GARCIA, F. W. A importância do uso das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. **Educação a Distância**, Batatais, v. 3, n. 1, p. 25-48, 2013.

GRANDO, J. **Adaptação**: o contraste entre o ensino tradicional e a interferência da era digital no processo de ensino. UNOCHAPECO, 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8 ed., vol. 4, Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HARRELL, et al. **Simulação otimizando os sistemas**. São Paulo: Instituto IMAM, 2002.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

LAPA, J. M. **Laboratórios virtuais no ensino de física**: Novas veredas didático-pedagógicas. 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2008.

MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. 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.

MACÊDO, J. A. **Simulações Computacionais como Ferramenta Auxiliar ao Ensino de Conceitos Básicos de Eletromagnetismo**: elaboração de um roteiro de atividades para professores do ensino médio. 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Programa de Pós-graduação Stricto sensu, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

MAGALHÃES, M. S. **Computador na Escola como Ferramenta Pedagógica para o Processo de Ensino Aprendizagem**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Coordenação Pedagógica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MARTINS, K. S.; SILVA, E. S.; BEZERRA, L. M. **A prática do professor tradicional**. V CONEDU, 2018.

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, p. 77-86, São Paulo, 2002.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

MOREIRA, M. A. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. In: MOREIRA, M. A. **Teorias da aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999, p. 151-165.

OLIVEIRA, R. **Informática Educativa: dos planos e discursos à sala de aula**. Papirus, São Paulo, 1997.

RIBAS, S. C. Tecnologias e Práticas Educativas: o uso do computador na escola como recurso pedagógico. **Cadernos PDE**, Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE, v. 1, 2013. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2013/2013_utfpr_ped_artigo_selma_carneiro_ribas.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2019.

ROCHA, A. R.; CAMPOS, G. H. B. Avaliação da Qualidade de Software Educacional. **Em Aberto**, v. 12, n. 57, Brasília, 1993.

ROSA, P. R. S. O Uso de Computadores no Ensino de Física. Parte i: potencialidades e uso real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.17, n. 2, p. 182-195. São Paulo, 1995.

SILVA, D. M.; TAVARES, C. V. F.; SILVA, A. M. **O uso da tecnologia como meio auxiliar para o ensino da física: uma abordagem geral sobre sua importância e possibilidades**. Congresso Internacional de Educação e Tecnologias, Encontro de Pesquisadores Em educação a Distância, 2018.

SILVA, J. F. D. **O ensino de estratégias de leitura no Programa Aluno Conectado: o caso de um docente de Língua Portuguesa**. 2014. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Tecnológica) - Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Tecnológica, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2014.

SOUZA, G. M. R. **Uso de Simulações Computacionais no Ensino de Conceitos de Força e Movimento no 9º Ano do Ensino Fundamental**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2015.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

VALENTE, J. A. Diferentes Usos do Computador na Educação. **Em Aberto**, v. 12, n. 57, p. 13-56, Brasília, 1993.

APÊNDICE A: PLANO DE AULA ELABORADO

PLANO DE AULA: Investigação do Efeito Fotoelétrico a partir de simulação computacional.

1. IDENTIFICAÇÃO

Escola: EREM Manoel Gonçalves de Lima

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 2 aulas

Série: 3º ano

Ano: 2019

Professor (a): Manoel Pereira Neto

2. Objetivo geral

Compreender o efeito fotoelétrico a partir da investigação do fenômeno por meio de simulação computacional.

3. Objetivos específicos

Observar as características do efeito fotoelétrico quanto a intensidade e a frequência da luz incidente sobre o material.

Concluir que a luz possui um comportamento dualístico de onda e partícula introduzindo o conceito de fóton.

4. Conteúdo programático

Dualidade da luz;

Frequência;

Intensidade;

Energia;

Efeito fotoelétrico;

5. Metodologia

A aula será dividida basicamente em três momentos, revisão de alguns conceitos necessários para o entendimento da simulação, utilização da simulação por parte do professor juntamente com os alunos e discussão e conclusão das características do fenômeno observado.

5.1. Revisão

Inicialmente, de forma breve, deverão ser revisados conceitos e características básicas do modelo atômico de Bohr, principalmente quanto as características dos elétrons, a relação entre frequência e comprimento de onda, energia cinética e sua relação com velocidade.

5.2. A simulação: passo a passo

A próxima etapa trata-se da utilização do simulador Efeito Fotoelétrico, produzido pelo programa PhET da Universidade de Colorado Boulder, disponível em:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric

A simulação ilustra o efeito fotoelétrico emissivo tradicional e conta com comandos que permitem controlar como o fenômeno ocorre.

Os comandos disponíveis que podem interferir nos resultados a serem observados na simulação são:

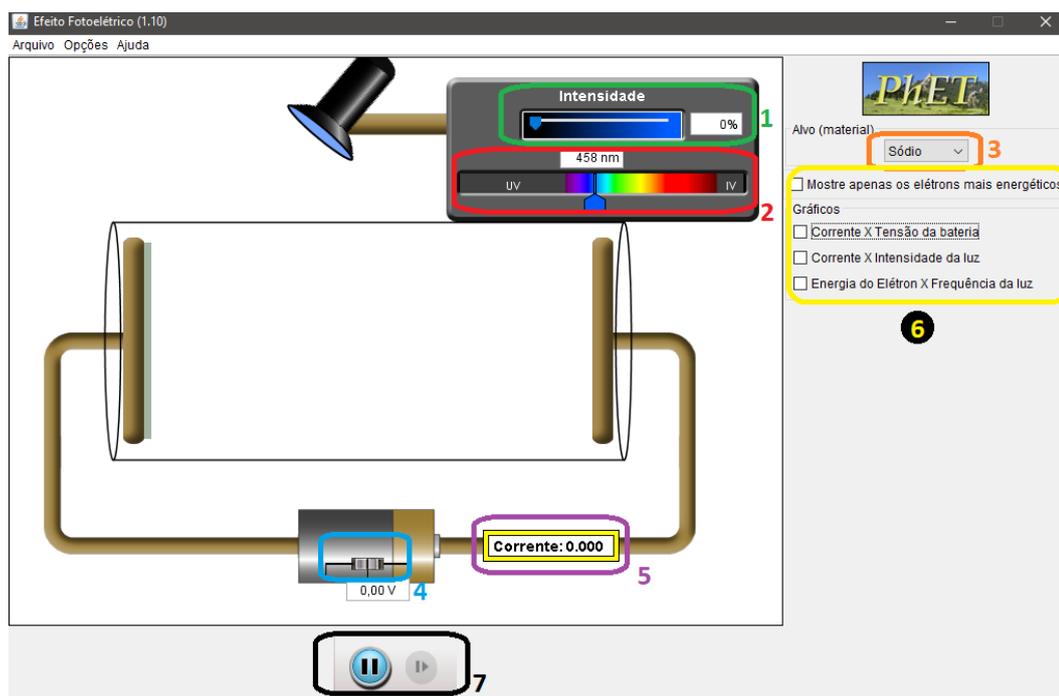
1. Intensidade da luz incidente sobre o material (0% a 100% da capacidade da lanterna);
2. Comprimento de onda da luz incidente (100 nm a 850 nm);
3. O material alvo ao qual a luz incidirá (potássio, cobre, zinco, magnésio, cálcio e sódio);
4. Voltagem da bateria (de 8 a -8 volts (V)).

O simulador ainda conta com os seguintes comandos auxiliares e recursos visuais que fornecem algumas informações:

5. Corrente no circuito;
6. Gráficos e comando de exclusão dos elétrons ejetados com pouca energia;
7. Comando de pausa e continuidade da simulação.

Esses comandos da simulação estão marcados na imagem a seguir.

Imagem 1: Comandos disponíveis na simulação.



Fonte: Autoral

Durante a utilização do simulador na aula, a voltagem da bateria deverá ser fixada em 1V e o material alvo selecionado deve ser o sódio (material com menor eletronegatividade dentre as opções) para facilitar a observação do efeito fotoelétrico.

A simulação deve então ser exibida em projeção e o professor deve realizar os comandos de intensidade e comprimento de onda que serão solicitados pelos alunos.

Os efeitos resultantes desses comandos devem ser observados e as discussões devem ser iniciadas e mediadas pelo professor a partir de questionamentos norteadores. É importante pontuar durante a aula e a cada passo da investigação o contexto histórico que envolve as descobertas.

5.3. Discursão e conclusão

De início o professor deve discutir o experimento realizado por Heinrich Hertz em 1887 destacando sua observação quanto a maior facilidade na produção de centelhas quando o cátodo era exposto a luz, fato esse que deu início a descoberta e aos estudos do efeito fotoelétrico.

Após esse momento, a simulação pode ser iniciada, o que dará início a apresentação do efeito fotoelétrico. O Professor deve questionar o que está acontecendo estimulando os alunos a argumentar sobre o que é o efeito fotoelétrico.

É importante pontuar que até então, não havia consentimento de que as partículas ejetadas eram elétrons e que essa afirmação só foi observada em 1900 pelo assistente de Hertz, P. Lenard em seus estudos sobre o fenômeno.

Iniciando as variações de intensidade e frequência, o professor deve estimular a discussão a partir de questionamentos que busquem nas respostas dos alunos os efeitos de velocidade e quantidade de elétrons ejetados, deixando claro a dependência do fenômeno com a intensidade e frequência da luz incidente.

Possíveis questionamentos a serem levantados:

- Ao variar a intensidade da luz, houve alguma alteração no fenômeno?
- O que foi observado ao variar a frequência da luz?
- O que ocorre com os elétrons que estão sendo ejetados a medida que a frequência aumenta?

Uma vez que as características do efeito fotoelétrico estiverem concretizadas o professor deverá pontuar novamente os estudos feitos por Lenard e explicar o fenômeno classicamente, tratando a luz como uma onda eletromagnética e questionar por que os resultados esperados pela teoria clássica diferem dos observados na simulação questionando o tempo de ejeção dos elétrons a partir do momento em que o material é exposto a uma luz.

O professor deverá então criar novos questionamentos que ajude os alunos a perceber o comportamento da luz como uma partícula e ao atingir o objetivo explicar que tal comportamento foi proposto por Einstein em 1905 baseado nos estudos de Planck e assim introduzir o conceito de fóton (luz como partícula de energia), explicando assim a relação entre a frequência e a energia dos elétrons ejetados e a comprovação da proposta de Einstein feita por Millikan em 1914 e 1916.

Possíveis questionamentos a serem levantados:

- Na simulação, ao incidir luz de baixa frequência sobre o material, foi observado algum intervalo de tempo significativo até a ejeção do primeiro elétron?
- O que pode estar acontecendo para que a ejeção seja praticamente imediata?
- Se a energia é transferida aos elétrons de imediato significa que a luz não é ou não se comporta como uma onda eletromagnética, então como a luz está se comportando?

O programa pode voltar a ser utilizado para simular o fenômeno nas devidas condições auxiliando o entendimento do comportamento da luz como partícula como foi proposto por

Einstein. E por fim, pode-se apresentar algumas tecnologias encontradas no cotidiano que utilizam

6. Avaliação

A avaliação será contínua presando a participação dos alunos. Após cerca de duas semanas, a fim de evitar uma repetição automática do que foi visto na aula, um questionário deverá ser aplicado a fim de avaliar o aprendizado, se a metodologia realmente produziu aprendizagem.

7. Bibliografias

HEWITT, P. G. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN R. A. **Física Moderna**. 6 Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2001.

APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO

EREM MANOEL GONÇALVES DE LIMA

Efeito Fotoelétrico – Questionário de
avaliação da metodologia.

Aluno:

Quanto ao efeito fotoelétrico responda:

Em seus estudos, Hertz observou em seus experimentos sobre raios catódicos que a luz auxiliava na produção de centelhas. Esse fenômeno foi denominado de efeito fotoelétrico e é caracterizado:

- (1) Pela ejeção de elétrons de um determinado material quando exposto a luz.
- (2) Pela vibração causa pelas ondas eletromagnéticas nos elétrons de um material.
- (3) Pelo deslocamento dos átomos pela matéria.
- (4) Pela multiplicação de elétrons no material.

De acordo com Lenard, assistente de Hertz, a energia cinética dos elétrons variava com:

- (1) A variação da intensidade da luz incidente.
- (2) A variação da frequência da luz incidente.
- (3) A variação da temperatura do material alvo.
- (4) A variação da potência da bateria.

Ao variarmos a intensidade da luz incidente sobre o material, foi observado que:

- (1) A quantidade de elétrons variava proporcionalmente sem que a energia destes fosse alterada.
- (2) A energia dos elétrons aumentava e mais elétrons eram ejetados do material.
- (3) Os elétrons paravam de ser ejetados.
- (4) Não ocorria alteração alguma.

De acordo com o que foi proposto por Einstein em seus estudos sobre o efeito fotoelétrico e que também foi observado durante a simulação em aula, como a luz se comporta nesse fenômeno:

- (1) Como um laser.
- (2) Como onda eletromagnética.
- (3) Como uma partícula de energia.
- (4) Como um flash.

O efeito fotoelétrico é utilizado em diversas tecnologias que vemos no dia a dia, uma delas é a geração de energia através de painéis solares. Explique de forma breve como isso ocorre baseando-se no que foi observado na simulação.

Cite outros exemplos de tecnologias que fazem uso do efeito fotoelétrico em seu funcionamento.