

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA EM RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO

*IMPLEMENTATION OF A POTENTIALLY SIGNIFICANT DIDACTIC SEQUENCE IN
BLACK BODY RADIATION AND PHOTOELECTRIC EFFECT*

Haylan Cleiton Monteles de Sousa¹
Glauco Cohen Ferreira Pantoja²
Wagner Pinheiro Pires³

Resumo

Este artigo é um recorte de um trabalho de dissertação que tem como foco facilitar e minimizar as dificuldades de aprendizagem dos discentes em relação ao Ensino de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. O objetivo geral é detalhar o produto educacional produzido nesse trabalho acadêmico e também mostrar o que foi observado como evidência de invariantes operatórios obtidos por meio de instrumentos de coleta de dados respondidos pelos discentes participantes da pesquisa. O produto educacional se baseou em um sequência didática, com enfoque na metodologia de ensino baseada na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Moreira. No que diz respeito às evidências de invariantes operatórios, elas advêm do caso de se adotar como teoria de aprendizagem a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud. O produto educacional é composto das seguintes etapas: interação com simuladores virtuais, exposição pelo docente dos assuntos propostos, demonstração de experimentos de conceitos físicos, resolução de problemas a lápis e papel pelos discentes, estudo de temáticas relacionados à Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico e atividades de avaliação. Em relação aos invariantes operatórios, destacam-se os seguintes conceitos em ação: buraco negro, radiação, energia, ondas eletromagnéticas e suas características, massa, temperatura, calor, potência, elétrons e circuito elétrico simples. Espera-se que os resultados apresentados aqui e outros dentro do contexto de aplicação da proposta educacional em sala de aula sejam cada vez mais acessíveis e lidos pelos docentes, gerando assim bons impactos no Ensino de Mecânica Quântica em sala de aula.

Palavras chave: Ensino de Física; Teoria dos Campos Conceituais; Mecânica Quântica.

¹ Mestre em Ensino de Física do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Campus Santarém. Atualmente, é Professor no Instituto Federal do Pará (IFPA), Campus Itaituba.

² Doutor em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). É professor associado I da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) Campus Santarém.

³ Doutor em Física pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Campus Santarém.

Abstract

This article is an excerpt from a dissertation that aims to facilitate and minimize students' learning difficulties regarding the teaching of Black Body Radiation and Photoelectric Effect. The main objective is to detail the educational product developed in this academic work and also to demonstrate what was been observed as evidence of operative invariants obtained through data collection instruments which were answered by the students participating in the research. The educational product was based on a didactic sequence, focusing on a teaching methodology derived from Moreira's concept of a Potentially Significant Teaching Unit (PSTU). In terms of evidence for operational invariants, this arises from the case of adopting Gérard Vergnaud's Theory of Conceptual Fields (TCF) as the learning theory. The educational product is composed of the following stages: interaction with virtual simulators, exposition of the proposed topics by the professor, demonstration of experiments involving physical concepts, resolution of problems with pencil and paper by the students, study of themes related to Black Body Radiation and Photoelectric Effect and assessment activities. Regarding the operational invariants, the following concepts in action are highlighted: black hole, radiation, energy, electromagnetic waves and their characteristics, mass, temperature, heat, power, electrons and simple electrical circuit. It is expected that the results presented here and others within this context of implementing this educational proposal in the classroom will become increasingly accessible and will be read by teachers, thereby generating positive impacts on the teaching of Quantum Mechanics in the classroom.

Keywords: Teaching; Learning; Quantum Mechanics.

Introdução

Nesse artigo será apresentado um recorte de um trabalho de dissertação de mestrado profissional que teve como foco facilitar e minimizar as dificuldades de aprendizagem dos discentes em relação ao Ensino de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Esses assuntos foram escolhidos em virtude de serem os primeiros conceitos a serem trabalhados em Ensino de Mecânica Quântica (MQ) no Ensino Médio.

Além disso, podemos destacar que as revisões de literatura Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) e Marques *et al.* (2019) que englobam os artigos produzidos no período entre 2008 a 2018, enfatizam a necessidade de mais produções e divulgações de resultados de implementação de propostas didáticas em sala de aula, nas áreas de ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) e em caso mais específico em ensino de MQ.

O objetivo geral é detalhar o produto educacional produzido nesse trabalho acadêmico e também mostrar o que foi observado como evidências de invariantes operatórios obtidos por meio dos instrumentos de coleta de dados respondidos pelos

discentes participantes da pesquisa. O produto educacional se baseou em uma sequência didática, com enfoque na metodologia de ensino baseada nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) de Moreira. Em relação às evidências de invariantes operatórios, elas advêm do caso de se adotar como teoria de aprendizagem a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud.

Leva-se em conta que o produto educacional tem como base de referência metodológica as UEPS de Moreira. De acordo com essa metodologia proposta por Moreira (2012), os princípios importantes são: o conhecimento prévio do discente; os materiais didáticos que sejam potencialmente significativos; a predisposição do aprendiz em aprender o novo conhecimento.

A teoria dos campos conceituais, usada como referencial teórico na análise dos dados coletados, serviu como base para explicitação dos invariantes operatórios expressos pelos discentes. Segundo essa teoria, o processo de conceitualização pelo sujeito ocorre por meio da interação deste com situações e problemas pertencentes a um determinado campo conceitual. Esse campo conceitual envolve o uso de conceitos, procedimentos, relações e representações pertencentes a um determinado conceito de estudo (MOREIRA, 2002).

Então, será visto no próximo tópico o aporte teórico referente ao papel do professor dentro desse contexto de metodologia de aprendizagem. Em seguida, será detalhada a metodologia de aplicação do produto educacional e a base teórica de construção do produto educacional. Nos resultados, serão detalhados o produto educacional produzido e os invariantes operatórios percebidos na interação dos discentes com as situações proporcionadas pela sequência didática. Após isso, serão apresentadas as considerações finais acerca do trabalho.

Aporte teórico

O pesquisador Gérard Vergnaud é o autor da Teoria dos Campos Conceituais, foi diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) na França. Ele foi discípulo de Piaget e, baseado nas ideias de seu mestre, adaptou as contribuições para compreender o processo de desenvolvimento cognitivo do sujeito em situação (MOREIRA, 2002). A TCC baseia-se no fato de que o desenvolvimento cognitivo depende do domínio de situações e problemas, cujo rigor é inerente ao uso

de conceitos, procedimentos, relações e representações. A fundamentação do TCC pelo Vergnaud se baseou em três argumentos:

I) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situações; II) uma situação não se analisa com um só conceito; III) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se estende ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes (MOREIRA, 2002, p. 9).

Uma das funções do professor dentro desse contexto teórico é proporcionar situações frutíferas e variadas, a fim de que os os alunos possam desenvolver seus esquemas. Esse conceito advém da teoria de Piaget, durante as atividades vivenciadas em situações. Presente nessa interação entre o sujeito e a situação-problema, devemos considerar o conhecimento prévio do aluno para que assim possamos recomendar situações adequadas ao nível cognitivo do aprendente. Isso porque Vergnaud, em sua teoria da TCC, leva em consideração a contribuição de Vygotsky sobre a Zona de Desenvolvimento Proximal - ZDP, no momento da interação do sujeito com a situação. O professor precisa desestabilizar o aluno considerando essa ZDP, para que o aluno não se sinta entediado ou desanimado diante das facilidades ou dificuldades extremas oferecidas pelas situações problemáticas.

Observa-se também que na troca de conhecimento entre professor e alunos, o que os alunos sabem sofrem modificações lentas nessa relação, que até certo ponto podem chegar a ser composto por uma mistura de conhecimentos alternativos e científicos. Nesse ponto, eles podem usar de forma alternada conhecimentos alternativos ou científicos na resolução de situações-problemas. Deve-se, assim que possível, levar os alunos a usarem ou priorizarem o uso do conhecimento científico dentro do espaço acadêmico e de suas áreas de atuação.

Dessa forma, o domínio do conhecimento científico perpassa pelo uso da linguagem, pois através dela expressamos os pensamentos, ideias e entendimento de determinados conteúdos. Tanto o professor quanto o aluno usam a linguagem para compartilhar significados um com o outro. Além disso, o professor deve demonstrar um uso versátil das representações do conhecimento científico, desde a linguagem natural até o formalismo rigoroso exigido pela situação. Esses aspectos, quando apresentados aos alunos pelo docente, oferecem-lhes opções de ferramentas que

variam do mínimo ao máximo de eficiência e eficácia na resolução de situações-problemas (MOREIRA, 2002).

Então o uso de situações-problemas, da linguagem e representações diversificadas presentes em uma determinada área do conhecimento científico traz implicações para o desenvolvimento cognitivo do discente, pois o mesmo vai enriquecendo de forma progressiva esquemas e representações conforme vai dominando novas situações. E assim o sujeito começa a ter base para explicitar os conhecimentos implícitos na ação através do uso da linguagem e representações simbólicas, em colaboração aos que já são expressas naturalmente de forma predicativa por este.

Em seguida será detalhado a parte metodológica do trabalho, em que será detalhado o público alvo da pesquisa, a descrição da metodologia de pesquisa e também da metodologia de ensino.

Encaminhamento metodológico

O trabalho foi desenvolvido em uma instituição da Rede Federal que está localizada no município de Itaituba - PA , com uma das turmas do 3º ano do curso técnico integrado ao Ensino Médio. O público contemplou 16 alunos dessa turma, com idades em torno dos 18 anos. Desses 16 alunos, somente um não assinou o termo de autorização para uso dos dados produzidos da aplicação do produto educacional em sala de aula, os modelos usados se encontram no apêndice A e B. Contabilizando assim para análise dos dados somente a participação efetiva de 15 discentes.

O uso dos seguintes documentos: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido que estão contidos no apêndice A e B, são importantes para fazer a utilização dos dados coletados na pesquisa. Isso porque os participantes da pesquisa autorizaram a coleta dos dados, o uso e divulgação para fins de pesquisa acadêmica, e tudo isso seguindo no anonimato as informações pessoais do público participante da pesquisa.

No segundo semestre de 2022, quando o trabalho foi implementado, o ensino na instituição já estava estabelecido de forma totalmente presencial devido à pandemia da Covid-19, o que provocou a adoção do ensino remoto em 2020 e também no período 2021/1. Em 2021/2 foi estabelecido o ensino de forma híbrida e a partir de 2022/1 de forma presencial, com algumas exceções de forma remota.

O trabalho consistiu na elaboração de um produto educacional aplicado a uma das turmas do 3º ano no período letivo 2022/2. A construção desse produto se baseou no referencial teórico de aprendizagem da TCC de Gérard Vergnaud e na metodologia de Ensino das UEPS de Moreira (2011). A análise de dados se baseou na Análise quali-quantitativa dos dados, comparando com referencial teórico de aprendizagem da TCC.

A coleta de dados dos alunos se baseou em instrumentos como entrevistas, questionários abertos e fechados, realização de questões e gravação de áudios e vídeos das atividades realizadas. Foram usadas essas estratégias de coleta de dados devido a função de produzirem informações capazes de inferir representações usadas pelos estudantes.

Metodologia de Ensino

Com o intuito de ensinar os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, buscou-se desenvolver situações que motivassem a participação dos alunos nas atividades. A organização do Ensino se deu com aumento gradativo de complexidade, em que se abordavam situações-problemas.

A metodologia de Ensino decorreu com a aplicação do Produto Educacional durante o período do 4º bimestre do ano de 2022. Foram utilizados materiais de apoio, textos didáticos digitais e impressos disponibilizados aos alunos, links de acesso ao uso dos softwares educativos e grupo de WhatsApp (aplicativo multiplataforma de mensagens instantâneas) de Física III da turma.

Os locais de realização de atividades presenciais foram a sala de aula da turma, os laboratórios de informática disponíveis e o laboratório de Física. As atividades remotas foram sempre repassadas pelo grupo do WhatsApp da disciplina e reforçadas durante as aulas presenciais.

A seguir temos o embasamento teórico que orientou a Construção do Produto Educacional, sendo uma sequência didática com base dos moldes das UEPS de Moreira (2011).

Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

As UEPS são sequências didáticas baseadas em uma teoria de aprendizagem, mais especificamente na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, partindo da premissa que só há ensino quando se tem aprendizagem, sendo esta última o objetivo final e o ensino o processo para alcançá-la. Com base nisso, serão apresentados os detalhes para construção de uma sequência didática nos moldes das UEPS (MOREIRA, 2011).

Da teoria de aprendizagem significativa, a variável mais importante é o conhecimento prévio. O conhecimento prévio do estudante vai servir como facilitador ou como barreira para aprendizagem do novo conhecimento. Assim, é importante levá-lo em consideração no ensino para que o discente possa assimilar o novo conceito de forma significativa. Duas condições são essenciais para a aprendizagem significativa, são elas: os materiais didáticos que sejam potencialmente significativos e a predisposição do aprendiz em aprender o novo conhecimento (MOREIRA, 2012).

Na sequência didática, são preparados materiais didáticos com objetivo de auxiliar no ensino dos novos assuntos, mas isso não garante a finalidade de aprendizagem pelos discentes. Sendo que os materiais didáticos não têm significados por si mesmos, pois são as pessoas que atribuem significados a eles. Assim, o material de aprendizagem somente pode ser considerado potencialmente significativo, visto que adquire significado no aprendiz quando existe uma relação não-arbitrária e não-literal com a estrutura cognitiva desse sujeito. O que implica a necessidade de fazer uso adequado do conhecimento prévio deste, para que o significado atribuído ao objeto de estudo seja aquele aceito no contexto da matéria de ensino (MOREIRA, 2012).

Além disso, segundo Moreira (2012) a sequência didática pode ser uma das melhores planejadas, mas se o aluno não tiver empenho em querer aprender o novo assunto, de nada adianta ensinar. Pois o professor estará cumprindo o seu papel de ensinar por meio do uso da UEPS, mas se o aprendiz não quiser, estará deixando de realizar sua função de aprender de forma significativa o conhecimento. Então, é necessário que haja no processo de ensino e aprendizagem essa relação de vínculo contínuo entre o aluno, o professor e os materiais didáticos.

Conforme Moreira (2011), as UEPS são desenvolvidas a partir de seguintes passos:

1. Definir os tópicos específicos a serem trabalhados, detalhando os aspectos declarativos e procedimentais conforme o contexto de ensino da disciplina;

2. Criar e propor situações que levem os estudantes a expor seus conhecimentos prévios, sendo estes de acordo ou não com o contexto da matéria ensinada, pois podem ser relevantes na aprendizagem significativa dos novos assuntos. As situações que podem ser usadas são: discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação problema, etc.;

3. Sugerir a um nível muito introdutório, tendo em conta os conhecimentos prévios do aluno, situações problemáticas que preparam as bases para a introdução (declarativa e procedimental) dos conhecimentos lecionados; essas situações problemáticas podem se aplicar no envolvimento inicial dos alunos com os tópicos, mas não tem a função de ensiná-los logo no início; tais situações problemáticas podem atuar como um organizador preliminar; as situações dão sentido a novas informações, mas para isso o aluno deve enxergar nelas um problema e conseguir modelá-las mentalmente; os modelos mentais são funcionais para o aluno e resultam da percepção e do conhecimento prévio (invariantes operatórios); essas situações-problema iniciais podem ser propostas por meio de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas cotidianos, apresentações mediadas, problemas clássicos da disciplina, etc., mas sempre de forma facilmente acessível e problemática, ou seja, exercício em uma aplicação típica de qualquer algoritmo;

4. Uma vez executadas as situações iniciais, apresentar o(s) assunto(s) a ensinar/aprender tendo em conta a diferenciação progressiva, ou seja, partindo de aspectos mais gerais, abrangentes, dando uma visão inicial do todo, que é a unidade de ensino mais importante, mas logo se tornando a exemplificar e abordar determinados aspectos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve apresentação oral seguida de uma atividade colaborativa em pequenos grupos, que por sua vez deve ser seguida de uma atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5. Continuar os aspectos mais gerais e estruturantes do conteúdo da aula (ou seja, o que é realmente ensinado) em uma nova apresentação (que pode ser por meio de outra apresentação oral curta, material de computador ou texto, etc.), mas mais complexa do que a primeira apresentação; situações problemáticas devem ser propostas de formas cada vez mais complexas; trazer novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças com situações e exemplos já discutidos, ou seja, promover

a reconciliação integradora; após a segunda apresentação, sugerir alguma outra atividade colaborativa que faça com que os alunos interajam socialmente, negociem significados com o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a elaboração de um mapa conceptual ou diagrama em V, uma experiência de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve incluir necessariamente a negociação de significados e a mediação do professor;

6. Terminar a unidade, continuando o processo de diferenciação progressiva, para restaurar os traços mais importantes de seu conteúdo, mas de um ponto de vista integral, ou seja, buscando a reconciliação integral; isso deve ser feito por meio de uma nova apresentação de significados, que pode ser novamente uma breve apresentação oral, leitura de um texto, uso de recurso computacional, audiovisual, etc.; O mais importante não é a estratégia em si, mas a forma de trabalhar com o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações problema devem ser propostas e processadas em um nível mais complexo em relação às situações anteriores; estas situações devem ser resolvidas de forma colaborativa e posteriormente apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre através do professor;

7. A aprendizagem pela UEPS deve ser avaliada durante sua implementação e tudo o que possa ser considerado um indício de aprendizagem significativa do conteúdo ministrado deve ser registrado; além disso, após a sexta etapa, deve haver uma avaliação somativa individual que ofereça questões/situações de compreensão que demonstrem compreensão de significados e, idealmente, alguma transferibilidade; professores experientes devem aprovar tais questões/situações com antecedência; a avaliação do desempenho dos alunos na UEPS deve se basear igualmente na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas conjuntamente, apontamentos do professor) e na avaliação somativa;

8. A UEPS é considerada exitosa apenas se a avaliação do desempenho do aluno evidenciar aprendizagem significativa (definição de significados, compreensão, capacidade de explicar, aplicar conhecimentos para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de qualquer campo conceitual é progressivo; portanto, a ênfase está nas evidências e não nos padrões específicos de comportamento.

Perante ao exposto, podemos dizer, resumidamente, que ocorre primeiramente a escolha dos tópicos a ser ensinado, envolvendo seus aspectos

declarativos e procedimentais. Em um segundo momento ocorre a apresentação de situações-problemas ou similares, de forma introdutório a ponto de estimular a explicitação dos conhecimentos prévios dos discentes.

Em seguida, é exposto o conhecimento do aspecto mais geral ao mais específico. E em um momento posterior, do mais específico ao mais geral. Sendo que após isso deve ser realizada integração de todos esses aspectos, de forma que o discente conheça e compreenda o todo e as partes envolvidas na composição do conhecimento em estudo. E é importante não perdendo de vista que as situações-problemas ou similares estão presentes, do início ao fim do processo da UEPS, sendo trabalhados no sentido de menor para maior complexidade.

Em relação à avaliação pelo formato da UEPS, há valorização tanto do processo formativo como somativo, buscando assim evidências de aprendizagem significativa pelo aluno. A avaliação formativa, é feita durante toda a implementação da sequência didática, por meio do registro das situações, tarefas resolvidas conjuntamente e apontamentos do professor. Quanto a avaliação somativa, envolve questões/situações que evidenciem domínio e compreensão dos significados do objeto de estudo dentro do contexto de ensino da matéria. Além disso, deseja-se que o discente demonstre capacidade de aplicar o conhecimento assimilado em contextos diversos e novos.

Veremos a seguir o detalhamento da construção do Produto Educacional que se baseou em uma sequência didática no formato das UEPS. E teve como fundamento teórico de aprendizagem a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud.

Construção do Produto Educacional

O Produto Educacional encontra-se organizado a partir da integração de material textual, lista de exercícios, simuladores virtuais e trabalhos em equipe, com desenvolvimentos teóricos na forma de uma sequência didática. Procuramos configurá-lo metodologicamente como o mais relevante possível para o desenvolvimento e construção de conceitos e de situações-problemas no campo de ensino da Física, oportunizando um espaço importante para interação esquema-situação do sujeito aprendente e visando contribuir de forma significativa para a efetivação da aprendizagem.

O produto educacional tem como objetivo geral propor uma sequência didática potencialmente significativa para o ensino da Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, relacionando a interação do sujeito aprendente com situações-problemas.

Esse objetivo foi alcançado por meio da realização dos seguintes objetivos específicos:

- Aplicar conceitos e situações-problemas relacionando-os com o conhecimento físico;
- Utilizar representações linguísticas e simbólicas para a compreensão, domínio e resolução de modelos físicos;
- Prover condições para explicitação de conhecimentos-em-ação dos discentes;
- Aproximar a forma operatória e predicativa do conhecimento dos discentes ao do conhecimento científico;
- Desenvolver a colaboração e a participação dos alunos em cada etapa da atividade.

Etapas do Produto Educacional

O produto educacional é organizado em vários encontros, cada um planejado para uso de duas aulas, sendo apresentado da seguinte forma:

- 1º encontro: Apresentação de simuladores virtuais dos conceitos físicos estudados e interação dos discentes com os simuladores;
- 2º encontro: Apresentação sobre os conceitos físicos, dos conceitos gerais e específicos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, pelo docente aos discentes e resolução de questões-modelo;
- 3º encontro: Apresentação de demonstração de experimentos envolvendo os conceitos físicos do produto educacional;
- 4º encontro: Resolução de Problemas a lápis e papel dos conteúdos abordados;
- 5º encontro: Para finalizar, leitura pelos alunos de temáticas que abordam os conceitos físicos específicos e compartilhamento de seu entendimento do texto lido com a turma.

Pelo planejamento da proposta educacional é possível desenvolver os assuntos sugeridos dentro de um bimestre letivo, de forma gradual e aprofundada, usando de forma flexível aproximadamente 10 aulas, considerando que cada aula tenha a duração de 50 minutos e também levando em conta o contexto específico do cotidiano do planejamento escolar que pode prolongar o tempo de aplicação do produto educacional.

Resultados e Discussão

Detalhamento da sequência didática

1ª etapa da sequência didática: interação com simuladores virtuais

Os simuladores virtuais reproduzem experimentos físicos que, por algum motivo, são inviáveis de serem reproduzidos em sala de aula de forma prática, seja por falta de laboratório de física ou por ausência de equipamentos didáticos. Uma das possibilidades de atividades nesse contexto é o uso de experimentos virtuais, que podem ser realizados em um laboratório de informática. Na falta deste, os discentes podem usar um celular com aplicativo instalado ou conectado a uma página HTML do software educativo.

Os simuladores trabalhados são os disponibilizados pelo site Phet Colorado, no link de fenômenos quânticos sobre Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, respectivamente:

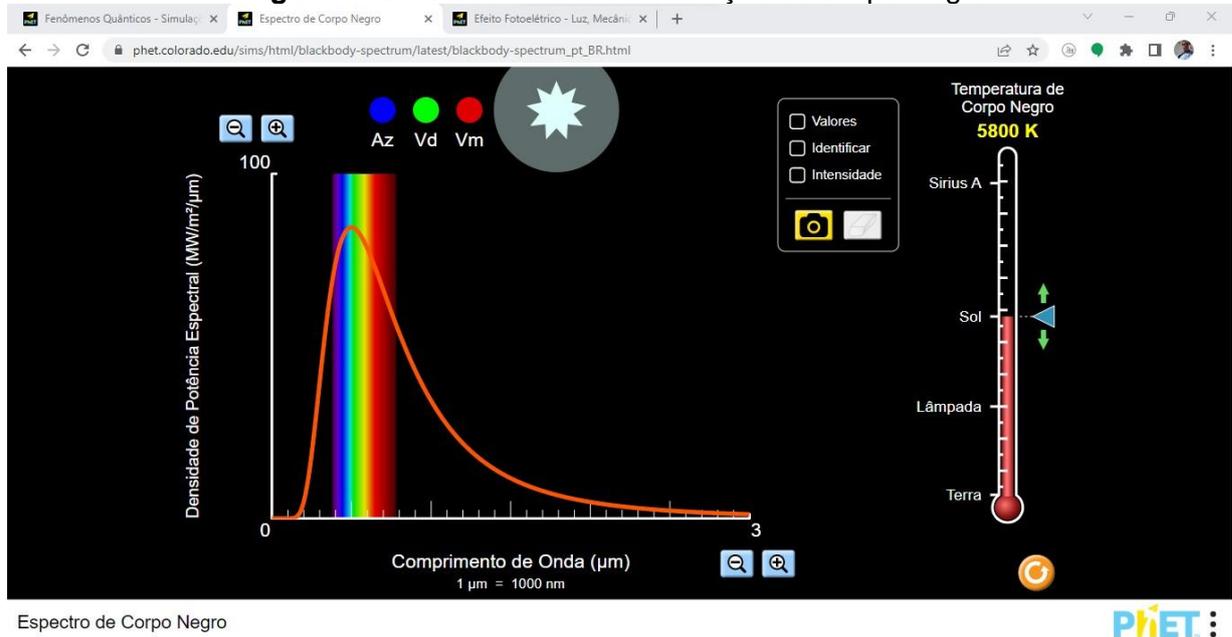
- https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum;
- https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric.

Em relação ao simulador Radiação do Corpo Negro da fig.1, o site Simulations (2022b) visa que os discentes, na interação com o aplicativo, sejam capazes de:

- descrever o que acontece com espectro do corpo negro, no caso da forma e o pico da curva deste, à medida que aumenta ou diminui a temperatura;
- descrever o espectro do corpo negro de uma lâmpada e sua eficiência, e também de outros corpos;

- de fazer a diferença de corpo mais quente com base na frequência de radiação que é mais emitido por um corpo quente;
- de fazer a relação entre a temperatura e o comprimento de onda no pico da curva.

Figura 1: Simulador virtual da Radiação do Corpo Negro

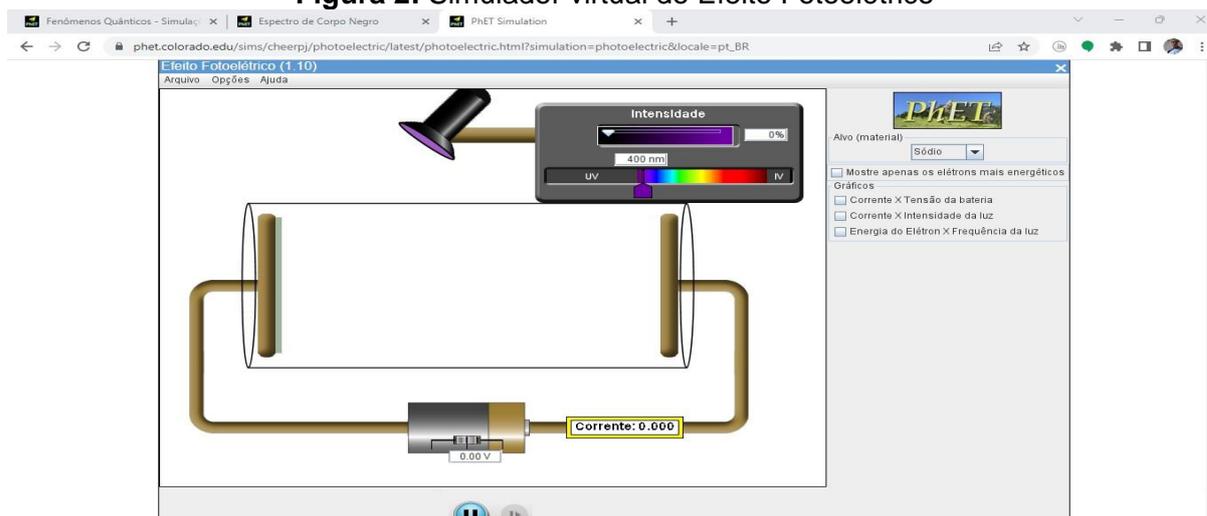


Fonte: do site (PERKINS *et al.*, 2022).

Em relação ao simulador Efeito Fotoelétrico da fig. 2, o site Simulations (2022a) objetiva que os discentes, na interação com o aplicativo, sejam capazes de:

- descrever que uma mudança dos parâmetros citados afetará a corrente e energia dos elétrons: a intensidade da luz incidente, o comprimento de onda incidente, o valor da tensão elétrica do circuito e do material alvo que é utilizado;
- argumentar que o modelo de fóton de luz pode explicar o processo do efeito fotoelétrico, ao invés da concepção de uma onda eletromagnética.

Figura 2: Simulador virtual do Efeito Fotoelétrico



Fonte: do site (WIEMAN *et al.*, 2022).

2ª etapa da sequência didática: Exposição oral sobre A Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico

Nas duas primeiras aulas, o professor inicia com situações-problemas de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, por meio do uso dos simuladores virtuais, pretendendo assim despertar o interesse dos alunos pelos assuntos. Em seguida, o docente realiza, após a transposição didática dos materiais escolhidos como base bibliográfica, uma exposição oral dos assuntos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Para este produto educacional, além de poder fazer uso indireto das referências teóricas de Física de nível superior, serviram como referências básicas os seguintes livros didáticos: Válio *et al.* (2016), Bonjorno *et al.* (2016), Guimarães; Piqueira; Carron (2013) e Serway; Jewett (2012).

O docente não pode deixar de levar em conta os conhecimentos prévios dos discentes e devem partir dos conceitos mais gerais para os mais específicos. Seguindo essa recomendação, tem-se como ponto de partida os seguintes conceitos gerais presentes nos conteúdos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico: Energia, Conservação de Energia, Potência, Ondas eletromagnéticas, Espectro eletromagnético, Calor e Temperatura. Parte-se desses conceitos gerais para parte mais específica dos conceitos centrais da sequência didática. Em seguida, são aprofundados os conceitos específicos.

O docente pode incrementar a explicação dos conceitos físicos por meio do uso de gifs desses fenômenos. Os gifs podem ser encontrados no site de busca de

uma página da Web. Podem, também nesse momento, ser trabalhados em conjunto com demonstração de experimentos reais que serão detalhados posteriormente, os quais podem ser feitos em um contexto de aula prática.

3ª etapa da sequência didática: Demonstração de experimentos dos conceitos físicos

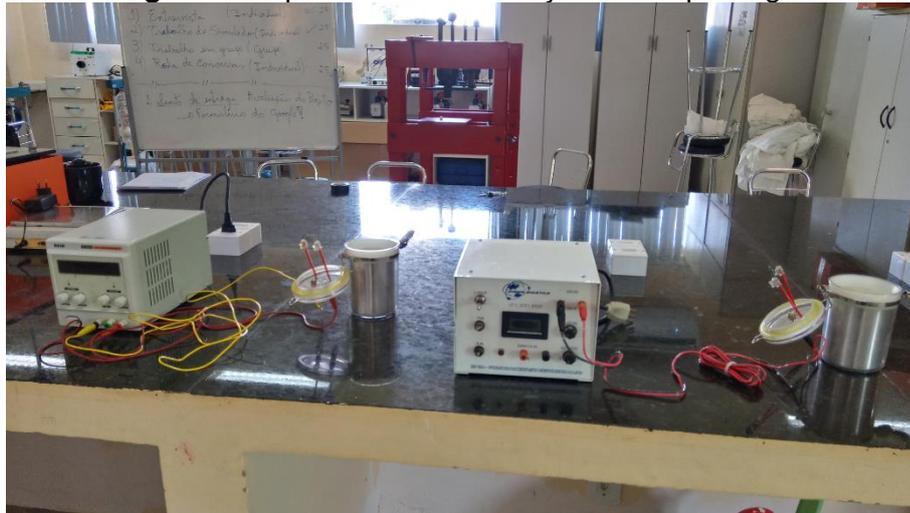
Para essa parte foram pensados experimentos que pudessem representar fielmente os fenômenos físicos, com uso de equipamentos possíveis de serem obtidos no contexto escolar e contextualizados com a realidade. Especificamente no caso do efeito fotoelétrico, que é aplicado no acendimento automático das lâmpadas de postes da iluminação pública. Em seguida, serão detalhados os experimentos montados para esse fim.

Experimento de Radiação do Corpo Negro

Como foi visto em passos anteriores, o conceito de Radiação do Corpo Negro consiste em modelar o processo do fenômeno físico de espectro de emissão ou absorção que envolve os corpos opacos aquecidos. Para isso foi usados os seguintes materiais para montar o experimento:

- Fonte de corrente alternada (~ 20 V);
- Fonte de corrente contínua (0 a 30 V);
- Fios de ligação;
- 2 Copos de calorimetria com resistor térmico integrado;
- Água.

Eles estão montados de forma que o resistor térmico integrado ao copo de calorimetria está ligada a uma fonte de corrente contínua ou alternada. A verificação da montagem é possível ver pela imagem 3. O intuito é fazer com que, a partir da conversão de energia elétrica em energia térmica no resistor, seja possível visualizar ou perceber o aquecimento de um corpo. Assim, sendo a baixas temperaturas, não há emissão de luz visível, concentrando-se a emissão da radiação em ondas infravermelhas, ondas de calor.

Figura 3: Experimento de Radiação do Corpo Negro

Fonte:autor (2022).

Enquanto a temperatura aumenta, a partir de um certo valor dessa grandeza, começa a ser emitida luz visível juntamente com a radiação infravermelha. Devido à limitação do aparato experimental, será possível chegar a um limite máximo de temperatura. A explicação em vídeo do experimento está disponibilizada pelos seguintes links:

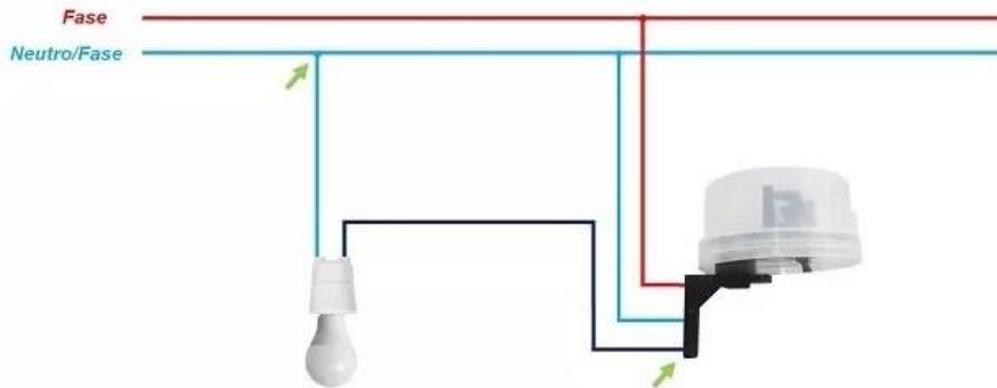
- <https://youtu.be/NFFyTst6aac>;
- <https://youtu.be/5IjTjQSUTwl>.

Experimento do Efeito Fotoelétrico

Aqui teremos a montagem do sensor fotoelétrico com uma lâmpada ligada a rede elétrica, ao qual tende a demonstrar o acendimento automático de uma lâmpada de um poste da iluminação pública, o esquema de montagem está mostrado na imagem 4. Os materiais usado foram:

- lâmpada de 110 a 220 V;
- soquete de lâmpada;
- fios de ligação;
- sensor fotoelétrico de 220 V.

Como vimos, o efeito fotoelétrico consiste basicamente no processo de retirada de elétrons livres de um material, geralmente metálico, quando incide uma radiação que tenha pelo menos uma determinada frequência mínima. Essa frequência depende da substância que está sendo atingida pela radiação.

Figura 4: Esquema de Ligação do Sensor Fotoelétrico

Fonte: do site (MATTEDE, 2022).

Então, dentro do sensor fotoelétrico, em um circuito secundário, o elemento fotocélula, que está associado em série com um eletroímã. Quando este último é ligado, abre o interruptor que está em série com o circuito principal. No circuito principal, encontra-se a lâmpada, a qual acende quando não há incidência de luz na fotocélula e apaga quando há incidência. A explicação em vídeo do experimento está disponibilizada pelo seguinte link: <https://youtu.be/TF09YyP2O3M>.

4ª etapa da sequência didática: Resolução de Problemas à lápis e papel

Nesse momento, o professor faz uma recapitulação dos assuntos ministrados e pode realizar a resolução de exemplos, caso seja necessário. Com base nos modelos resolvidos, de graus variados, serão propostas questões com variados níveis de dificuldades para os discentes resolverem, a fim de se adaptarem a linguagem e representação utilizada na Física para resolução de problemas e estudos de fenômenos quânticos, no caso específico Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico.

5ª etapa da sequência didática: Temas envolvendo Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico

Como forma de contextualizar os conhecimentos científicos, é proposta a leitura sobre temas que envolvam os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, que podem ser encontrados em livros didáticos, pesquisa na internet e outros materiais didáticos.

Os temas foram retirados de livros didáticos do Ensino Médio, de parte complementares aos conteúdos com as seguintes denominações: pensando as Ciências: física e tecnologia; Física tem história; Física explica. E estão descritos no quadro 1.

Quadro 1: Temas para Leitura

Tema	Nome da seção complementar
Energia do Sol	Pensando as Ciências: física e tecnologia
Células fotoelétricas	Pensando as Ciências: física e tecnologia
Energia em pacotes	Física tem história
Células fotoelétricas	Física explica

Fonte: Livros didáticos (BONJORNO *et al.*, 2016) e (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013).

O estudo desses temas tende a ampliar a compreensão dos alunos em relação aos conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, ao entendimento da construção histórica dos conceitos, seu uso na tecnologia e sua função social de benefícios para a humanidade, em especial o aspecto energético.

6ª etapa da sequência didática: Avaliação das Atividades da Sequência Didática

As atividades propostas contemplam ações participativas, tanto individuais como em grupo, em que o discente poderá ter o seu desempenho avaliado por meio de:

- resolução de lista de exercícios;
- entrevista e/ou registro de relatos de interação dos discentes com os simuladores virtuais;
- participação em trabalho em grupo;
- exposição oral e/ou registro escrito das atividades.

Além disso, esses momentos de avaliações individuais e/ou em grupo poderão ser melhor registrados por meio de gravação das falas dos discentes e/ou da gravação e produção de vídeos das atividades realizadas em sala de aula. Isso para que possibilite extrair os aspectos explícitos dos conhecimentos científicos expostos

pelos discentes, permitindo assim que coloque-se em evidências os conhecimentos operatórios destes.

Até aqui, foi visto que a proposição dessa sequência didática se baseou na proposição, pelo docente, de situações que possam ser desenvolvidas em sala de aula. Veremos em diante as evidências de invariantes operatórios que foram observados por meio da aplicação dessa sequência didática em sala de aula, com os discentes de uma instituição de ensino da Rede Federal.

Evidências de invariantes operatórios

Conceitos que emergiram por meio da fala, da escrita e de outras formas de comunicação, e que foram registrados através dos instrumentos de coleta de dados, tornaram-se evidentes, tais como: buraco negro, radiação, energia, ondas eletromagnéticas e suas características, tipos de ondas eletromagnéticas, riscos a expor-se a radiação eletromagnética, massa, temperatura, calor, potência, elétrons, circuito elétrico simples. Esses conceitos podem ser considerados como evidências de conceitos em ação, os quais estão sintetizados no quadro 2 para cada conteúdo específico.

Quadro 2: Evidências de conceitos em ação

Radiação do Corpo Negro	Efeito Fotoelétrico
Buraco negro	Radiação
Radiação	Energia
Energia	Potência
Ondas eletromagnéticas e suas características	Elétrons
Massa	Circuito elétrico simples
Temperatura e Calor	

Fonte: Autor (2023).

Esses assuntos estiveram presentes nos primeiros encontros do produto educacional e se estenderam até o final do processo. Portanto, o domínio e a compreensão desses conceitos, tanto os aspectos declarativos e procedimentais, são essenciais para a compreensão dos temas da Radiação do Corpo Negro e do Efeito Fotoelétrico. Esses assuntos citados no quadro serviram como referência para

determinar os conceitos gerais para serem abordados nas apresentações introdutórias aos conteúdos da sequência didática.

Em relação ao uso desses conceitos em ação, temos abaixo algumas extrações de teorema em ação extraídas do momento dos simuladores, o quadro 3 refere-se a Radiação do Corpo Negro:

Quadro 3: Evidências de teoremas em ação da Radiação do Corpo Negro

Radiação do Corpo Negro
"Radiação do corpo negro é quando buraco negro absorve a luz de modo que ela fique mais visível ou ela fique infravermelho vai ser menor no gráfico, ou ela vai ficar visível ou vai ao ultravioleta (A.G.C.D.)."
"Bom como já tinha dito antes só palavra radiação tá num numa frase já nos leva ao negócio ruim ou algo que possa prejudicar como muitos sabem a radiação não é um fator bom e englobando ele junto com o corpo negro que é um corpo que até a luz não consegue escapar então não se forma nada e bom mas a junção não é isso que eu remete a ideia de radiação (E.K.C.L.)."

Fonte: Autor (2023).

Em relação ao Efeito Fotoelétrico, o quadro 4 descreve alguns teoremas em ação correspondentes ao conteúdo:

Quadro 4: Evidências de teoremas em ação do Efeito Fotoelétrico

Efeito Fotoelétrico
"O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons de um determinado material, essa emissão ocorre de acordo com o tipo e frequência da radiação eletromagnética que iluminou tal material (V.F.S.)."
"O efeito fotoelétrico demonstrado no simulador é a emissão (criação) de elétrons por meio da pilha (E.K.C.L.)."

Fonte: Autor (2023).

Então, pode-se perceber a necessidade de aprimorar alguns conceitos em ação e contornar outros para que fosse possível que os discentes desenvolvessem os conteúdos físicos dentro do contexto do conhecimento científico. Mas, observa-se também que em alguns discentes há uma persistência do conhecimento inicial, como por exemplo:

- Situação inicial do trabalho:

"Radiação do corpo negro me vem a mente (...) uma das formas que a visível aí também tem a parte por associava também era algo perigoso tipo pode provocar queimaduras é até mesmo doenças algo do tipo assim que é algo que tem que ser estudado com bem mais cuidado do que outras teorias (L.F.M.S.)."

"O que se percebe pelo simulador, o efeito fotoelétrico nada mais é do que emissão de 'eletro' por meio da pilha que transmite os 'eletros' (L.F.M.S.)."

-Situação final do trabalho:

"Pode se dizer que a radiação tem várias formas diferentes e a fotoelétrica tbm só depende da pessoa e no meu, a radiação me lembrou algo perigoso e fotoelétrico tbm mais me lembro a luz ultra violeta (L. F. M. S.)."

Isso evidencia a afirmação de Vergnaud de que a aprendizagem de um campo conceitual de conhecimento do sujeito dá-se por um processo que leva um longo período de tempo, com fases de continuidade e descontinuidade, além de uma jornada com progressões e retornos, falhas e sucessos na conceitualização da realidade (MOREIRA, 2002).

Até aqui compreendeu-se a parte dos resultados da aplicação de uma sequência didática em sala de aula, em seguida será discorrido sobre as considerações finais.

Considerações finais

Nesse artigo foi apresentada uma parte de um trabalho da dissertação que teve como foco facilitar e minimizar as dificuldades de aprendizagem dos discentes em relação ao Ensino de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Foi tratada aqui a apresentação de uma sequência didática e retratada uma parte da aplicação dessa sequência em sala de aula.

Em relação à sequência didática, ela compreendeu em uma proposta de ensino potencialmente significativa sobre Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico nos moldes das UEPS. Essa sequência didática foi implementada com discentes do 3º ano do curso técnico integrado ao Ensino Médio de uma Instituição de Ensino da Rede Federal, de um município do interior do estado do Pará.

O produto educacional foi aplicado durante o segundo semestre de 2022, no período de outubro a dezembro, com as seguintes etapas de execução: interação com simuladores virtuais, exposição pelo docente dos assuntos propostos, demonstração de experimentos de conceitos físicos, resolução de problemas à lápis e papel pelos discentes, estudo de temáticas relacionados a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico.

A realização da pesquisa exigiu um esforço de ações para concretizar ao mesmo tempo a coleta de dados e aplicação da sequência didática. Foram usados os seguintes instrumentos de coleta de dados durante a aplicação do produto educacional: entrevista, respostas a perguntas abertas, gravação de vídeo, gravação de áudio e formulário online enviado o link via WhatsApp. Esses instrumentos serviram como base de dados para inferência.

Nas primeiras coletas de dados a partir da aplicação dos simuladores, observou-se que os discentes fizeram uso de alguns conceitos nas definições de Radiação do Corpo Negro, como por exemplo: buraco negro, radiação, energia, ondas eletromagnéticas e suas características, tipos de ondas eletromagnéticas, riscos a expor-se a radiação eletromagnética, massa, temperatura e calor. E na conceitualização do Efeito Fotoelétrico, as seguintes palavras: radiação, energia, potência, elétrons e circuito elétrico simples.

Isso serviu como base para a introdução dos conteúdos, considerando alguns conceitos como as partes mais gerais dos assuntos de estudo do trabalho, para poder assim seguir para as partes mais específicas. Podemos assim dizer que esses conceitos gerais permeiam a mente dos alunos, sendo inferidos como conhecimentos prévios (ou no caso do TCC, invariantes operatórios). Tais conhecimentos serviram como facilitadores ou mesmo como obstáculos para o aprofundamento dos assuntos na sequência didática.

Assim, foram pensadas e esquematizadas inicialmente situações-problemas que proporcionassem condições de explicitações dos invariantes operatórios (conhecimentos prévios). Em seguida, foram trabalhados conceitos mais gerais até chegar aos mais específicos. À medida que no decorrer do processo de aplicação da sequência didática, foram sendo aprofundadas as complexidades das situações. Com a intenção de abranger desde os mais específicos até os mais gerais, realizou-se na parte final da sequência a ampliação da contextualização, com a leitura de textos que envolvessem os assuntos do trabalho relacionados aos aspectos histórico, econômico e social. Espera-se que os resultados apresentados aqui e outros dentro do contexto de aplicação de uma proposta educacional em sala de aula sejam cada vez mais acessíveis e lidos pelos docentes, gerando assim bons impactos no Ensino de MQ em sala de aula. Uma perspectiva futura seria fazer uma análise mais aprofundada dos invariantes operatórios (conceitos em ação e teoremas em ação) e compará-los com a literatura.

Referências

BONJORNO, J. R. et al. **Física: eletromagnetismo e física moderna**, 3º ano. 3. ed. Curitiba: FTD, 2016.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física, 3º ano**. 1.ed. São Paulo: Ática, 2013.

MATTEDE, H. Dicas de como instalar fotocélula. **Mundo da Elétrica**, 2022. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/dicas-de-como-instalar-fotocelula/bio>. Acesso em: 15 out. 2022.

MARQUES, T. C. de F. et al. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, v. 15, n. 7, 2019. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/4833>. Acesso em: 15 fev. 2022.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de verghnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7–29, 2002. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141212>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MOREIRA, M. A. **UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVASUEPS (Potentially Meaningful Teaching Units–PMTU)**, 2011. Disponível em: https://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/139072/mod_resource/content/1/Aprend%20Signif%20Org%20Prev%20Mapas%20Conc%20Diagr%20V%20y%20U%20EPS_texto.pdf#page67. Acesso em: 07 fev. 2023.

PERKINS, K. et al. Espectro de corpo negro. **Phet Interactive Simulations**, 2022. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum. Acesso em: 10 set. 2022.

ROCHA, C. R.; HERSCOVITZ, V. E.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura em publicações de 2010 a 2016 sobre o ensino de conceitos fundamentais de mecânica quântica. **Latin-American Journal of Physics Education**, Instituto Politécnico Nacional, v. 12, n. 1, p. 6, 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6556285>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Princípios de física vol. 4: Ótica e física moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

VÁLIO, A. B. M. et al. **Ser protagonista: física**, 3º ano. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

WIEMAN, C. et al. Efeito fotoelétrico. **Phet Interactive Simulations**, 2022. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric. Acesso em: 10 set. 2022.