

Uma Sequência Didática Investigativa para a Aprendizagem Conceitual do Efeito Fotoelétrico

An Investigative Didactic Sequence for the Conceptual Learning of the Photoelectric Effect

Samuel Gonçalves da Silva^a; Helenara Regina Sampaio Figueiredo^{*a}

^aUnopar, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Metodologias para o Ensino de Linguagens e suas Tecnologias. PR, Brasil.

*E-mail: helenara@kroton.com.br

Resumo

Este estudo de natureza qualitativa do tipo exploratória e descritiva, no qual apresentamos uma descrição sobre duas atividades que compõem uma sequência didática investigativa para a aprendizagem conceitual do Efeito Fotoelétrico (EFO) de alunos do Ensino Médio de um colégio estadual do município de Londrina, no Estado do Paraná. As atividades em análise seguem os conceitos de Sequências de Ensino Investigativas (SEI's) propostas por Carvalho (2013), em que as sequências de ensino buscam modificar a atuação do professor e do aluno em todo o processo didático. A primeira atividade é uma modelagem para o EFO, na qual estabelecemos uma analogia entre o fenômeno mecânico e o quântico, por meio de um plano inclinado que permite a analogia entre a Conservação da Energia Mecânica em Colisões Elásticas e o EFO, e a segunda atividade trata-se de uma abordagem investigativa do fenômeno mediado pela eletrização no eletroscópio. Como resultados acerca das possíveis contribuições das atividades para a aprendizagem conceitual do Efeito Fotoelétrico, ambas possibilitam a argumentação e o levantamento de hipóteses e apresentam um potencial didático para serem aplicadas em sala de aula. O uso de atividades experimentais pode fornecer aos alunos uma leitura mais acessível da realidade e de fenômenos naturais.

Palavras-chave: Atividades Investigativas. Ensino de Física. Experimento.

Abstract

This study a description of two activities that compound an investigative didactic sequence for the conceptual learning of the Photoelectric Effect (EFO) of High School students from a state school of Londrina, in the State of Paraná. The activities under analysis follow the concepts of Investigative Teaching Sequences (Sequências de Ensino Investigativas) (SEI's) proposed by Carvalho (2013), in which the teaching sequences seek to modify the teacher and the student performance throughout the didactic process. The first activity is a modeling for the EFO, in which we establish an analogy between the mechanical and the quantum phenomenon, through an sloped plane that allows the analogy between the Conservation of the Mechanical Energy in Elastic Collisions and the EFO, and the second activity deals with an investigative approach to the phenomenon mediated by electrization in the electroscope. As results about the possible contributions of the activities to the conceptual learning of the Photoelectric Effect, both enable the argumentation and the hypothesis raising and present a didactic potential to be applied in the classroom. The use of experimental activities can provide students a more accessible reading of reality and of natural phenomena.

Keywords: Investigative Activities. Physics Teaching. Experiments.

1 Introdução

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Ensino Médio é um documento que determina as competências gerais e específicas, as habilidades e as aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver durante cada etapa da educação básica. Esta, por sua vez, reforça a necessidade da inserção de abordagens no nível médio da Física Moderna (BRASIL, 2018). Os conhecimentos da Física são abordados na BNCC como parte da área de ciências da natureza e suas tecnologias que exigem em suas competências específicas uma análise de fenômenos naturais e processos tecnológicos, e propõem ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos e possam minimizar os impactos socioambientais e aprimorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (BRASIL, 2018).

A primeira competência da área de ciências da natureza e suas tecnologias na BNCC exige um ensino que permita ao aluno analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, bem como desenvolver e aprimorar tecnologias para obtenção de energia elétrica. Ao desenvolver a habilidade de avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética e a relação custo/benefício, (BRASIL, 2018).

Duas habilidades pertencentes a terceira competência da BNCC é investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, como também analisar as propriedades dos

materiais para avaliar a adequação, investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas, observando seus impactos sociais, culturais e ambientais.

As orientações curriculares para o ensino de Física apontam para exploração de atividades investigativas e que promovam a aprendizagem. Neste sentido, a pertinência do tema deste estudo reside na importância de pensar estratégias para romper com limitações, como a falta de tempo destinada ao trabalho pedagógico com os alunos, que constitui uma barreira para aplicação de métodos e abordagens que possam favorecer um ensino mais contextualizado. Há a necessidade de buscar estratégias para romper as dificuldades e possibilidades metodológicas que possam contribuir para o processo educacional.

Este artigo tem por objetivo apresentar uma descrição sobre a potencialidade de duas atividades de uma sequência didática que visa à aprendizagem conceitual do Efeito Fotoelétrico (EFO) para alunos do terceiro ano do Ensino Médio de um colégio estadual do município de Londrina, no Estado do Paraná.

2 Material e Métodos

A revisão bibliográfica é fundamental para a definição do problema de pesquisa e, também, para a apropriação do estado atual dos conhecimentos sobre um determinado tema (LAKATOS; MARCONI, 2010). Neste sentido, neste estudo pesquisou-se o tema ensino e aprendizagem do Efeito Fotoelétrico, por meio de Sequências Didáticas Investigativas, em bases de dados, como, por exemplo, a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o portal *Scielo*. Dessa forma, por meio da leitura do tema e do resumo, foram selecionadas algumas das pesquisas disponíveis na plataforma, entre os anos de 2015 e 2017, para uma compreensão sobre o tema escolhido, para isso, foram selecionadas, inicialmente, as seguintes pesquisas: Cabral (2015), Gama (2016) e Freitas (2017) que corroboram com a construção da sequência didática (SD).

Os resultados das referidas pesquisas, selecionadas aqui na revisão bibliográfica, evidenciam a necessidade de explorar nas aulas de Física, atividades que provoquem o interesse e a participação dos alunos, propiciando novos elementos para a elaboração de sequências didáticas. Nos próximos itens será apresentado o fenômeno efeito fotoelétrico; algumas orientações para o uso de sequência didática investigativa no ensino de física e algumas referências sobre sequência didática.

2.1 O Efeito Fotoelétrico

A Física Clássica não tinha uma abrangência capaz de explicar fenômenos na escala subatômica. Uma das características do ensino de Física no Ensino Médio é o

predomínio desta Física Clássica, o que não deixa ser um prejuízo (SANCHES, 2006). De acordo com Sanches (2006, p. 11): “a Física Moderna abrange as novas concepções da Física desenvolvidas nas três primeiras décadas do século XX, as quais resultaram das proposições teóricas dos físicos Albert Einstein e Max Planck”. Após o surgimento da teoria da relatividade de Einstein e da quantização das ondas eletromagnéticas, esse novo campo de estudo foi consolidado. Faz parte desta área os fenômenos como o efeito fotoelétrico, a radiação de corpo negro, a teoria da relatividade de Einstein e a Mecânica Quântica entre outros.

Albert Einstein publicou três trabalhos revolucionários no ano de 1905, um trabalho sobre o Movimento Browniano, outro sobre a Relatividade e um terceiro sobre o Efeito Fotoelétrico, no qual propôs uma hipótese da quantização da radiação eletromagnética pela qual, em certos processos, a luz comporta-se como pacotes concentrados de energia, chamados fótons (KLEPPNER, 2005).

O Efeito Fotoelétrico é um fenômeno que ocorre quando luz ultravioleta incide em uma chapa metálica e esta emite elétrons. Este fenômeno foi observado por um físico alemão chamado Heinrich Hertz (TIPLER; LIEWELLYN, 2006). Einstein descobriu sobre a ejeção dos elétrons que estes estavam relacionados ao fóton, uma partícula de luz que transfere aos elétrons uma parte de sua energia cinética, ejetando-o do metal. Einstein utilizou os estudos do físico alemão Max Planck, que argumentava que a luz irradiada por um corpo negro era quantizada, ou seja, possuía um valor mínimo de energia, como em pequenos pacotes chamados de fótons (TIPLER; LIEWELLYN, 2006).

De acordo com Einstein, um fóton deve possuir uma quantidade de energia quantizada que pode ser calculado pela equação: $(E = h \cdot f)$, na qual “E” é o valor da energia do fóton em Joule (J), F é o valor da frequência da radiação eletromagnética medida em Hertz (Hz), e H é a constante de Planck, cujo valor é $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ (Joule Segundo) ou $4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$. (Elétron Volt Segundo), (PENTEADO; TORRES, 2005). Observamos que as constantes seguem a lógica, por exemplo, do número Pi (π), que representa a relação entre o perímetro e o raio de uma circunferência.

2.2 O Ensino de Física e as orientações para a utilização de sequências didáticas investigativas

Os aspectos da disciplina escolar de Física apontam para um trabalho docente com objetivo de estudar o Universo em toda a sua totalidade, estudar a natureza enquanto realidade material sensível. O ensino de Física está organizado em Física Clássica, Moderna e Contemporânea. As três grandes sínteses na Física Clássica são a Física Newtoniana; Termodinâmica e as Equações de Maxwell. Para Física Moderna e Contemporânea (FMC), temos a Relatividade, a Física Quântica, a Física Nuclear e a Cosmologia (PARANÁ, 2008).

O ensino da disciplina de Física no Paraná está organizado em conteúdos estruturantes, básicos e específicos. Os conteúdos estruturantes são conhecimentos de grande amplitude, conceitos, teorias ou práticas, que identificam e organizam os campos de estudo de uma disciplina escolar. São históricos e carregam uma marca política. Os conteúdos básicos são compostos pelos assuntos mais estáveis e permanentes da disciplina, tanto quanto pelos que se apresentam em função do movimento histórico e das atuais relações sociais. Os conteúdos específicos são uma seleção feita pelo professor a partir dos conteúdos básicos e deve estar vinculada à realidade e às diferentes necessidades de suas turmas e escolas de atuação (PARANÁ, 2008).

A Base Nacional Comum Curricular contempla, em suas competências gerais, um trabalho docente que estimule a curiosidade intelectual por meio da abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2018). Neste sentido, para Sasseron e Machado (2017) o ensino escolar demanda mudanças para não focar naquilo que já está pronto, mas investir ações para o ensino sobre Ciências com práticas científicas.

As atividades em análise seguem os conceitos de Sequências de Ensino Investigativas (SEI's), proposta por Carvalho (2013), em que a sequência de ensino busca modificar a atuação do professor e do aluno em todo o processo didático, viabilizando para os alunos uma atitude mais ativa e para o professor uma postura mediadora, contemplando interações sociais, fundamental para o processo de construção do conhecimento.

Para Belluco e Carvalho (2014) o planejamento de ensino em uma sequência didática investigativa deve contemplar um problema no início da construção do conhecimento, deve também contemplar a possibilidade de momentos para a manipulação para a ação intelectual e a tomada de consciência dos próprios atos para a construção do conhecimento. Em todo o processo é necessário que o professor estimule e encoraje a participação ativa do estudante, elaborando questões propositivas a partir dos conhecimentos prévios dos educandos, de forma a gerar superações de uma linguagem própria do cotidiano para uma linguagem científica.

Os problemas propostos nas Sequências de Ensino Investigativas devem ser relevantes ao ponto de provocar os alunos, uma vez que seja possível uma identificação com sua realidade e possibilite a experimentação, argumentações, formulação e teste de hipóteses. O conhecimento prévio deve ser tomado como hipótese de pesquisa na resolução do problema, na argumentação, na solução do problema, na produção de explicações, na construção do raciocínio proporcional que envolve a seleção e a relação de variáveis relevantes à solução do problema e à necessidade de uma nova palavra ou conceito (BELLUCO; CARVALHO, 2014).

De acordo com Ausubel (2000), cada aluno possui uma estrutura cognitiva preexistente, esta estrutura é importante na interação com cada nova informação recebida pelo aluno e quando os conhecimentos assimilados pelos educandos, em uma ação docente, podem ser transferidos para outras situações; essa transferência é requisito para verificação da aprendizagem significativa (Ausubel, 2000). Assim, neste processo o estudante utiliza seus conhecimentos prévios para ancorar novos conhecimentos e o processo de aprendizado significativo é decorrente deste processo de integração que altera os conhecimentos prévios e integra os novos.

O material pode ser potencialmente significativo, para isto, devem ter significado lógico, ter estrutura, organização, exemplos, linguagem adequada, enfim, serem aprendíveis e deve conter informações que o estudante possa relacionar com o que ele já sabe (Ausubel, 2000).

2.3 Metodologia

Para Gil (2007) a pesquisa é uma ação racional e sistemática com a missão de procurar respostas a questionamentos apresentados, ela possui algumas fases que se iniciam pela formulação do problema até a apresentação e discussão de resultados. Toda pesquisa implica o levantamento de dados de variadas fontes, quaisquer que sejam os métodos ou técnicas empregadas (LAKATOS; MARCONI, 2010).

Para a elaboração da sequência didática apoiamos no referencial de Zabala (1998, p.21). De acordo com o autor, sequência didática é definida como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos.” A prática pedagógica demanda uma organização metodológica para a sua execução. A aprendizagem do aluno se concretiza a partir da intervenção do professor no cotidiano da sala de aula. Nos próximos itens serão descritas as duas atividades e seus desenvolvimentos.

2.3.1 Descrição da atividade 1

A atividade 1 é denominada *Colisão Elástica com Plano Inclinado. Uma analogia Mecânica do EFO* (UEL, 2016). O aparato experimental consiste em uma rampa ou plano inclinado, ao longo da qual, na parte central, é colado com fita adesiva com uma foto do espectro da luz visível, com o infravermelho na parte mais baixa da rampa. Utilizamos um carrinho, com a nomenclatura “Fóton”, que é abandonado em várias alturas ao longo da rampa e ao ser abandonado adquire velocidade por causa da transformação da Energia Potencial Gravitacional em Cinética e colide com um obstáculo formado de dois corpos em contato, o primeiro com nomenclatura “Metal” e o segundo com nomenclatura “Elétron”.

O objetivo do experimento é demonstrar, por meio de uma abordagem investigativa, uma Colisão Elástica em um plano inclinado e estabelecer uma analogia Mecânica ao

EFO que é um fenômeno de origem quântica abordado pela Física Moderna e Contemporânea. O experimento com a rampa não é o EFO, mas permite estabelecer uma analogia, uma modelagem que pode potencializar o processo de ensino-aprendizagem sobre o fenômeno a partir dos conhecimentos prévios que os alunos possuem sobre a Conservação da Energia Mecânica e Quantidade de Movimento.

A altura da rampa, uma analogia ao espectro visível da luz, simulam os dois obstáculos do metal e do elétron, o carrinho simula o fóton. No EFO, o fóton ao colidir com o metal, arranca elétrons como em uma colisão elástica similar ao que observamos no jogo de bilhar.

Os materiais necessários, são: um metro de canaleta de PVC rígida para passagem de fios e cabos de 40 por 16 milímetro (40 x 16 mm), trena ou régua, a figura do espectro visível da luz em impressão colorida em uma fita de papel sulfite de quarenta centímetros por dez centímetros; um carrinho de brinquedo (de preferência de metal); uma pilha grande ou qualquer objeto com peso e forma para simular o obstáculo que representa o metal que será atingido pelo Fóton, um apontador pequeno de lápis ou qualquer objeto que possa representar o elétron e fita adesiva.

O procedimento avaliativo deve ocorrer ao longo de todo processo por meio da observação e registro das participações com o registro do interesse, interações por meio questionamentos e hipóteses.

2.3.2 Desenvolvimento da atividade 1

Primeiramente é necessário calibrar o experimento para encontrar a altura do plano inclinado que permite ocorrência de uma colisão elástica, possibilitando, assim, que o aluno visualize o carrinho colidindo com o obstáculo, que na analogia estabelecida é chamado de metal, e o segundo obstáculo, chamado de elétron, será ejetado; o que é similar ao Fóton colidindo com o metal e arrancando elétrons, ou seja, o EFO.

Para o procedimento experimental o professor pesquisador deve abordar os alunos de forma a provocá-los e desafiá-los a refletir. Apoiando o carrinho na rampa o professor pesquisador questiona o que acontece ao abandonar o carrinho, lembrando que o movimento de um corpo exige energia. Então, por que o carrinho se move? Quando o carrinho colidir com os obstáculos o que vai acontecer, desta forma, questiona-se: o carrinho vai parar? Os dois objetos, o obstáculo, vão se mover por conta da colisão ou o primeiro fica parado e o segundo se move? Ou o carrinho e os dois obstáculos vão se mover?

Após ouvir e sistematizar as hipóteses dos alunos é necessário efetuar os testes e refletir sobre os resultados. Uma provável dinâmica é abandonar o carrinho da altura correspondente as cores do espectro e nesse momento os alunos podem se revezar, abandonando o carrinho de diferentes alturas e verificando o resultado. Na sequência é preciso retomar os conceitos abordados, para isto, o docente deve fazer a transposição didática de forma dialógica,

explorando exemplos do cotidiano dos alunos e sistematizando o fenômeno em estudo.

O carrinho com altura em relação ao solo possui Energia Mecânica, que deve ser conservada, o valor é igual a Energia Potencial Gravitacional. O carrinho é uma representação, uma analogia ao Fóton que possui energia e ao colidir com o metal, no EFO, representado pelo obstáculo, transfere parte da energia que ejeta elétrons. Fótons são partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos “pacotes” que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas.

O EFO é um fenômeno quântico que pode ser descrito por meio da analogia estudada, o acontecimento quântico ocorre em dimensões subatômicas, no qual o Fóton é o aspecto corpuscular da luz, e, quando em movimento possui energia, ao colidir com obstáculos transfere parte dessa energia, mas isso não é generalizado, como é possível observar com o experimento da rampa ou plano inclinado, em que é necessário encontrar um aspecto para acontecer a colisão elástica. Na próxima atividade será apresentada por meio de um simulador computacional, o Phet, que outras variáveis podem interferir na ocorrência do fenômeno EFO.

2.3.3 Descrição da atividade 2

A atividade 2 é denominada de *Demonstração Experimental do EFO com o Eletroscópio e faroete com lâmpada ultravioleta* (Atividade adaptada de Universitária, 2017). O eletroscópio é um dispositivo que funciona com base nos princípios da eletrização, que é a transferência de cargas elétricas entre os corpos. Esse dispositivo permite verificar se um corpo está eletrizado ou não. Para verificar, colocamos o corpo em questão perto da extremidade superior do eletroscópio, que consiste, no nosso experimento, de uma bolinha revestida de papel alumínio. Essa bolinha está ligada às duas pequenas folhas de papel alumínio localizadas no interior do aparelho por meio de uma haste metálica. Se ocorrer o afastamento dessas folhas, poderemos afirmar que o corpo está eletrizado.

O experimento consiste em iluminar o eletroscópio com uma fonte de luz que pode ser um faroete comum, uma vela ou qualquer fonte de luz e estimular os alunos a observarem se este procedimento causa eletrização, na sequência iluminamos o eletroscópio com uma fonte de luz ultravioleta para os alunos observarem a eletrização do eletroscópio causada pelo EFO no dispositivo.

O objetivo do experimento é demonstrar, utilizando uma abordagem investigativa, o EFO que é um fenômeno de origem quântica que consiste na emissão de elétrons por algum metal ao ser iluminado por radiações eletromagnéticas de frequências específicas. O físico alemão Albert Einstein demonstrou que o agente responsável pela ejeção de cada elétron era um único fóton, uma partícula de luz que transferia aos elétrons uma parte de sua energia, ejetando-o do metal, desde que sua frequência fosse grande o suficiente para tal. Para tanto, Einstein munuiu-se das ideias do físico alemão Max

Planck. O Efeito Fotoelétrico pode ser facilmente observado ao utilizar um eletroscópio de folhas.

Os recursos utilizados serão régua de acrílico, algumas bexigas, uma folha de papel sulfite e um pedaço de papel higiênico para demonstrar a eletrização. Além do computador com acesso à internet, projetor para utilizar o simulador *online PhET Simulations* e exibir a animação do repositório *YouTube* “Doutor Quantum”, um eletroscópio de folhas (feito com uma garrafa pet transparente de refrigerante vazia, um pedaço de arame de aço de vinte centímetros e uma folha de papel alumínio de vinte por trinta centímetros); um farolete de lâmpada comum ou led e, por fim, um farolete de lâmpada ultravioleta germicida.

O tempo estimado é de duas aulas seguidas, aproximadamente uma hora e quarenta minutos. O procedimento avaliativo deve ser semelhante ao descrito para atividade um, ao longo de todo processo por meio da observação e registro das participações com o registro do interesse, interações, por meio de questionamentos e hipóteses.

2.3.4 Desenvolvimento da atividade 2

O professor deve retomar a conversa do encontro anterior, sobre *Colisões Elásticas* e na sequência apresentar uma ferramenta que facilita testar a cada frequência a cor da luz, esta ferramenta é o simulador *PhET Simulations*, que é uma plataforma desenvolvida pela Universidade do Colorado que oferece diversas simulações relacionadas ao ensino de Física, Biologia, Química e Matemática e está disponível na página web “PhET Colorado”.

O professor pesquisador deve fazer as combinações com cores, intensidade e tensão e estudar os efeitos de forma demonstrativa com os alunos. Antes de fazer o processo de eletrização com eletroscópio, o professor deve demonstrar a eletrização com uma régua de acrílico e pequenos pedaços de papel. É necessário picar alguns pedacinhos pequenos de papel, esfregar a régua em um pedaço de tecido ao papel higiênico e aproximar da régua, isso vai permitir a visualização do fenômeno, os pedaços de papel sendo atraídos pela régua.

Na sequência o professor deve demonstrar o processo de eletrização com o eletroscópio. Primeiro será utilizado um balão ou bexiga de festa. O professor deve solicitar para um aluno esfregar a bexiga cheia de ar no cabelo e aproximar do eletroscópio, pedir para os alunos explicarem o que acontece e por qual motivo. Na sequência, o aluno deve esfregar a bexiga no cabelo e tocar na esfera do eletroscópio e observar, depois tocar com o dedo. Os alunos devem observar e explicar o que acontece e por qual motivo.

Na sequência, o professor pesquisador deve perguntar para os alunos se iluminar o eletroscópio com o farolete, uma vela ou qualquer fonte de luz, haverá alguma alteração nas lâminas do eletroscópio, solicitando que os alunos justifiquem as suas respostas. O professor deve anotar as respostas dos alunos. O próximo passo é testar as hipóteses dos alunos.

Ao iluminar o eletroscópio com uma fonte de luz, como um farolete, o que vai acontecer com as lâminas do eletroscópio? Assim, o professor questiona os alunos para incentivar ainda mais a participação deles no experimento.

O professor deve explicar que no cotidiano dos cientistas é comum testar hipóteses e não obter resultados desejados e por esse motivo é necessário estudar, pesquisar para obter base teórica e formular novas hipóteses, podendo, assim, testá-las. O processo de desenvolvimento do conhecimento é uma criação humana e exige a necessidade de respostas a questionamentos, exige planejamento, método e trabalho para obtenção de um suporte teórico que formule hipóteses relevantes para serem testadas. O professor deve perguntar aos alunos sobre a composição da luz e lembrá-los que a luz também é uma onda policromática e mostrar o espectro da luz.

Depois, o professor deve retomar o conceito de luz como uma onda eletromagnética, mas também possuir um comportamento corpuscular, ou seja, a dualidade onda-partícula da luz, ora se comporta como onda, portanto energia em movimento, e ora se comporta como uma partícula que é chamada de fóton (PENTEADO; TORRES, 2005).

A Dualidade Onda-Partícula não é objeto deste estudo, mas para facilitar a compreensão sobre o tema, o professor deve exibir uma animação de cinco minutos chamada “Dr. Quantum demonstra a experiência da fenda dupla (dual. onda/partícula)” (SANTOS, 2007). Na animação, o personagem usa um aparato experimental e estabelece um paralelo, uma analogia, entre as ondas da superfície da água passando por uma e depois duas fendas em um obstáculo, inicialmente com a água e depois com bolinhas, que representam, de forma análoga, os fótons de luz, demonstrando de forma simples e didática o comportamento dual da luz. Se a luz tem um comportamento corpuscular, então em movimento, possui energia cinética e, quando colide com algum obstáculo, pelo princípio da Conservação da Energia Mecânica, haverá transferência de energia.

O professor pesquisador deve realizar o seguinte questionamento: se incidir luz ultravioleta, com um outro farolete de lâmpada UV, no eletroscópio, haverá alguma alteração nas lâminas? Deve pedir para que os alunos justifiquem as respostas. O professor deve anotar as respostas dos alunos. Na sequência, o professor deve demonstrar para os alunos a eletrização do eletroscópio com a bexiga e iluminar o eletroscópio com luz ultravioleta, solicitando que os alunos observem o que vai acontecer e façam anotações do fenômeno.

Esperamos, com este procedimento, que os alunos respondam que não haverá indício de eletrização no eletroscópio, porque viram o fenômeno ocorrer no simulador *Phet*. Ao iluminar o eletroscópio com uma fonte de luz, como um farolete, o que vai acontecer com as lâminas do eletroscópio? Espera-se com esse procedimento que os alunos compreendam que a luz não provoca a retirada de

elétrons. Esperamos, também, que os educandos lembrem dos conteúdos estudados em Ondas e Óptica Geométrica, que a Luz é uma onda eletromagnética, portanto é energia em movimento.

3 Resultados e Discussão

A atividade um estabelece uma analogia entre a conservação da energia mecânica em colisões elásticas e o EFO que é um fenômeno quântico. Este experimento permite que os alunos visualizem o princípio da Conservação da Energia Mecânica e da Quantidade de Movimento. Essa atividade rompe com o descompasso entre o tradicional ensino de Física “matematizado” do primeiro ano do Ensino Médio, em que é comum acontecer alguns traumas, causando certa repulsa por parte dos alunos em função da necessidade de uma linguagem Matemática que reforça uma rejeição por parte dos alunos.

Abordagem investigativa é uma prática que permite que os alunos participem ativamente do processo e o professor assume o papel de mediador. Na atividade um, a mediação do docente, além de explorar as estratégias para despertar a atenção dos alunos, deve ter todo cuidado para não conduzir a um erro conceitual, uma vez que a atividade proposta é uma analogia. O primeiro questionamento da atividade é: Por que o carrinho desce a rampa? Espera-se que os alunos respondam, de forma simples e lógica, que o carrinho descer a rampa e colidir com o obstáculo. O uso deste questionamento pode permitir verificar se os alunos lembram do princípio da Conservação da Energia Mecânica, assunto abordado no primeiro ano do Ensino Médio e, neste sentido, verificar se esse saber é um subsunçor que exercerá um papel importante no objetivo de apropriação da aprendizagem conceitual do fenômeno EFO.

O problema inicial, onde os alunos deveriam encontrar em qual altura ocorre uma colisão elástica e para a analogia ser adequada é necessário que esta altura seja correspondente a posição do ultravioleta do espectro visível da luz, colado ao longo do plano inclinado. Como o objetivo é a aprendizagem conceitual a partir do fenômeno, o foco da ação é a compreensão dos fatores que permite a colisão elástica, sempre deixando claro e explicitado que o professor pesquisador faz uma analogia para explicar uma ocorrência complexa de natureza quântica, portanto envolve dimensões atômicas e por esse motivo é pertinente o uso da analogia.

Esta atividade pode possibilitar que os alunos visualizem a Conservação da Energia Mecânica em Colisões Elásticas e que eles efetuem hipóteses em todo o processo por meio da mediação do professor pesquisador. Por meio das análises das participações dos alunos, ao emitir as hipóteses e ao responder aos questionamentos, após a aplicação da sequência didática investigativa, será possível verificar os prováveis indícios de aprendizagem conceitual sobre o fenômeno efeito fotoelétrico, de forma a explorar todo potencial do experimento ao estabelecer uma analogia das colisões elásticas que podem

potencializar a aprendizagem sobre o fenômeno EFO. Neste sentido a atividade possui um potencial podendo ser positiva ao objetivo proposto.

A atividade dois apresenta características de um material potencialmente significativo porque possibilita para os alunos a compreensão de que a eletrização, ainda que seja é um conceito atômico, pode ser visível com a eletrização demonstrada com a régua e os pedaços de papel e o movimento visível das folhas do eletroscópio. A utilização de um simulador, como o uso do simulador virtual *Phet* também pode auxiliar para a visualização, já que é uma animação do fenômeno. As duas demonstrações, primeira com a luz comum, depois com a ultravioleta, mediadas pelos questionamentos do professor pesquisador podem contribuir para a aprendizagem conceitual. Permite explorar os conhecimentos necessários para a compreensão do processo de eletrização que facilmente podem ser observados, e o professor ainda pode recorrer aos conhecimentos advindos do cotidiano, como exemplo os choques elétricos, que são descargas elétricas facilmente compreendidas com a eletrização com a régua e os pedacinhos de papel e o eletroscópio. O encadeamento das ações apresenta promissoras possibilidades, pois ainda que se trate de um conceito quântico, partem daquilo que é familiar para os educandos.

O estudo propiciou algumas considerações sobre o potencial didático das atividades idealizadas. A atividade um pode contribuir para a construção de um ponto de apoio e serve de ancoragem no objetivo da aprendizagem proposta na atividade dois, no qual o aluno deve compreender que o EFO ocorre com a frequência ultravioleta da luz. Um ponto de tensão é o fato de ser uma analogia mecânica a uma ocorrência quântica, o que exige uma postura de rigor formal do professor em todo o processo, para não causar aprendizagem com um erro conceitual.

O fenômeno em estudo é quântico, portanto, complexo e abstrato, o fóton não é visível, mas a analogia permite uma visualização nítida. Na animação utilizada, *Doutor Quantum*, o personagem chama os fótons de bolinhas de gude ou bolinhas de matéria, o que permite uma nítida visualização do fenômeno e revela o grande potencial do uso das analogias, mas o que faz a diferença, neste processo de ensino, é a condução do professor, porque a luz tem natureza dual de onda e de partícula, mas não é uma bolinha de gude, é possível a comparação para facilitar a abstração necessária e a ação do professor vai ser decisiva no adequado uso do recurso e a correta compreensão do fenômeno. Neste sentido, o aluno imagina uma minúscula partícula em alta velocidade, o Fóton, e na dificuldade de imaginar, o carrinho faz a representação que facilita a compreensão.

4 Conclusão

O uso de atividades experimentais possui uma considerável capacidade de emular a realidade, permitindo para os alunos uma leitura mais acessível da realidade e de fenômenos

naturais. A estratégia de sequências didáticas investigativas, explorando atividades experimentais, podem favorecer maior interesse por parte dos alunos e colaborar para que ocorra a aprendizagem conceitual.

A mediação do professor, ao explorar a abordagem investigativa, utilizando argumentos que provoquem os alunos a refletirem e tecerem hipóteses, o que pode fazer a diferença em todo processo. As atividades podem ampliar as possibilidades da aprendizagem conceitual de ensino de Física, ao abordarem um importante fenômeno que contribuiu para um marco na história da Física com a evolução da Mecânica Clássica, que tem como objeto de estudo a descrição e causa do movimento, como o carrinho na rampa e Mecânica Quântica que envolve o estudo do movimento, mas em escala atômica, como o movimento dos elétrons ocorrido no Efeito Fotoelétrico.

Referências

- AUSUBEL, D.P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. *Lisboa*: Plátano, 2000.
- BELLUCCO, A.; CARVALHO, A.M.P. Uma proposta e sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. *Cad. Bras. Ensin. Fís.*, v.31, n1, p.30-59, 2014.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. Ministério da Educação. *BNCC – Base Nacional Comum Curricular*: versão final SEE. Brasília MEC, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996. Brasília MEC, 1996.
- CABRAL, J. C. *Efeito fotoelétrico*: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos. Lavras: UFLA, 2015.
- CALADO, S.S.; FERREIRA, S.C.R. *Análise de documentos*: método de recolha e análise de dados. 2004. Disponível em: <http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/ichagas/mi1/analisedocumentos.pdf>. Acesso em: 13 set. 2021.
- CARVALHO, A.M.P. (Org.). O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. *Ensino de Ciências por investigação*: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: CENCAGE Learning, 2013.
- FREITAS, F.F. *Utilização das tecnologias de informação (TI's) para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.
- GAMA, L.P. *O estudo da natureza da luz*: uma introdução à Física Quântica na 2ª Série do Ensino Médio. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2007.
- KLEPPNER, D. Relendo Einstein sobre radiação. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, v. 27, n. 1, p. 87-91, 2005.
- LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. de A. *Fundamentos de metodologia científica*: técnicas de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2010.
- PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação do Paraná. *Diretrizes Curriculares da Educação Básica*: Física. Curitiba: DEB, 2008.
- PENTEADO, P.C.M.; TORRES, C.M. *Física*: ciência e tecnologia. São Paulo: Moderna, 2005. v.1.
- PENTEADO, P.C.M.; TORRES, C.M. *Física*: ciência e tecnologia. São Paulo: Moderna, 2005. v.2.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA. PIBID – UEL. Física. *Efeito Fotoelétrico*. 2016. Disponível em: <https://pibiduel fisica.wordpress.com/2016/11/18/efeito-fotoeletrico/>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- RICARDO, E.C.; FREIRE, J. C.A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, v.29, n.2, p.251-266, 2007.
- SANCHES, M.B. *A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*: qual sua presença em sala de aula? Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2006.
- SANTOS, L.S. *Dr. Quantum demonstra o experimento da fenda dupla (dual. onda/partícula)*. 2007. (4min. 51s.). YouTube. Disponível em: https://youtu.be/GF_4J-hq0FI. Acesso em: 29 jun. 2020.
- SASSERON, L.H; MACHADO, V. F. *Alfabetização Científica*: inovando a forma de ensinar Física. São Paulo: Livraria da Física, 2017.
- TIPLER, P.; MOSCA, G. *Física Moderna*: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria. Rio de Janeiro, 2006.
- UNIVERSITÁRIA. Física. *Luz, Experimentos – Efeito fotoelétrico*. 2017. (2min. 54s.). YouTube. Disponível em: <https://youtu.be/VVka6Mp5vyA>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- WHALLEY, M. The photoelectric effect: a useful sporting analogy. *Phys. Educ.*, v.40, n.1, 2005..
- ZABALA, A. *A prática educativa*: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.