



Recebido: 03/12/2024 | Revisado: 17/01/2025 | Aceito: 30/01/2025 | Publicado: 05/04/2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 10.31416/rsdv.v13i1.1353

Explorando o efeito fotoelétrico e os raios x: uma experiência pedagógica no programa residência pedagógica

Exploring the photoelectric effect and x-rays: a Pedagogical experience in the pedagogical residency program

ANTUNES, Raul Gomes. Licenciando em Física

IFSertãoPE - Campus Petrolina. Rua Maria Luzia de Araújo Gomes Cabral, 791 - João de Deus -- Petrolina - PE - Brasil. CEP: 56316-686/ Telefone: (87) 2101-4300/ E-mail: raul.antunes@aluno.ifsertao-pe.edu.br/ ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9751-9199>

NOGUEIRA, Newton Pionório. Mestrado em Ciências dos Materiais

IFSertãoPE - Campus Petrolina. Rua Maria Luzia de Araújo Gomes Cabral, 791 - João de Deus -- Petrolina - PE - Brasil. CEP: 56316-686/ Telefone: (87) 2101-4300/ E-mail: newton.nogueira@ifsertao-pe.edu.br/ ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4069-0746>

SANTOS, Cícero Thiago Gomes dos. Doutor em Física

IFSertãoPE - Campus Petrolina. Rua Maria Luzia de Araújo Gomes Cabral, 791 - João de Deus -- Petrolina - PE - Brasil. CEP: 56316-686/ Telefone: (87) 2101-4300/ E-mail: cicero.thiago@ifsertao-pe.edu.br/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0280-0429>

AMORIM, Delza Cristina Guedes. Mestra em Educação, Cultura e Territórios Semiáridos

IFSertãoPE - Campus Petrolina. Rua Maria Luzia de Araújo Gomes Cabral, 791 - João de Deus -- Petrolina - PE - Brasil. CEP: 56316-686/ Telefone: (87) 2101-4300/ E-mail: delza.cristina@ifsertao-pe.edu.br/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1174-2467>

LIMA, Daniel Berg de Amorim. Mestre em Ensino de Física

IFSertãoPE - Campus Petrolina. Rua Maria Luzia de Araújo Gomes Cabral, 791 - João de Deus -- Petrolina - PE - Brasil. CEP: 56316-686/ Telefone: (87) 2101-4300/ E-mail: daniel.berg@ifsertao-pe.edu.br/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5871-9585>

RESUMO

Este relato de experiência diz respeito a um projeto desenvolvido durante o Programa Residência Pedagógica (PRP) em uma turma do curso técnico integrado ao Ensino Médio do IFSertãoPE, *campus* Petrolina. Realizou-se uma sequência didática que tinha por finalidade proporcionar aos estudantes do Ensino Médio uma compreensão aprofundada sobre o Efeito Fotoelétrico e os Raios X, com base na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. A sequência didática possui sete etapas e utiliza-se de diversas formas de avaliação como propostas na literatura, como experimentos virtuais, mapa conceitual e discussões. A partir dessas avaliações, percebe-se indícios de aprendizagem significativa com base na compreensão e capacidade de explicação, reforçando a relevância das estratégias pedagógicas.

Palavras-chave: Sequência didática, Aprendizagem Significativa, Efeito Fotoelétrico, Raios X.

ABSTRACT



This experience report is about a project developed during the Pedagogical Residency Program (PRP) in an integrated high school technical course at IFSertãoPE, Petrolina *campus*. A didactic sequence was carried out with the aim of providing high school students with an in-depth understanding of the Photoelectric Effect and X-rays, based on Ausubel's Meaningful Learning Theory. The didactic sequence has seven stages and uses various forms of assessment as proposed in the literature, such as virtual experiments, concept maps and discussions. Based on these evaluations, there is evidence of significant learning based on understanding and the ability to explain, reinforcing the relevance of pedagogical strategies.

Keywords: Didactic Sequence, Meaningful Learning, Photoelectric Effect, X-rays

Introdução

Este trabalho apresenta um relato de experiência referente a um projeto implementado durante o período letivo de 2023.2 em uma turma do 6º semestre do Ensino Médio integrado ao curso técnico em Informática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE), *campus* Petrolina, durante o PRP.

O Ensino de Física no Brasil enfrenta alguns desafios. Moreira (2017) critica alguns aspectos do ensino contemporâneo de Física, incluindo a falta de preparo dos professores, más condições de trabalho, redução das aulas no Ensino Médio, perda gradual da identidade da Física no ensino secundário, abordagem mecânica e conteúdo desatualizado. Esse pesquisador destaca que o ensino de Física muitas vezes se limita à Física clássica, sem considerar conteúdos posteriores ao século XIX. Além disso, de acordo com Pereira e Aguiar (2020), acrescenta-se o desinteresse dos estudantes, que está intimamente relacionado com a qualidade no Ensino no Brasil, necessitando-se de uma revisão das práticas pedagógicas. Essa crítica também está presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999) ao abordar que as disciplinas como a Física pouco tratam do desenvolvimento científico realizado ao longo do século XX, dando ênfase em conteúdos com uma abordagem enciclopédica e exageradamente dedutiva, aqueles tidos como tradicionais. Para complementar, Pereira e Aguiar (2020) afirmam que é recente a previsão de conteúdos atuais no currículo.

A Física Clássica, que compõe grande parte do currículo, falha em explicar certos fenômenos atômicos sem apresentar contradições. O problema da estabilidade do elétron (Palandi; Figueiredo; Denardin; Magnago, 2010), a catástrofe do ultravioleta e o Efeito Fotoelétrico são alguns desses fenômenos.

O advento da Física Moderna permitiu a compreensão desses e outros diversos fenômenos. Além disso, possibilitou também compreender a estrutura da matéria e, a partir disso, surgiram muitas aplicações tecnológicas que são utilizadas hoje em dia, entre elas a eletrônica (Melhorato; Nicoli, 2012). Por exemplo, existem muitas aplicações para o Efeito Fotoelétrico, entre elas: câmeras digitais, óculos de visão noturna (Young *et al.*, 2016), controle de porta de elevadores, fotômetros (Nussenzweig, 2010), câmaras de TV (Halliday; Resnick; Walker, 2016), e trilhas sonoras das películas de filme (antes da era digital). As células elétricas fotovoltaicas são uma extensão desse fenômeno (Hewitt, 2015).

O Efeito Fotoelétrico acontece na interação da luz com a matéria. A luz possui um comportamento dual, propaga-se como uma onda e interage com a matéria como uma partícula. Segundo Niels Bohr, fenômenos na escala quântica possuem



propriedades complementares, isto é, um comportamento dual, variando em função do experimento realizado. Experimentos que têm a finalidade de analisar as trocas individuais de energia e *momentum*, revelam propriedades de partícula. Em contrapartida, experimentos que analisam a distribuição espacial da energia, mostram as propriedades ondulatórias (Hewitt, 2015).

No entanto, vale salientar que a Física Moderna se baseia em experimentos não verificáveis pelos sentidos humanos, derivando os conceitos desses eventos. Sendo assim, devido à natureza, não é incomum que esses conceitos sejam pouco intuitivos e não relacionados diretamente com a vivência cotidiana (Palandi; Figueiredo; Denardin; Magnago, 2010). Portanto, exige-se uma abordagem tal como proposta pela Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), a qual possibilita uma aprendizagem significativa.

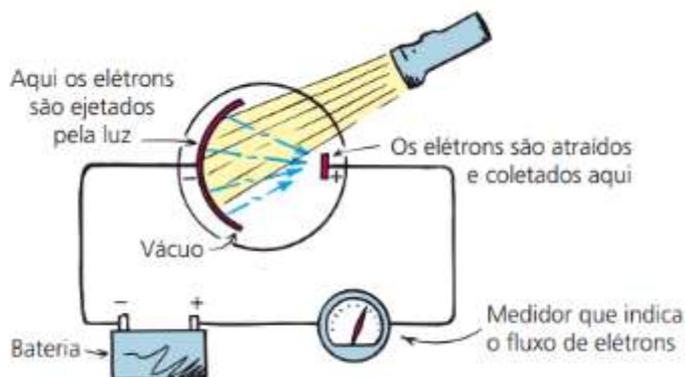
Considerando esses desafios, em especial a abordagem no ensino e o conteúdo desatualizado, foi realizada uma sequência didática sobre o Efeito Fotoelétrico e os Raios X baseada na UEPS proposta por Moreira (2011). Buscou-se, por meio desta sequência didática, proporcionar aos estudantes do Ensino Médio uma compreensão aprofundada sobre o Efeito Fotoelétrico e os Raios X, com base na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. Este teórico e colaboradores afirmam que se fossem resumir esta teoria psicológica educacional, reduziriam àquilo que o estudante já conhece, isto é, seus conhecimentos prévios (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980).

De acordo com Moreira (2011), essa sequência didática é baseada em diversas teorias de ensino, em especial a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Dessa forma, ele propõe uma sequência de passos de como implementá-la e, a partir disso, criou-se uma UEPS sobre Efeito Fotoelétrico e Raios X. Esses dois conteúdos foram escolhidos, pois de acordo com Young *et al.* (2016), são inversos. Portanto, possuem semelhanças e diferenças entre eles, de forma que as características e princípios da UEPS e da Aprendizagem Significativa podem ser bem exploradas.

Conteúdos específicos da UEPS

Diversos pesquisadores perceberam o Efeito Fotoelétrico no final do século XIX, que consiste na emissão de elétrons devido à incidência de luz sobre alguma superfície (Hewitt, 2015). Para que o elétron seja ionizado é necessário absorver energia que possibilite superar a atração dos íons positivos do material (Young *et al.*, 2016).

Figura 2 - Esquemática de aparelho para observar o Efeito Fotoelétrico.



Fonte: Hewitt, 2015

A detalhada análise desse experimento resultou em algumas contradições com a teoria ondulatória clássica (Hewitt, 2015). Entre elas:

- (1) A intensidade da luz e a frequência não estavam relacionadas com o tempo de atraso entre o instante em que a luz é acionada e o instante da emissão dos primeiros elétrons (Hewitt, 2015) (Eisberg; Resnick, 1979).
- (2) A ionização dos elétrons era observada facilmente usando luzes de alta frequência, como violeta e ultravioleta. No entanto, não acontecia quando se utilizava a luz vermelha (Hewitt, 2015). Sendo assim, existe uma frequência mínima para ocorrer a ionização e independe da intensidade da luz (Eisberg; Resnick, 1979).
- (3) A taxa com que os elétrons eram emitidos era proporcional à intensidade da luz (Hewitt, 2015). Por definição, essa seria a corrente elétrica (Halliday; Resnick; Walker, 2016).
- (4) A energia máxima dos elétrons emitidos não dependia da intensidade da luz, na realidade parecia depender da frequência (Hewitt, 2015). Contudo, de acordo com a Física Clássica, a intensidade da luz relaciona-se com a amplitude do campo elétrico oscilante da onda luminosa. Como a força aplicada sobre o elétron calcula-se a partir do produto eE , então a energia cinética deveria aumentar quando ocorre um acréscimo na intensidade da luz (Eisberg; Resnick, 1979) (“e” corresponde à carga elementar e “E” ao campo elétrico).

Para solucionar este fenômeno, utilizando-se da teoria de Max Planck para explicar as propriedades da radiação de corpo negro, Einstein postulou que o feixe de luz é constituído por pacotes de energia denominados *quanta* de luz (Young *et al.*, 2016) ou, por analogia com partículas como elétrons, prótons e nêutrons, também podem ser denominados de fótons (Hewitt, 2015).

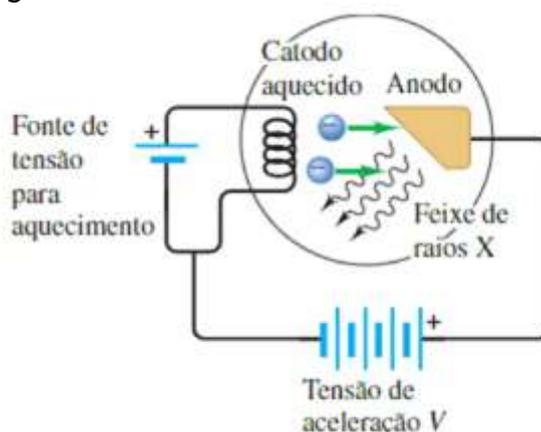
As experiências com o tubo de raios catódicos (elétrons acelerados) permitiram Wilhelm Röntgen descobrir, em 1895, o que nomeou de Raios X. A Figura 3 ilustra o aparato experimental para produzi-los. Ele demonstrou diversas de suas propriedades. Entre as quais, mostrou que se propagavam em linha reta e tinha alto poder de penetração. Como eram neutros, a hipótese era de que se tratava de radiação da ordem de 1 \AA (Nussenzveig, 2010). Com relação à nomenclatura do fenômeno, Röntgen assim designou devido à natureza desconhecida. Posteriormente, descobriu-se que se tratava de radiações eletromagnéticas e, portanto, possuem as mesmas propriedades de ondas, como polarização, difração e interferência. Para ocorrer esse fenômeno, as partículas são aceleradas por uma diferença de potencial



de alguns milhares de volts em direção a um alvo, e os Raios X são produzidos devido à frenagem (Eisberg; Resnick, 1979).

Ressalta-se que o processo para a obtenção dos Raios X é como o Efeito Fotoelétrico inverso. No Efeito Fotoelétrico a radiação incide sobre um material e elétrons são liberados, ao passo que nos Raios X, em parte, o elétron incidente quem emite radiação eletromagnética após a desaceleração em alta velocidade sobre a matéria (Young *et al.*, 2016; Eisberg e Resnick, 1979).

Figura 3 - Aparato experimental para produção de Raios X semelhante ao utilizado por Röntgen



Fonte: Young *et al.*, 2016

Ensino de Física

Moreira (2021a) destaca outros diversos desafios no Ensino de Física e que, de certa forma, compila alguns aspectos, bem como centraliza a aprendizagem significativa:

- Priorizar conceitos em vez de fórmulas;
- Utilizar situações em que façam sentido para os estudantes;
- Considerar os conhecimentos prévios dos estudantes;
- Atentar-se aos modelos e modelagem;
- Não ensinar a Física como totalmente acabada, definitiva, nem mesmo os princípios como verdades absolutas;
- Incentivar o desenvolvimento de competências científicas, tais quais: modelagem, argumentação a partir de evidências, comunicação de resultado, bem como questionar cientificamente;
- Estimular um ensino híbrido, isto é, a participação ativa tanto com professor quanto do estudante;
- Utilizar as tecnologias digitais de informação e comunicação;



- Fazer uso de laboratórios virtuais;
- Sempre promover a aprendizagem significativa;
- Procurar evidências de aprendizagem significativa por meio das avaliações;
- Estimular o interesse no estudante pela Física.

A teoria de aprendizagem de Ausubel está centralizada na aprendizagem significativa, que consiste em um processo no qual uma informação relaciona-se com aquilo contido na estrutura cognitiva do indivíduo de maneira substantiva (não-litera) e não-arbitrária. Essa interação da informação acontece com um aspecto específico presente na estrutura cognitiva do indivíduo e que, na teoria de Ausubel, é conhecido como subsunçor. Nessa teoria, esse processo é denominado de assimilação. Em contraponto, a aprendizagem mecânica é caracterizada como literal (decorada), arbitrária, armazenada na memória de curto prazo, sem significado para o indivíduo. Caracteriza-se também por ser utilizada para aplicação numa situação previamente conhecida. A reclamação dos estudantes quando na prova não está tal qual foi apresentado em sala de aula é uma das consequências do seu emprego (Moreira, 2021b; Souza *et al.*, 2019). Neste tipo de aprendizagem, a informação não interage com subsunçores específicos, sendo assim não contribui para sua elaboração e diferenciação (Moreira, 2016).

Embora se possa imaginar que as duas maneiras de aprender supracitadas são caminhos totalmente distintos, as aprendizagens significativa e mecânica não são dicotômicas. Na realidade, são os extremos de um contínuo (Valadares, 2011). Existe, portanto, uma zona cinza na qual há as características das duas (Moreira, 2012a). Além disso, pode ser conveniente, em alguns casos, a aprendizagem mecânica, como na situação em que o estudante está numa fase inicial para aquisição do conteúdo (Moreira, 2016).

É importante ressaltar que duas condições devem ser satisfeitas para que ocorra a aprendizagem significativa: a primeira se refere ao conteúdo, que deve ser potencialmente significativo. Para isso, é necessário que (1) tenha significado lógico (relacionável com os subsunçores), dessa maneira, não-arbitrário (aleatório) e não-litera, e (2) que existam subsunçores pertinentes na estrutura cognitiva do aprendiz para que aconteça a assimilação significativa. A segunda condição diz respeito à atitude do estudante, isto é, deve ter predisposição para aprender significativamente, relacionar a nova informação com a sua estrutura cognitiva (Moreira, M., 2016; Valadares, 2011; Mello *et al.*, 2023).

Exige-se que se atente para os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora para que ocorra uma aprendizagem significativa. Sobre a diferenciação progressiva, Ausubel (2003, p. 6) diz que “a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstração, generalidade e inclusão”. Quanto à reconciliação integradora, ele afirma que:

tem a tarefa facilitada no ensino expositivo, se o professor e/ou os materiais de instrução anteciparem e contra-atacarem, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes (Ausubel, 2003, p. 6).

O processo de avaliar a aprendizagem deve ser realizado em função da busca de evidências de aprendizagem significativa. Sendo assim, o professor deve propor situações novas, reformuladas, nas quais seja maximizada a transformação dos



conhecimentos adquiridos. Algumas das maneiras de avaliar a aprendizagem são: (1) solução de problemas, (2) diferenciação de ideias relacionáveis (embora não idênticas), (3) identificação de elementos de um conceito ou proposição em uma lista que também possui elementos de outros conceitos e proposições similares ou (4) proposição de tarefa sequencialmente dependente de outra, que não pode ser realizada sem uma clara compreensão da anterior (Moreira, M., 2016).

Moreira (2011) propõe uma sequência didática baseada, principalmente, na teoria da aprendizagem significativa, que denominou de UEPS. Ressalta-se que qualquer unidade de ensino que seja baseada nos princípios da teoria de aprendizagem de Ausubel pode ser uma UEPS (Ribeiro; Souza, T.; Moreira, 2018). Em seu trabalho sobre essa sequência, o autor descreve o objetivo da seguinte maneira: “desenvolver unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental” (Moreira, 2011, p. 2).

Moreira (2011) definiu oito aspectos sequenciais para elaborar uma UEPS:

- (1) Definir o conteúdo específico da disciplina.
- (2) Propor uma ou mais situações que permitam que o aprendiz demonstre conhecimentos prévios pertinentes por meio de: discussão, questionário, mapa mental, mapa conceitual, situação-problema entre outros meios.
- (3) Propor situações-problema introdutórias para a unidade de ensino que levem em consideração os conhecimentos prévios. Neste momento, não deve começar a ensinar o tópico escolhido, apenas envolvê-lo. Essas situações podem exercer o papel de organizador prévio. Conforme Moreira (2011, p. 4), a seguir são elencados alguns exemplos de situação-problema inicial: “simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, ou seja, não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo”.
- (4) Apresentar o tópico da unidade de ensino seguindo o princípio da diferenciação progressiva, isto é, primeiramente apresentar conceitos gerais e, portanto, proporcionar uma visão abrangente do tópico. Em seguida, é importante exemplificar e apresentar os conceitos mais específicos, diferenciados. Quanto à estratégia de ensino, pode-se fazer uma breve exposição oral, seguida de uma tarefa em grupos pequenos e, por fim, uma discussão em grande grupo.
- (5) Deve ser realizada uma continuação em nível mais alto de complexidade. Inicialmente deve-se retomar os aspectos, características mais abrangentes da unidade de ensino por meio de uma nova apresentação que pode ser, novamente, por meio de apresentação oral, recurso computacional, texto, entre outras estratégias. Deve-se também aumentar os níveis de complexidade das situações-problema. Também devem ser apresentados outros exemplos e, para adequar ao princípio da reconciliação integradora, deve-se evidenciar semelhanças e diferenças tanto dos exemplos quanto das situações-problema. Em seguida, propor uma outra atividade colaborativa em pequenos grupos para que os aprendizes possam negociar significados. O professor deve desempenhar o papel de mediador. Moreira (2011, p. 4) destaca os seguintes exemplos: “resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc.”.



- (6) A unidade de ensino deve ser concluída com uma nova apresentação, dando continuidade à diferenciação e retomando os aspectos mais relevantes, com vista à reconciliação integradora. Essa nova apresentação dos significados pode ser apresentada de diversas maneiras e alguns exemplos de estratégias já foram citados anteriormente. Em seguida, devem ser propostas novas situações-problema, em um nível crescente de complexidade, que devem ser resolvidas em pequenos grupos e, posteriormente, discutidas em grande grupo com a mediação do professor.
- (7) Durante a implementação, devem ser feitos registros, pois a avaliação da aprendizagem deve ser baseada em indícios de aprendizagem significativa. Também deve ser realizada uma avaliação somativa individual com questões e (ou) situações que evidenciem compreensão, captação de significados e, de maneira ideal, a capacidade de transferência. Ressalta-se que essas questões devem ser validadas por professores que possuem experiências na matéria.
- (8) Por fim, a UEPS terá sido exitosa se, por meio das avaliações realizadas ao longo da unidade, houver indícios de aprendizagem significativa.

Sobre como avaliar a aprendizagem, Moreira (2012a) enfatiza que deve ser predominantemente formativa e recursiva. A recursividade consiste em permitir ao estudante refazer as tarefas de aprendizagem.

Metodologia

Este relato diz respeito ao projeto que foi realizado durante o Programa Residência Pedagógica no período letivo de 2023.2 na turma do 6º semestre do Ensino Médio integrado ao curso técnico em Informática do IFSertãoPE, *campus* Petrolina. Este projeto está embasado na sequência didática de Moreira (2011), que propõe algumas etapas para o desenvolvimento de uma unidade de ensino que possibilite a aprendizagem significativa. Como o autor afirma que qualquer unidade de ensino que seja baseada nos princípios da teoria de aprendizagem de Ausubel pode ser uma UEPS (Ribeiro; Souza, T.; Moreira, 2018), então estruturamos de uma maneira não rígida.

A unidade de ensino foi estruturada em 7 etapas: determinação dos conhecimentos prévios, primeira situação-problema (montagem do eletroscópio), segunda situação-problema (simulação do Efeito Fotoelétrico), aprofundamento do conteúdo, nova situação-problema (mapa conceitual), revisão e avaliação somativa individual.

A montagem do eletroscópio justifica-se como um organizador prévio. Segundo Moreira (2012b), na Teoria de Aprendizagem Significativa, o organizador prévio possui a função de “ponte cognitiva”, isto é, uma interligação entre o que o estudante conhece com a nova informação. Como no mapa conceitual pode-se relacionar os conceitos, o mapa conceitual foi escolhido, pois de acordo com Moreira (2016) uma das formas de avaliação consiste na diferenciação de ideias relacionáveis. Com relação à simulação, alinha-se com o que propõe Moreira (2021a), em que sugere a utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação e o uso de laboratórios virtuais.

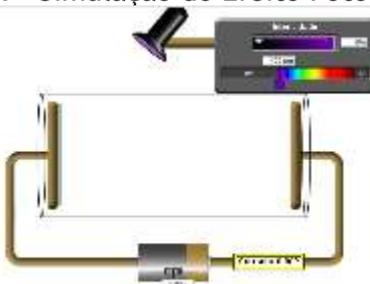
Resultados e discussão

Antes da primeira aula, disponibilizamos um formulário para a determinação dos conhecimentos prévios. Neste formulário, os estudantes demonstraram conhecimentos prévios pertinentes e, com base nisso, desenvolvemos a aula seguinte como um organizador prévio que, de acordo com Moreira (2012a), possui a função de “ponte cognitiva”, ou seja, uma interligação entre o que o estudante conhece com a nova informação.

Na primeira aula, como uma introdução às cargas elétricas, demonstramos o funcionamento do eletroscópio e também se discutiu, em conjunto com os estudantes, o princípio do experimento. Em seguida, a primeira situação-problema consistiu em os estudantes fazerem um eletroscópio com alguns itens básicos, como copo de vidro, fio metálico (arame), papel alumínio, cano PVC, papel toalha, tesoura sem ponta, fita adesiva e borracha de sandálias usadas, que foram cortadas previamente pelo bolsista para serem postas nos copos e servirem como uma tampa. Portanto, o objetivo não era fazer um eletroscópio sofisticado, na realidade esperava-se um equipamento simples e funcional. Após conseguirem fazer e demonstrar o experimento, percebeu-se a empolgação ao poder reproduzir o experimento apresentado. Portanto, acreditamos que foi um momento enriquecedor para a experiência de aprendizagem. A empolgação observada reforça a importância de atividades práticas no ensino de física, promovendo um aprendizado ativo. Além disso, evidenciou a predisposição para a aprendizagem, uma das condições para a aprendizagem significativa, como destacado por Moreira (2016) e Valadares (2011).

Na segunda aula foi proposta uma nova situação-problema, que consistiu em manipular o experimento virtual sobre o Efeito Fotoelétrico, como representado na Figura 4, disponibilizado pelo *Phet Interactive Simulations* (2024). Essa situação-problema se alinha com o que propõe Moreira (2021a), em que sugere a utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação e o uso de laboratórios virtuais.

Figura 4 - Simulação do Efeito Fotoelétrico



Fonte: *Phet Interactive Simulations* (2024)

Moreira (2011) propõe a avaliação da aprendizagem com base na compreensão, na capacidade de explicação e, de maneira ideal, na capacidade de explicar para resolver novas situações.

A partir das respostas às perguntas presentes no roteiro do experimento virtual, foi possível identificar que os estudantes compreenderam a dependência deste fenômeno em relação ao tipo de material e ao comprimento de onda, embora seja perceptível também equívoco ao afirmarem existir uma relação direta entre a corrente elétrica e a frequência. Eventualmente, esse equívoco poderia ter sido mitigado ao tentarem observar o que ocorre com a corrente elétrica no limite máximo da frequência da luz, em que perceberiam um decréscimo na corrente

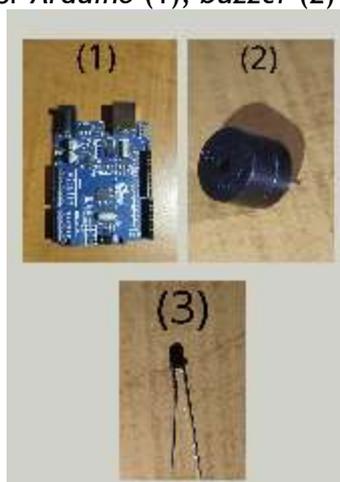
elétrica.

Quando questionados sobre a relação da intensidade da luz com o fenômeno, a grande maioria afirmou que não dependia somente dessa grandeza física. Além disso, quase todos demonstraram a compreender que as partículas ejetadas do material eram elétrons.

No entanto, a capacidade de explicação global do fenômeno foi considerada parcialmente satisfatória, pois a maioria ainda relacionou a intensidade da luz e a ocorrência do Efeito Fotoelétrico.

Na terceira aula, realizou-se o aprofundamento. Sendo assim, foi apresentado, de maneira expositiva, inicialmente, obedecendo o princípio da diferenciação progressiva (Ausubel, 2003), os conceitos gerais do Efeito Fotoelétrico. Em seguida, foram abordados a quantização da luz, níveis de energia e a equação que explica este fenômeno. Como ilustra a Figura 5, depois foi apresentado um exemplo de aplicação com o *Arduino*, que consistiu em ouvir o som emitido por um *buzzer* ao acionar um controle remoto em direção a um sensor infravermelho. Embora tenha sido uma experiência que demonstra o experimento, não foi tão eficiente para toda a sala ouvir devido ao barulho do ambiente (principalmente por causa do ar-condicionado que, aparentemente, não estava funcionando em suas condições normais) e baixa intensidade do *buzzer*.

Figura 5: Microcontrolador *Arduino* (1), *buzzer* (2) e sensor infravermelho (3)



Fonte: Elaborado pelos autores

Na quarta aula foi realizado um aprofundamento e o principal objetivo era resolver uma nova situação-problema na forma de mapa conceitual. Para iniciar, foram retomadas as características mais relevantes do Efeito Fotoelétrico. Em seguida, como proposto para uma UEPS, foi abordado, num nível mais alto de complexidade, o Efeito Fotoelétrico relacionando com os Raios X. Para introduzir os Raios X, primeiramente foi mostrado um vídeo disponível no canal do YouTube chamado Química Aplicada 77 (2019). Foram descritos, a partir do vídeo, o que são os raios catódicos, como conclui-se que são cargas elétricas, o que causa a luminescência e como surgem os Raios X. Destacamos que instigamos uma breve discussão a partir da observação de que os raios catódicos interagem com um ímã, enquanto a luz comum não, de forma que alguns estudantes concluíram que se tratavam de cargas elétricas. Depois foi apresentado um outro vídeo que mostra como acontece a aquisição da imagem por meio dos Raios X, disponível no canal Radiologia Profissional (2021).



Em seguida, foram destacadas as principais semelhanças e diferenças entre os Raios X e o Efeito Fotoelétrico. A saber, em ambos os casos, incide-se algo sobre uma superfície (No Efeito Fotoelétrico incide-se luz, enquanto para obter Raio X incide-se elétrons). A diferença está no resultado, pois no Efeito Fotoelétrico obtém-se elétrons, enquanto o Raio X é luz não visível (radiação eletromagnética). Portanto, foi ressaltado que são efeitos inversos um ao outro. Em seguida, foi realizada uma analogia por meio de um experimento simples. O objetivo foi observar a luminescência na tela de uma televisão antiga. Sendo assim, primeiramente incidiu-se um laser verde sobre a tela e nada foi observado. No entanto, ao incidir o laser violeta e movimentar o raio de luz ao longo da tela, observou-se um rastro de luz. Naquele momento aconteceu outra breve discussão sobre o porquê de acontecer ou não a luminescência. Por fim, eles foram instigados a fazerem um mapa conceitual sobre Efeito Fotoelétrico e Raio X.

Avaliamos os mapas conceituais em função das características descritas por Novak e Cañas (2010), isto é, representação hierárquica dos conceitos, ligações cruzadas e exemplos específicos ou objetos. A hierarquia implica que ideias mais inclusivas ficam no topo, enquanto que as mais específicas estão dispostas abaixo. Sendo assim, a maioria dos mapas apresentou um nível hierárquico bem definido, seguindo a orientação de pôr os conceitos gerais em elipses e os específicos em retângulos, conforme proposto por Moreira (2012c). A grande maioria dos mapas conceituais também incluíam exemplos e ficou explícita a relação correta entre conceitos por meio de setas, alinhando-se às orientações de Moreira (2012c). No entanto, pouco menos da metade apresentou ligações cruzadas entre conceitos o que, por sua vez, reflete em uma outra característica observada, a linearização. Deve-se levar em consideração que um mapa disposto vertical e linearmente (unidimensional) normalmente pode ser fruto das primeiras tentativas (Boruchovitch; Souza, N., 2010). Acreditamos que para minimizar essa característica linear dos mapas conceituais, devem ser revisados, como propõem Novak e Cañas (2010).

Na quinta aula foi realizada uma revisão. Sendo assim, iniciou com uma diferenciação dos Raios X do Efeito Fotoelétrico apresentando *gifs* dos dois fenômenos, ressaltando que são fenômenos inversos. Também foram destacados alguns exemplos desses dois conteúdos, discutindo as particularidades. Além disso, relacionou-os na aquisição de imagens. Por fim, foi destacado que na aula seguinte teria uma avaliação individual contendo os conteúdos estudados.

Na sexta aula, foi aplicada a avaliação. Nessa avaliação continham questões que evidenciavam compreensão e captação de significado (Moreira, 2011).

Na avaliação individual, os estudantes demonstraram a capacidade de explicar o Efeito Fotoelétrico em função da frequência mínima e do material sobre o qual incide a luz. Além disso, demonstraram o conhecimento de exemplos de aplicação, sendo que, em menor proporção, citaram exemplos não abordados em sala de aula.

Um pouco menos da metade se referiu corretamente aos Raios X como originado a partir da colisão de elétrons com o material, bem como boa parte ainda se referiu à luz e aos Raios X somente como onda eletromagnética. Por fim, percebeu-se uma certa dificuldade em explicar a geração das imagens de Raios X.

Conclusões



Essa experiência relatada, desenvolvida a partir do referencial teórico sólido e orientado pelo princípio da diferenciação progressiva, demonstrou-se exitosa ao abordar um conteúdo atualizado do currículo, isto é, ultrapassamos o limite comum de discutir o conhecimento físico apenas até o século XIX. A utilização de laboratório virtual, atividades experimentais, mapa conceitual e discussões em grupo promoveram a participação dos estudantes e, a partir da análise dos dados, percebeu-se indícios de aprendizagem significativa ao demonstrarem compreensão e capacidade de explicação. Em especial, destacamos a compreensão de que o Efeito Fotoelétrico depende do tipo de material e do comprimento de onda. Além disso, os conceitos bem definidos de maneira hierárquica no mapa conceitual, com exemplos. No entanto, em alguns aspectos, a capacidade de explicação e compreensão poderia ter sido melhor e isso pode ser minimizado a partir de mais situações-problema com base nos conceitos mal compreendidos. Além disso, com respeito à característica linear dos mapas conceituais, por meio de revisões.

Esses resultados reforçam a relevância de estratégias pedagógicas que priorizem a aprendizagem significativa, utilizando-se seus princípios, especialmente ao se atentar aos desafios no ensino de Física.

Por fim, observou-se que as atividades desenvolvidas possibilitaram um ambiente de aprendizado que potencialmente favoreceu à aprendizagem significativa.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pelo apoio com as bolsas do Programa de Residência Pedagógica e ao IFSertãoPE.

Referências

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução: Teopisto, L. Lisboa: Paralelo editora, 2003. 226 p.

AUSUBEL, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H. **Psicologia educacional**. Tradução: Nick, E.; Rodrigues, H. B. C.; Luciana, P.; Fontes, M. Â.; Maron, M. G. R. 2 ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625 p. BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 1999.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. [S.L]: Campus, [1979]. 928 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. Tradução: BIAS, Ronaldo Sérgio de. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 836 f. v. 4.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Tradução de Trieste Freire Ricci. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 816 p.

MELHORATO, R. L.; NICOLI, G. T. Da física clássica à moderna: o simples toque de uma sirene. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [S.L], v. 34, n. 3, set. 2012.



Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/RLBNLpPY8V4R76BDXfNcvFf/abstract/?lang=pt>.
Acesso em: 06 abr. 2023.

MELLO, B. L. *et al.* Mapas conceituais como metodologia ativa de ensino. *Revista Semiárido De Visu*, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 699-718, 29 dez. 2023. Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/526>. Acesso em: 06 nov. 2024.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em ciências: condições de ocorrência vão muito além de pré-requisitos e motivação. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista - Encitec*, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 25-35, 9 jul. 2021b. Disponível em: <https://san.uri.br/revistas/index.php/encitec/article/view/434>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [S.L.], v. 43, n. 1, 2021a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. 2012c. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2024

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** 2012a. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. *Revista Chilena de Educación Científica*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 1-11, 2012b. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MOREIRA, M. A. Unidades de enseñanza potencialmente significativas: UEPS (potentially meaningful teaching units: PMTU). *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review*, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: a aprendizagem significativa**. 2016. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios6.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. São Paulo: Blucher, 2010. 438 p. v.4.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; DENARDIN, J. C.; MAGNAGO, P. R. **Física Moderna**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/450/2020/02/fisimod.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024



PEREIRA, D. R. de O.; AGUIAR, O. Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação. *Revista Ponto de Vista*, [S. L.], v. 3, n. 1, p. 65-81, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RPV/article/view/9743>. Acesso em: 10 nov. 2024

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Efeito fotoelétrico**. s.d. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>. Acesso em: 26 ago. 2024.

QUÍMICA APLICADA 77. **Raios catódicos**. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=C2F-MVl0GRg>. Acesso em: 25 set. 2023.

RADIOLOGIA PROFISSIONAL. **Como é formada a imagem no filme de raio x**. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=VEukw-a_Nmc. Acesso em: 25 set. 2023.

RIBEIRO, T. N.; SOUZA, D. do N.; MOREIRA, M. A. O mapa conceitual como instrumento de avaliação de uma unidade de ensino potencialmente significativa (ueps) sobre o conteúdo razões trigonométricas no triângulo retângulo. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 21-37, 2018. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID135/v8_n1_a2018.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

SOUZA, F. G. da C. *et al.* Aprendizagem significativa como princípio norteador que subsidia a ação docente, sob o enfoque das teorias de Novak e Gowin. *Revista Semiárido De Visu*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 194-205, 31 ago. 2019. Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/93>. Acesso em: 07 nov. 2024.

VALADARES, J. A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 36-57, 2011. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID4/v1_n1_a2011.pdf. Acesso em: 28 jun. 2024.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV; SEARS; ZEMANSKY: ótica e física moderna**. 2016.