

IMPLEMENTAÇÃO DE PROPOSTAS DIDÁTICAS DE ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Raul Gomes Antunes¹
Cícero Thiago Gomes dos Santos²
Delza Cristina Guedes Amorim³
Newton Pionório Nogueira⁴

RESUMO

Este trabalho foi realizado no âmbito do Programa Residência Pedagógica e se destina a utilizar experimentos de Física Moderna no Ensino Médio na turma de 3º módulo do curso Médio Integrado em Eletrotécnica, no IFSertãoPE, campus Petrolina. Usou-se, como recursos didáticos, experimentos reais e virtuais, realizados no laboratório de Física e de Informática do campus. Buscou-se utilizar como recursos didáticos as tecnologias em sala de aula, dessa maneira foram tratados experimentos reais, utilizando Arduíno, de radiação térmica e efeito fotoelétrico, bem como também virtuais sobre o efeito fotoelétrico (*Phet Interactive Simulations*) e átomo de Bohr (*Vascak*). Para avaliar a aprendizagem utilizou-se, parcialmente, a metodologia de Previsão, Observação e Explicação (POE) e questionários. Adicionamos, entre a Previsão e a Explicação, aula expositiva dialogada sobre cada novo conteúdo. Destaca-se que obtivemos bons resultados a partir da utilização desses experimentos em sala de aula, a partir da comparação das respostas presentes da previsão e explicação, tendo em vista que houve um significativo aprimoramento das respostas. Portanto, pode-se concluir que é possível estudar Física Moderna, em especial os conteúdos aqui propostos, aliados à metodologia POE, no Ensino Médio. Por fim, a metodologia também foi bem aceita pela turma, corroborando que esse tipo de abordagem é importante para a aprendizagem no ensino de Física.

Palavras-chave: Física Moderna, Experimentos, POE.

INTRODUÇÃO

A Física Clássica não permite explicar alguns fenômenos sem apresentar contradições no mundo na escala atômica. Um exemplo é a estabilidade do elétron. O elétron realiza um movimento circular nos orbitais eletrônicos e, de acordo com a Mecânica Clássica, possui uma aceleração centrípeta. A partir da Teoria Eletromagnética Clássica sabe-se que uma partícula carregada que possui aceleração emite radiação eletromagnética. Dessa maneira, o elétron

¹ Graduando do Curso de Licenciatura em Física do IFSertãoPE - Campus Petrolina, raul.antunes@aluno.ifsertao-pe.edu.br;

² Doutor pelo Curso de Física da Universidade Federal da Bahia, cicero.thiago@ifsertao-pe.edu.br;

³ Mestra pelo Curso de Educação, Cultura e Territórios Semiáridos da Universidade do Estado da Bahia, delza.cristina@ifsertao-pe.edu.br;

⁴ Mestrado em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Vale do São Francisco – BA, newton.nogueira@ifsertao-pe.edu.br.

perderia energia até colidir com o núcleo. Contudo, isso não acontece na prática, evidenciando, portanto, que a Mecânica Clássica não é adequada para explicar fenômeno do mundo atômico (Palandi; Figueiredo; Denardin; Magnago, 2010).

A Física quântica explica esse fenômeno. Essa teoria tem como base fenômenos que não são verificáveis por meio dos sentidos humanos e os conceitos são seus derivados. Sendo assim, não é incomum e não relacionados diretamente com a vivência cotidiana (Ibid, 2010),

Rutherford propôs um modelo atômico o qual é constituído de uma estrutura maciça em seu centro, de carga positiva, e envolto pelos elétrons, carga negativa, em igual quantidade das cargas positivas (Marques; Caluzi, 2003). Baseando-se no modelo atômico de Rutherford, Bohr propôs também propôs um modelo. Para desenvolvê-lo, iniciou a partir das condições necessárias para ocorrer a estabilidade mecânica no átomo, levando em consideração que o elétron, com carga negativa, gira em movimento circular em torno do núcleo fixo, com carga positiva. Bohr enunciou dois postulados: (1) existência de estados estacionários e define o número quântico principal e (2) a emissão e absorção de radiação eletromagnética é discreta, bem como está relacionada com a transição entre dois estados estacionários (Riveros, 2013).

O efeito fotoelétrico é outro fenômeno que também foi explicado com o advento da Física Moderna. Como explicam Valadares e Moreira (1998), esse efeito pode ser observado por meio da incidência de radiação, sobre um material condutor ou semicondutor, com uma determinada frequência e independe da intensidade. Sob essa condição, os elétrons que constituem o átomo do material são promovidos a elétrons livres.

As atividades experimentais são relevantes para a motivação dos estudantes, mesmo que não sejam quantitativas, que é uma dificuldade que normalmente o professor de Física vivencia (Pereira; Aguiar, 2020).

A metodologia Predict – Observe – Explain (Previsão, Observação e Explicação - POE), segundo Sasaki e de Jesus (2017), permite utilização de, por exemplo, experimentos e/ou simulações. Na primeira etapa o estudante deve realizar a previsão daquilo que o professor apresenta. Na segunda, da observação, deverá realizar e (ou) observar o experimento (e/ou simulação) e, em seguida, deverá comparar a previsão com a observação.

Essa metodologia contribui para que o professor possa entender o que gera as dificuldades de compreensão de um determinado conceito, sendo aliado para que possa traçar estratégias de como contornar esses obstáculos na aprendizagem (Medeiros, 2019)

Conforme afirmado por Marques et al. (2019), nos últimos dez anos, a maioria dos estudos publicados sobre o ensino de Física Moderna no Ensino Médio concentra-se em

propostas didáticas, porém menos da metade delas são testadas em ambiente escolar. Portanto, há uma clara necessidade de implementar e avaliar propostas em sala de aula.

Dessa forma, buscou-se utilizar recurso didático, bem como propor experimentos para Ensino de Física Moderna no Ensino Médio e avaliar sua eficiência no processo de ensino-aprendizagem por meio da metodologia POE. Utilizou-se recursos didáticos reais disponibilizados em artigo, bem como em sítio eletrônico de universidade. Além disso selecionou-se experimentos virtuais que tratam do efeito fotoelétrico e átomo de Bohr. Com isso busca-se responder a seguinte pergunta: os experimentos selecionados de Física Moderna, em conjunto com a metodologia POE, ajudam no processo de ensino aprendizagem?

Evidenciou-se um bom resultado na utilização dos experimentos, principalmente no de radiação térmica e efeito fotoelétrico.

METODOLOGIA

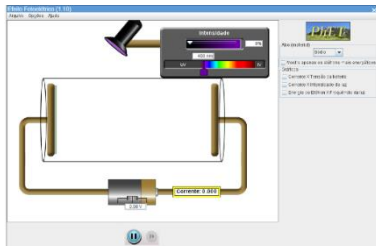
Este projeto foi realizado no âmbito do Programa Residência Pedagógica com 41 estudantes de uma turma de 3º módulo do curso Médio Integrado em Eletrotécnica, no IFSertãoPE, campus Petrolina.

Alguns experimentos foram selecionados. Experimento de radiação térmica, baseado no experimento disponibilizado no sítio eletrônico da UFGRS (s.d), substituindo-se o termômetro de mercúrio por Arduíno e sensor de temperatura acoplado a esse microcontrolador. Experimento qualitativo sobre o efeito fotoelétrico, baseado em Silva e Assis (2012), também com algumas modificações. Bem como experimentos virtuais sobre efeito fotoelétrico e átomo de Bohr.

O experimento real sobre radiação térmica foi realizado no laboratório de Física Experimental do curso de Licenciatura em Física do IFSertãoPE, campus Petrolina. Os experimentos virtuais ocorreram no laboratório de informática.

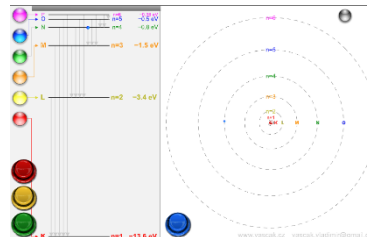
Para realizar as atividades experimentais do projeto foram utilizadas, predominantemente, tecnologias para contextualizar, como proposto por Moraes e Silva Júnior (2014), tendo em vista que estamos imersos nelas, dentre elas Arduíno e experimentos virtuais disponíveis em *Phet Interactive Simulations* (Figura 1) e *Vascak* (Figura 2).

Figura 1 - Simulador do efeito fotoelétrico



Fonte: Phet Interactive Simulations (2023)

Figura 2 - simulador do átomo de Bohr



Fonte: Vasck (2023)

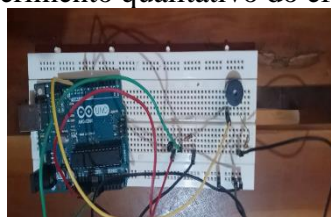
O simulador do efeito fotoelétrico utilizado neste projeto está disponível no sítio eletrônico *Phet Interactive Simulations*. Esse simulador permite alterar o comprimento de onda, a intensidade da luz, o material cuja luz incidirá sobre ele, bem como a tensão entre o cátodo e o ânodo. A simulação do átomo de hidrogênio, de acordo com a teoria de Bohr, está disponível no sítio eletrônico *Vasck*. Nele é possível variar apenas a posição do elétrons entre os estados estacionários.

Utilizou-se, parcialmente, a metodologia Previsão, Observação e Explicação, pois não solicitamos que os estudantes comparassem a previsão com a explicação. Ressalta-se que entre a previsão e a observação realizou-se aulas expositivas dialogadas sobre o conteúdo. Utilizou-se questionários, com questões abertas, tanto para os estudantes expressarem suas previsões quanto para explicarem os resultados dos experimentos. Os questionários da explicação foram disponibilizados no formato de roteiro de experimentação.

Utilizou-se os seguintes equipamentos para realizar, em 4 grupos, o experimento de radiação térmica: 4 microcontroladores Arduíno, fios jumpers, alguns resistores, 4 *protoboard*, 4 sensores de temperatura DS18B20, 4 notebooks, 4 lâmpadas incandescentes, 4 régua centimetradas e 4 pequenas caixas de MDF para pôr as lâmpadas. Todos esses equipamentos são de fácil aquisição e de baixo custo.

No experimento real qualitativo sobre o efeito fotoelétrico (Figura 3) utilizou-se: Arduíno, fios jumpers, sensor de radiação infravermelho de 3 mm, *buzzer* ativo, resistores e um controle remoto. Ressalta-se que, neste caso, foi um experimento qualitativo, portanto, apenas para demonstrar o efeito.

Figura 3 - experimento qualitativo do efeito fotoelétrico

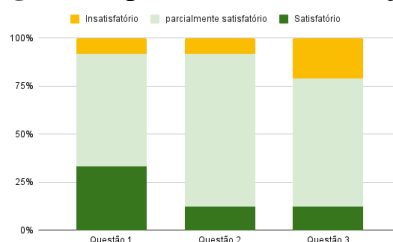


Fonte: elaborado pelos autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira aula foi sobre radiação térmica e corpo negro. Na previsão (Figura 4) pediu-se para que o estudante, individualmente, imaginasse dois recipientes metálicos, um pintado de preto e outro branco. Sobre esses recipientes iria incidir luz.

Figura 4 - previsão sobre radiação



Fonte: elaborado pelos autores

Somente essa previsão foi realizada individualmente, com 24 estudantes, diferentemente da explicação que foi realizada em grupo. As questões 1 e 2, sobre reflexão e absorção, pede-se para determinar qual recipiente esquentaria mais rapidamente. Avaliou-se como satisfatórias respostas que afirmaram que o recipiente preto melhor absorve a radiação e reflete uma certa parcela, acontecendo o contrário no recipiente branco. As respostas em que afirmaram, por exemplo, que o recipiente preto absorveria toda a radiação, considerou-se como parcialmente satisfatórias para este problema. Respostas em branco ou não evidenciou-se o que se buscava, foram classificados com insatisfatórias.

A questão 3 é a análise de aplicação no cotidiano. Deu-se enfoque para a reflexão e absorção, as quais iriam ser avaliadas por meio do experimento. Avaliou-se como satisfatórias respostas que consideraram a reflexão e absorção da luz e insatisfatórias as que não consideraram. Aquelas que falaram apenas ou a reflexão ou absorção, classificou-se parcialmente satisfatórias.

Na aula expositiva dialogada abordou-se o modelo ondulatório para radiações eletromagnéticas de Maxwell, experimento de Hertz, definição de radiação térmica, lei de Stefan-Boltzmann e a lei de deslocamento de Wien.

Na aula seguinte, realizou-se o experimento sobre radiação térmica (Figura 5). Dividiu-se em grupos de até 8 estudantes. Inicialmente, deveriam pôr os recipientes sobre o sensor de temperatura a 20 cm da lâmpada incandescente ligada. A cada um minuto anotaram a temperatura (mostrada na tela do notebook). Por fim, responderam a alguns questionamentos presentes no roteiro para explicar a observação, como apresentado na Figura 6.

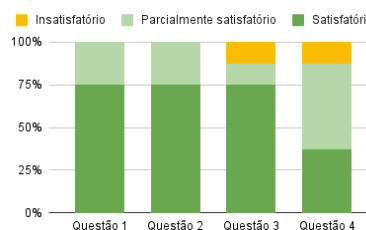


Figura 5 - experimento de radiação térmica



Fonte: elaborado pelos autores (2023)

Figura 6 - explicação sobre radiação térmica



Fonte: elaborado pelos autores

Sobre as questões 1 e 3, percebeu-se um bom resultado na aprendizagem, principalmente no fato de que eles passaram a levar em consideração que, numa situação real, o corpo negro absorve melhor a radiação (luz), conseqüentemente esquenta mais, bem como notaram que o corpo branco reflete melhor a radiação. Na previsão, majoritariamente, consideraram uma situação ideal.

Sobre a questão 2, respostas dessa natureza classificamos como satisfatórias por aplicar os conceitos estudados em possíveis situações do dia a dia:

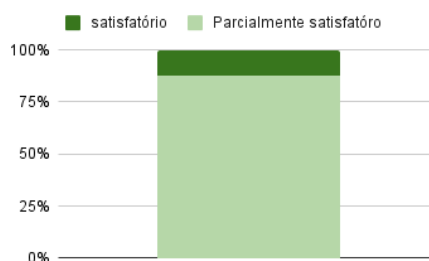
G1: “Pintando o asfalto de branco diminuiria a temperatura”.

G2: “Um exemplo para o dia a dia é blusa branca, por não absorver tanto”.

Sobre a questão 4, pede-se para analisar uma situação do cotidiano. Boa parte dos grupos teve um desempenho parcialmente satisfatório, isto é, considerou apenas a reflexão ou a absorção.

A terceira aula foi sobre efeito fotoelétrico. A turma foi dividida em grupos de até 3 estudantes. São apresentados os resultados da previsão na Figura 8.

Figura 7 - desempenho dos grupos na questão 1 - previsão (%)



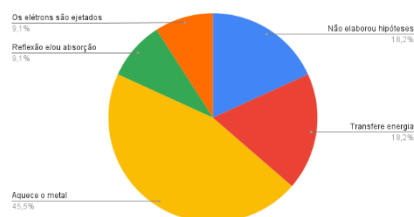
Fonte: elaborado pelos autores

Quanto à primeira questão, boa parte dos grupos relacionou a luz somente com onda eletromagnética ou radiação (parcialmente satisfatória) e apenas 1 grupo relacionou tanto com onda quanto com partícula (satisfatória).



Quanto à segunda pergunta, boa parte dos grupos elaboraram hipóteses corretas do que aconteceria com os elétrons de um metal, levando em consideração que uma luz incide sobre o material. No entanto, apenas um grupo demonstrou que, mesmo de maneira superficial, conhecia o efeito fotoelétrico.

Figura 8 - hipóteses elaboradas pelos grupos

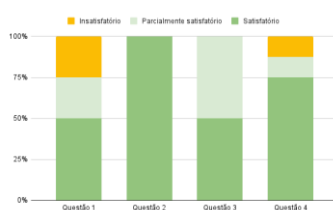


Fonte: elaborado pelos autores

Em seguida, realizou a aula expositiva dialogada abordando, inicialmente, uma perspectiva histórica, por conseguinte falou-se sobre as propriedades das ondas. Foi também demonstrado o experimento qualitativo do efeito fotoelétrico utilizando Arduino, que consiste em ouvir o som devido à incidência de radiação infravermelho do controle remoto no sensor infravermelho que, por sua vez, aciona um *buzzer*. Abordou-se também a quantização, o que é o fóton, função trabalho e equação do efeito fotoelétrico. Por fim, os estudantes tiveram de acessar ao simulador do efeito fotoelétrico disponível no *Phet Interactive Simulations*.

Eles foram instruídos a pôr, no simulador, alguns comprimentos de onda e, em seguida, aumentar a intensidade da onda. O resultado da explicação está presente na Figura 9.

Figura 9 - explicação sobre o efeito fotoelétrico



Fonte: elaborado pelos autores

Na questão 1, grupos que relacionaram o efeito fotoelétrico com o comprimento de onda, a cor ou a frequência responderam satisfatoriamente. Parcialmente satisfatório, aqueles que erroneamente disseram que dependeria da intensidade da luz. E insatisfatórios quando não responderam. Verifica-se, portanto, que no geral, boa parte dos grupos conseguiu explicar corretamente o porquê de o elétron ser arrancado.

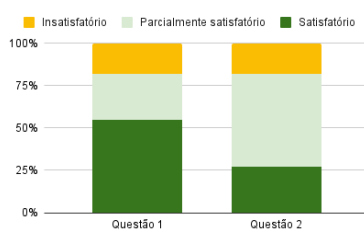
Percebe-se, a partir da questão 2, que todos os grupos entenderam corretamente que existe uma frequência de corte para um determinado material.

Na questão 3 nota-se que apenas a metade dos grupos considerou, satisfatoriamente, que a luz pode se comportar como onda e partícula, a outra metade considerou apenas como onda.

Por fim, na questão 4 verifica-se que boa parte da turma explicou bem o efeito fotoelétrico. Nas palavras deles, os elétrons seriam: “arrancados”, “liberados” ou “emitidos” do material metálico, devido à incidência da luz. Um grupo não mencionou a luz que incidiria sobre o material (parcialmente satisfatório) e outro não explicou efeito (insatisfatório).

A quarta e última aula foi sobre o modelo atômico de Bohr. A previsão é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - previsão dos grupos - Modelo Atômico de Bohr



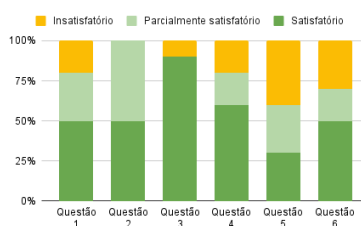
Fonte: elaborado pelos autores

Na questão 1, foram classificadas como satisfatórias respostas que descreveram que o átomo seria, pelo menos, constituído de prótons e nêutrons no núcleo e elétrons na eletrosfera. Parcialmente satisfatória aquelas que não descreveram algumas dessas partículas supracitadas ou não fez referência ao núcleo ou eletrosfera. Neste caso, somente um grupo descreveu de maneira insatisfatória.

Na questão 2 pediu-se que desenhassem o átomo. Desenhos com a estrutura supracitada foram classificados como satisfatórios. Ressalta-se que boa parte dos grupos não definiu onde está localizada cada partícula no átomo, portanto, parcialmente satisfatórios. E insatisfatórios aqueles que, também, desenharam a carga negativa no centro do desenho.

Na aula abordou-se: átomo de Rutherford e o problema da estabilidade mecânica, postulados de Bohr e seu modelo e diagrama de nível. Em seguida, realizaram o experimento virtual, disponível no simulador *Vascak*. Por fim, os estudantes responderam algumas perguntas a partir do simulador e o resultado é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - explicação dos grupos – Modelo Atômico de Bohr



Fonte: elaborado pelos autores

Nas perguntas 1 e 2 buscou-se saber se perceberam que na transição de níveis acontece a emissão ou absorção de fóton (satisfatórias). Uma parte significativa não diferenciou a emissão e absorção em cada situação (parcialmente satisfatória).

Na questão 3 a maioria dos estudantes determinou corretamente que, na situação apresentada, o fóton emitido não seria visível aos nossos olhos.

Na questão 4, pedia-se para explicar as transições de níveis. A maioria relacionou satisfatoriamente. Uma parte apenas afirmou que estaria relacionado com a emissão ou com a absorção (parcialmente satisfatória).

A questão 5 foi a que tiveram o menor desempenho nesta aula. Satisfatórias foram aquelas respostas que afirmaram que o elétron pode assumir apenas estados específicos. No entanto, percebeu-se que uma parcela dos estudantes entendeu que a pergunta se referia aos níveis de energia quantizados ou que entre os níveis de energia o elétron estaria assumindo um estado, mas teria a consequência da emissão ou absorção de fóton. Sendo assim, talvez a pergunta tenha induzido ao erro. Por exemplo, respectivamente:

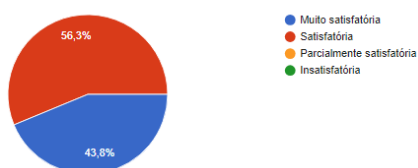
G1: “Sim, ele pode, pois em qualquer estado estacionário ou estático, que não absorve ou emita energia”.

G2: "Sim, mas ele libera ou recebe energia no processo".

Na questão 6, classificou-se como satisfatórias aquelas que afirmaram que há emissão de mais energia quando o elétron é transferido para uma camada mais interna, o oposto disso classificou-se como insatisfatórias. Uma pequena parcela, por exemplo, apenas afirmou que o elétron absorve e emite energia durante o processo de transferência para outras camadas, portanto, parcialmente satisfatório.

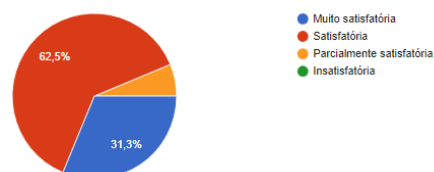
Também se disponibilizou um questionário e 16 estudantes avaliaram a metodologia. A Figura 12 e a Figura 13 apresentam parte dessa avaliação.

Figura 12 - sobre o uso de experimentos



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 13 - sobre a metodologia POE



Fonte: elaborado pelos autores

Solicitou-se que descrevessem aspectos positivos e (ou) negativos sobre o uso da metodologia durante o semestre. Destacam-se alguns:

Positivos:

A1: “Ter um entendimento melhor dos assuntos estudados. Conseguir entender as experiências feitas”.

Portanto, percebe-se que esses experimentos contribuíram, também, para a alfabetização científica.

A2: “Aprendizagem ativa, desenvolvimento de habilidades científicas e estímulo à curiosidade e criatividade”.

Negativos:

A3: “dos aspectos negativos um seria que nossa sala é muito grande e as vezes alguns ficavam dispersos”.

A4: “supervisão para q os alunos n fugissem do foco na hora de mexer nos computadores, as vezes até eu mesmo fugia do foco enfrente a tela do computador”.

O estudante A3 está se referindo ao fato de a turma ser grande.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs-se a avaliar, por meio dos questionários com os quais realizou-se a previsão e explicação, a utilização de alguns experimentos reais e virtuais para o ensino de Física. Percebeu-se um resultado positivo na aprendizagem dos estudantes com a utilização do experimento de radiação térmica. Ao comparar com a previsão, vemos que houve uma mudança significativo nas respostas, tendo em vista que eles notaram que, numa situação real, acontece uma melhor absorção de radiação pelo recipiente preto, bem como uma melhor reflexão pelo recipiente branco, diferentemente da previsão, na qual a maioria considerou uma situação ideal. Os grupos também citaram exemplos pertinentes de aplicação do conteúdo estudado.

No que se refere ao uso do simulador do efeito fotoelétrico, destaca-se que a maioria dos estudantes explicou bem o fenômeno, evidenciando que o conjunto aula e observação foi suficiente para compreenderem e poder explicá-lo. Explicaram, portanto, por meio de diversos verbos, que haveria a emissão dos elétrons, tais quais: “arrancados”, “liberados” ou “emitidos” do material metálico, devido à incidência da luz.

No que se refere ao simulador do modelo atômico de Bohr, destaca-se que a maioria dos estudantes relacionou de maneira satisfatória que a transição de níveis estaria relacionada com a emissão ou absorção de fóton. No entanto, nessa aula teve-se um resultado bem abaixo do esperado. Como perspectiva futura, é pertinente analisar com mais detalhes outras situações-problema do dia a dia para, depois, apresentar uma nova situação dessa natureza; Planejar as intervenções num cronograma maior para que o estudante possa pensar melhor sobre os questionamentos; utilizar uma metodologia de aprendizagem significativa que valorize a interação entre professor e estudante, bem como utilizar a recursividade que, como afirma Moreira (2011) o professor disponibiliza as atividades realizadas pelos estudantes, dessa maneira, caso ache pertinente, pode refazê-la. Ressalta-se que não se tem como finalidade realizar conclusões gerais a partir desse trabalho e, ao levar em consideração essas sugestões em trabalhos futuros pode-se, eventualmente, obter melhores resultados. A partir deste trabalho buscou-se contribuir na investigação sobre o tema, adotando uma abordagem que evidenciou resultados satisfatórios.

A partir desse trabalho também se tem como perspectiva futura analisar, em sala de aula, o gradiente de temperatura variando a distância entre a fonte de radiação e o recipiente metálico.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

UFRGS. **Corpo negro**. s.d. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/oei/exp/exp3.html>. Acesso em: 02 abr. 2023.

MARQUES, D. M.; CALUZI, J. J. Ensino de química e história da ciência: o modelo atômico de Rutherford. In: **Anais do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru (SP), 2003.

MARQUES, T. C. de F. et al. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1-08, 9 ago. 2019.

MEDEIROS, J. G. T. de. **Explicações científicas escolares para o conceito de densidade a partir de atividades baseadas na POE (previsão, observação e explicação)**. 2019. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ensino de Ciências e Matemática, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MORAES, José U. P.; SILVA JUNIOR, R. S. **Experimentos didáticos no ensino de física com foco na aprendizagem significativa**. Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 61-67, 2014. .

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.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; DENARDIN, J. C.; MAGNAGO, P. R. **Física Moderna**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

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.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Efeito Fotoelétrico**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric. Acesso em: 02 out. 2023.

RIVEROS, J. M. O legado de Niels Bohr. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 7, p. 931-932, out. 2013.

SASAKI, D. G. G.; JESUS, V. L. B. de. Avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa em óptica geométrica através da investigação das reações dos alunos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 39, n. 2, 19 jan. 2017.

SILVA, L. F. da; ASSIS, A.. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 313-324, 11 set. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

VALADARES, E. de C.; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Cad.Cat.Ens.Fís.**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.

VASCAK. **Átomo de Bohr**. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&l=pt. Acesso em: 02 out. 2023.