



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
(POLO 58 - UFRPE)

UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS PARA A  
APRENDIZAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Rafhael Lucas Arruda Teles de Menezes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:  
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife  
2021

UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS PARA A  
APRENDIZAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Rafhael Lucas Arruda Teles de Menezes

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior  
UFRPE - Presidente

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rocicler Oliveira Holanda  
UECE - FECLESC – Membro Titular Externo

---

Prof. Dr. Michael Lee Sundheimer  
UFRPE – Membro Titular Interno

Recife

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M543u Menezes, Rafael Lucas Arruda Teles  
Unidades de ensino potencialmente significativas para a aprendizagem do efeito fotoelétrico / Rafael Lucas Arruda Teles Menezes. - 2021.  
115 f. : il.
- Orientador: Francisco Nairon Monteiro Junior.  
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS), Recife, 2021.
1. Aprendizagem significativa. 2. UEPS. 3. Efeito fotoelétrico. I. Junior, Francisco Nairon Monteiro, orient. II. Título

Dedico esta dissertação a Deus, à minha esposa Polyana, à minha filha Ana e à toda minha família.

## **Agradecimentos**

Agradeço, antes de tudo, a Deus, por me conceder o fôlego de vida, inteligência e sabedoria para trilhar minha jornada. Agradeço também à minha esposa Polyana por todo carinho e convivência, pois sempre esteve me incentivando e encorajando a conquistar coisas maiores e agradeço também à nossa filha Ana Livia que motiva e alegra ainda mais nossas vidas.

Acrescento meus sinceros agradecimentos ao meu pai Jorge Teles e mãe Kátia Teles, por terem contribuído com a formação do meu caráter e pelo ambiente de amor e respeito que foi construído ao nosso redor, além de proporcionarem condições para que eu pudesse estudar e atingir minha formação. Agradeço também a minha querida irmã Raphaella pelo seu carinho e companheirismo ao longo de nossas vidas.

Agradeço aos meus companheiros de turma do mestrado, pois sempre demonstraram suporte em momentos alegres e difíceis.

Quero render meus agradecimentos a todos os professores do MNPEF/UFRPE, polo 58, pelas imensas contribuições que acrescentaram na minha formação acadêmica, profissional e humana. Em especial, agradeço ao meu orientador, o professor Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior, por ter acreditado e confiado no meu trabalho, pelo seu grande apoio e orientações, mostrando solicitude em todo tempo.

Agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela oferta, em conjunto, do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, possibilitando a capacitação em nível de mestrado, em pleno exercício da profissão, de professores atuantes no ensino da física na educação básica.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

## RESUMO

O presente trabalho consiste na utilização das Unidades de Ensino Potencialmente significativas (UEPS), que se baseiam na Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, para o ensino do efeito fotoelétrico. Sua aplicação se deu em uma escola da rede privada em alunos do 3º ano do ensino médio que participaram de forma ativa, orientados pelo professor que mediou cada passo da UEPS. O projeto foi realizado em oito aulas sequenciais e seus resultados foram analisados em cada etapa. Seu êxito mostrou o quanto essas sequências conduzem a uma aprendizagem significativa. Por fim, um manual foi produzido com o intuito de auxiliar novos trabalhos por docentes desta área.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa, UEPS, Efeito fotoelétrico.

## **ABSTRACT**

The present work consists in the use of Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU), which are based on Ausubel's Theory of Significant Learning, for teaching the photoelectric effect. Its application took place in a private educational institution with 3rd year high school students who actively participated, guided by the teacher who mediated each step of PMTU. The project was carried out in eight sequential classes and its results were analyzed at each stage. Its success has shown how these sequences lead to meaningful learning. Finally, a manual was produced in order to help new work by teachers in this area.

Keywords: Significant Learning, PMTU, Photoelectric effect.

Recife  
2021

## Índices de ilustrações:

### Figuras

Figura 1: Diagrama mostra a assimilação das novas informações com os subsunçores. ....	18
Figura 2: Diagrama que relaciona os fatores necessários para a condução da aprendizagem significativa. ....	20
Figura 3: Experimento de Hertz.....	24
Figura 4: Experiência de Lenard mostra o surgimento de corrente elétrica a partir da incidência de luz ultravioleta em um dos eletrodos. ....	25
Figura 5: Experiência de Hallwachs que mostra o descarregamento de uma placa de zinco inicialmente com carga negativa após ser iluminada por luz ultravioleta. ....	26
Figura 6: Experiência dos raios catódicos de J.J. Thompson.....	28
Figura 7: Fotos dos alunos manuseando o simulador .....	51
Figura 8: Apresentação do vídeo sobre dualidade onda-partícula .....	61

## Gráficos

Gráfico 1: Dependência da corrente elétrica em função do potencial elétrico..	29
Gráfico 2: Dependência da corrente elétrica em relação ao potencial elétrico para duas intensidades distintas da mesma frequência. ....	30
Gráfico 3: Experiência da corrente x potencial para diferentes tipos de ondas eletromagnéticas incidentes em um alvo de potássio. ....	32
Gráfico 4: Potencial de corte em relação à frequência.....	35
Gráfico 5: Respostas sobre física quântica .....	45
Gráfico 6: Respostas da segunda questão do questionário de avaliação final.	68
Gráfico 7: Resposta da sexta questão da avaliação final.....	71

## Tabelas

Tabela 1: Comparações entre resultados experimentais e teorias clássica e quântica.....	37
Tabela 2: Aspectos sequenciais das UEPS aplicadas ao Produto.....	40
Tabela 3: Tabela de dados da simulação.....	51
Tabela 4: Tabela de simulação preenchida pelo professor .....	53

# Sumário

Capítulo 1: Introdução .....	12
Capítulo 2: Fundamentação Teórica .....	17
2.1 Unidades de ensino potencialmente significativas e a aprendizagem significativa.....	17
2.1.1 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.....	17
2.1.2 Unidades de ensino potencialmente significativas.....	22
2.2 O efeito fotoelétrico .....	24
Capítulo 3: Aplicação do Produto Educacional.....	39
3.1 Escola e turmas participantes: .....	39
3.2 Relatórios e discussões: .....	40
3.2.1 Primeira Aula: Verificação dos subsunçores por meio de questionário: .....	41
3.2.2 Segunda Aula: Experiência em vídeo .....	48
3.2.3 Terceira Aula: Experiência com simulador computacional.....	50
3.2.4 Quarta Aula: Aula expositiva do Efeito Fotoelétrico.....	57
3.2.5 Quinta Aula: Texto e vídeo sobre a quantização da energia e dualidade onda-partícula. ....	60
3.2.6 Sexta Aula: Aula expositiva sobre a equação da energia cinética do elétron no efeito fotoelétrico.....	65
3.2.7 Sétima Aula: Questionário de avaliação dos alunos .....	66
3.2.8 Oitava aula: Análise do êxito da UEPS.....	73
Capítulo 4: Conclusão .....	77
Apêndice A: Produto Educacional .....	82

## Capítulo 1: Introdução

Diante de vários desafios existentes no processo de ensino e aprendizagem, modelos educacionais são estudados e aplicados com o objetivo de desenvolver as habilidades dos estudantes da educação básica. Neste contexto, surge grandes oportunidades para que teorias da educação sejam trabalhadas de forma mais enfática, atendendo principalmente os desejos do educando na tentativa de tornar o processo mais satisfatório e significativo para o mesmo.

O conteúdo de física moderna e contemporânea tem sido pouco vivenciado nas salas de aulas, mas sua relevância dentro da sociedade moderna é de fundamental importância, tendo em vista que muitos dispositivos que utilizamos em casa, no trabalho e em ambientes públicos em geral, decorrem de suas aplicações. A ideia é fazer com que o estudante do ensino médio entenda e correlacione tudo à sua volta, com os assuntos estudados em sala de aula (BRASIL, 2018). Por causa disso, escolheu-se nesta pesquisa um conteúdo da física moderna que, dentro deste contexto, fosse explorado de forma criativa e instigante, tornando o aprendizado mais profundo dos conceitos envolvidos, aliado com a sua relevância na sociedade.

Ostermann e Moreira (2000), apoiados por uma revisão literária, observaram a necessidade de uma atualização do currículo de física do ensino médio, por motivos descritos a seguir:

- Despertar da curiosidade dos alunos e ajudá-los a reconhecer a física como um empreendimento humano;
- Os estudantes ouvem falar de temas de física moderna apenas em filmes de ficção científica, porém não os veem em sala de aula;
- O ensino de temas atuais da física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando a visão linear do desenvolvimento científico, hoje presente nos livros didáticos e nas aulas de física.

Neste contexto percebemos a importância do professor como ator principal das mudanças curriculares, pois o mesmo irá inserir, à sua prática docente, a atualização dos conteúdos de forma clara e apropriada.

Terrazzan (1992) afirma que, basicamente, a divisão curricular segue modelos estrangeiros, que termina, dessa forma, excluindo os conteúdos mais recentes, sem permitir que os alunos compreendam como realização humana.

O conteúdo de Física Moderna e Contemporânea (FMC) tem sido inserido nas salas de aulas devido ao currículo brasileiro, assim como sua presença em provas de processos seletivos de universidades. Desse modo, nas últimas décadas, as editoras, prevendo esta modificação, passaram a reformular os livros didáticos, introduzindo a FMC nos seus capítulos finais do ensino médio. Embora isso seja uma realidade, algumas dificuldades são apontadas pelos professores, pois os mesmos se sentem pouco capacitados para o ensino da FMC, devido ao seu conteúdo, que é considerado complexo e de difícil compreensão, pois necessita de um processo nada tradicional e mais inovador. Dessa forma, podemos compreender que uma mudança curricular, integrando os assuntos de FMC em si, não pode ser feita sem a presença de uma mudança na forma de ensinar, tanto pedagogicamente quanto metodologicamente.

Um argumento que incide na falta do desenvolvimento de práticas docentes diferenciadas no ensino de FMC é a falta de estrutura necessária para uma boa prática experimental. Porém, novos recursos digitais podem suprir essa carência, como softwares e simuladores que provocam uma notável vivência, que dispensam dificuldades, pois são encontrados gratuitamente em sites na internet.

Um papel importante da escola é conduzir e preparar o aluno para a vida. Por isso, deve haver um importante vínculo a ser explorado entre as informações científicas do seu cotidiano e a ressignificação do conhecimento científico, tornando, assim, cidadão capaz de analisar criticamente e de forma reflexiva o mundo que o rodeia.

A curiosidade, a busca constante, o desejo de conhecer pelo prazer de conhecer, a crítica livre em oposição ao critério de autoridade, a comunicação e a cooperação na produção coletiva de conhecimentos

são alguns traços que caracterizam a atitude que nos propomos a formar (WEISSMANN, 1998; p.21)”

Nosso objetivo é desenvolver uma proposta de ensino que tenha como metodologia a aprendizagem significativa, por meio de atividades sequenciais e progressivas, buscando o desenvolvimento gradual dos conceitos básicos envolvidos no campo da FMC, de tal maneira que o aprendizado realmente exista com certa profundidade e atraindo o interesse dos alunos enquanto reduzimos a abstração do conteúdo, criando um desenrolar lógico e instigante.

A Teoria da Aprendizagem de David Ausubel trabalha com a ressignificação simbólica de objetos da estrutura cognitiva por meio da socialização (MOREIRA,1999). O novo significado ocorre quando existe uma conexão daquilo que o aluno já sabe com aquilo que ele irá aprender. Dentro dessa perspectiva, a utilização das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) tem como proposta a incorporação da teoria de aprendizagem de David Ausubel. As UEPS são sequências de ensino fundamentadas teoricamente e voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula (MOREIRA, 2011).

No presente trabalho, as UEPS foram trabalhadas abordando temáticas de física contemporânea e moderna, especificamente sobre ondas eletromagnéticas e o efeito fotoelétrico. Então, nosso produto educacional, gestado para este fim, intitular-se “Unidades de Ensino Potencialmente Significativas para a Aprendizagem do Efeito Fotoelétrico”. Duas turmas do terceiro ano de uma escola da rede privada participaram do desenvolvimento do projeto, tendo em vista que são turmas mais avançadas do ensino médio e já tem construídas inúmeras informações e conhecimentos ao longo de sua jornada estudantil.

Sendo assim, o tema proposto foi estudado utilizando alguns meios que sistematizaram o desenvolvimento do aprendizado dos alunos, tais como: um questionário inicial, que serviu para reconhecer o conhecimento prévio das turmas; um vídeo de experimento capaz de expor o efeito fotoelétrico, e abrir a possibilidade do aluno associá-lo a outras situações encontradas à sua volta, onde neste primeiro momento ele entende de forma mais simples e geral o

fenômeno; um simulador interativo de ciências online e gratuito chamado PhET, sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física. Trata-se de uma plataforma online da Universidade do Colorado – EUA que possui um repositório de objetos de aprendizagem:

Oferece gratuitamente simulações de fenômenos físicos divertidas, interativas e baseadas em pesquisa. Acreditamos que nossa abordagem com base em pesquisa incorpora descobertas de pesquisas prévias e nossos próprios testes, habilitam os alunos a fazer conexões entre os fenômenos da vida real e a ciência básica, aprofundando a sua compreensão e apreciação do mundo físico. ([http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](http://phet.colorado.edu/pt_BR/))

Na simulação do PhET aplicada ao efeito fotoelétrico foi possível analisar o fenômeno de maneira qualitativa e quantitativa, onde o estudante pôde aprofundar sua visão na perspectiva de novos parâmetros, expandindo sua estrutura cognitiva e criando novos questionamentos que serviram de base para os próximos passos; em seguida foi assistido um vídeo do Dr. Quântico (GRUPO MODULAÇÃO  $\Omega$ , 2021), um personagem fictício que explica a dualidade onda-partícula e traz uma nova impressão de como se propaga as radiações de uma onda eletromagnética. Além disso, o aluno também leu um texto extraído do livro *Alice no país do Quantum* (GILMORE, 1998), que o levou a compreensão do que é o fóton e da sua energia que varia de cada tipo de onda e sua frequência. Diante dessa sequência didática foi possível construir a compreensão do fenômeno desde a sua descoberta até sua formalização quântica, tornando claro ao aluno os princípios da teoria quântica e sua validação.

A avaliação da aplicação da UEPS é feita na aquisição de resultados que mostre a aprendizagem significativa alcançada pelos alunos, pois o mesmo deve ter condições de identificar e resolver situações-problema, associadas com o assunto estudado de forma não mecânica, o que ocorre no final deste trabalho.

Os capítulos que se seguem constam de tópicos onde esta dissertação foi dividida. No primeiro capítulo apresenta-se a gênese do trabalho e seus objetivos. No segundo capítulo contém a fundamentação teórica, que expõe as

referencias da pesquisa como a aprendizagem significativa de Ausubel e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, além da abordagem sobre o efeito fotoelétrico. No capítulo 3 foi descrito a aplicação do produto educacional em sala de aula. Por fim, o capítulo 4 mostra a conclusão dos resultados obtidos com a aplicação do produto e as respectivas análises destes resultados. O produto educacional está descrito detalhadamente no Apêndice A, deste trabalho.

## **Capítulo 2: Fundamentação Teórica**

### **2.1 Unidades de ensino potencialmente significativas e a aprendizagem significativa.**

#### **2.1.1 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel**

Objetivando adotar formas que melhor se amoldem ao contexto de estudo e na acentuada participação dos estudantes na busca do conhecimento da FMC, com ênfase na compreensão do comportamento dual da luz e na sua interação com a matéria por meio do efeito fotoelétrico, utilizou-se a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, tendo em vista que sua aplicação se baseia em um satisfatório método de ensino aprendizagem conhecido pela teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel.

A aprendizagem pode se distinguir de três tipos: cognitiva, afetiva e psicomotora. A aprendizagem cognitiva baseia-se no acúmulo organizado de informações na mente daquele que aprende (chamada de estrutura cognitiva). Já a aprendizagem afetiva tem como desfecho os sinais internos do indivíduo, ou seja, experiências pessoais que podem acompanhar as experiências cognitivas. A aprendizagem psicomotora envolve, por sua vez, respostas musculares, por meio de treino e prática. É importante frisar que a aprendizagem pode envolver dois ou até três dos tipos acima apresentados. A dimensão afetiva é fundamental no sucesso de qualquer sequência didática. O estudante motivado sente vontade de investigar, atuando de forma ativa na construção do seu próprio conhecimento acerca do material de estudo.

Muitas vezes as aulas não contemplam ativamente as dimensões dos alunos, pois os alunos recebem uma gama de informação numa postura passiva, porém quando se buscam significados para os alunos a satisfação é diferenciada, por exemplo, a aprendizagem relacionada à música envolve as três dimensões, isso se torna muito agradável para o aprendiz, pois trata de um dos exercícios que mais exige das atividades cerebrais. Por isso quanto mais envolvido em seus sentidos mais significativos terá o conteúdo na vivência do

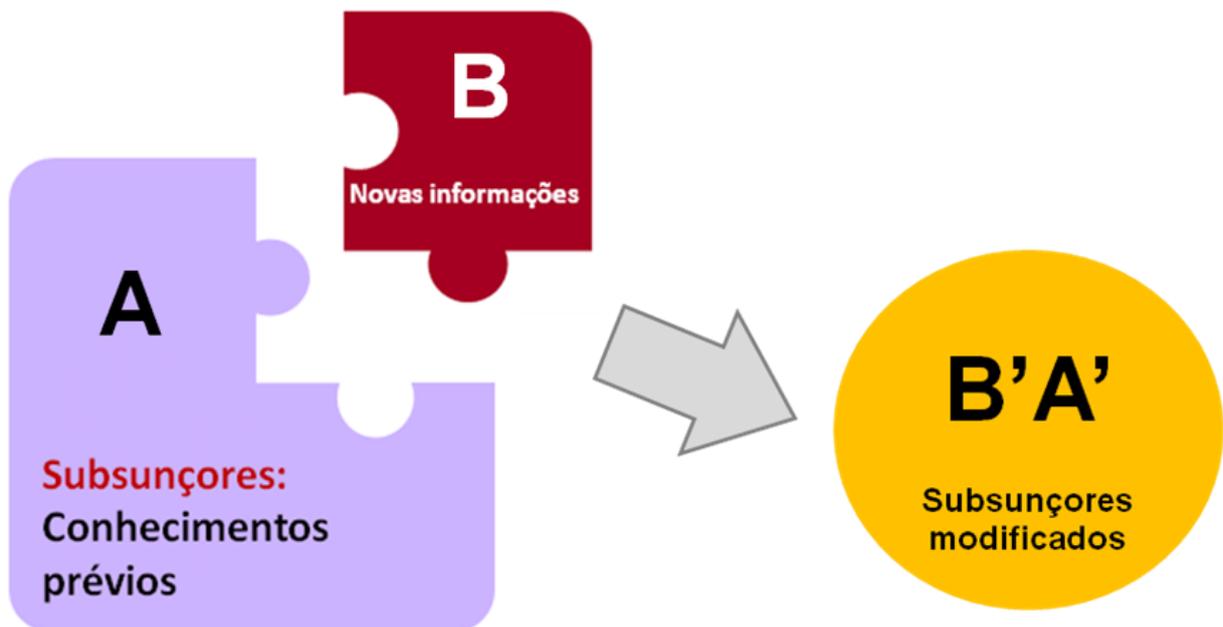
aluno. Ou seja, estudante que monte o aparato experimental e examine as características do mesmo, pode mexer com a totalidade de seus sentidos. Quando se ativa a afetividade através da dúvida e da curiosidade desperta a busca científica e integra o estudante ao conteúdo a ser aprendido.

A teoria de Ausubel focaliza inicialmente a aprendizagem cognitiva, muito embora possa acontecer outras dimensões da aprendizagem de forma significativa. Em sua concepção, o fator que mais domina a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. Desse modo, o papel do docente é descobri-lo e criar uma forma de ensinar em consonância. É nesse contexto que novas descobertas e concepções são aprendidas, desde que os conceitos estejam claros e acessíveis na estrutura cognitiva, para que sirvam de âncora a tudo de novo e significativo que for agregado. Assim, o diálogo entre as bases já estruturadas cognitivamente e o novo material de estudo, pode trazer ampliação do conhecimento ao mesmo tempo que modifica-se com essa junção.

“O conceito central da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa. Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especialmente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor, ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. (MOREIRA,1999, p. 156)

O ensino de física pode-se tornar mecânico quando os alunos apenas recebem informações novas e precisam decorar equações para resolver problemas. Infelizmente esta é a forma mais predominante no ensino de física atual, o que torna sua vivência em sala de aula pouco motivadora e produz um aprendizado superficial e efêmero. Contrapondo-se a essa perspectiva tradicional, a aprendizagem significativa conta com um ponto de partida para que exista a ancoragem dos novos conhecimentos aos conhecimentos prévios.

Figura 1: Diagrama mostra a assimilação das novas informações com os subsunçores.



Fonte: produção do autor

A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimentos são ligados ( e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. Estrutura cognitiva significativa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representação de experiências sensoriais do indivíduo.”(MOREIRA,1942, p. 156)

Diante dessa perspectiva, uma dúvida pode ser gerada: O que fazer quando não existem subsunçores?

A aprendizagem mecânica pode servir para estabelecer base na construção de subsunçores. Ao passo que estruturas cognitivas vão sendo criadas, a chegada de novos conhecimentos pode modificar as bases anteriormente estabelecidas e melhorar (ou até mesmo corrigir) os conceitos existentes nos subsunçores (Figura 1).

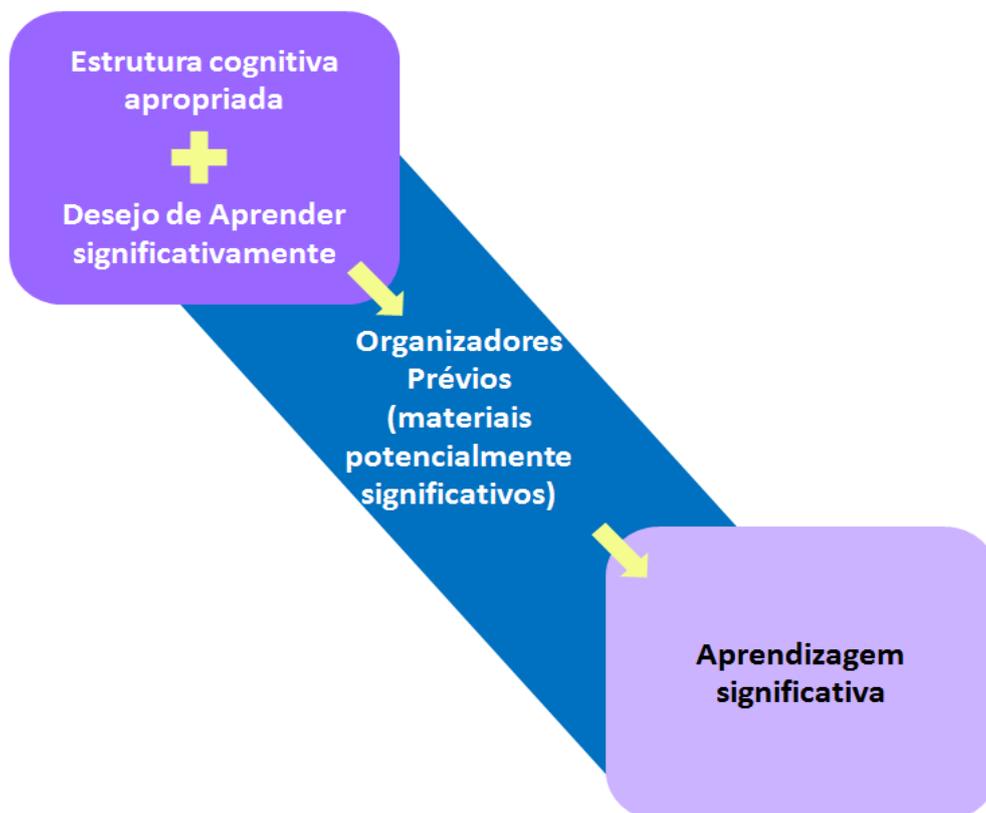
Retirar na estrutura cognitiva do aluno conceitos que estão bastante enraizados é difícil, pois estão fortemente ligados, por isso que em poucas aulas não poderá corrigir informações antigas alternativas, mas um trabalho de

maneira paulatina e gradativa. Pois é importante que o aluno aprenda significativamente, mas que os conceitos estejam cientificamente corretos.

Uma estratégia de grande importância é a implementação de organizadores prévios, pois servem de ponte entre o que aprendiz já conhece e aquilo que precisa aprender. Ausubel define os organizadores prévios como materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si. Contrariamente a sumários, que são, em geral, apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e inclusividade, simplesmente destacando certos aspectos do assunto, organizadores são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. (MOREIRA,1999, p. 155)

A aprendizagem significativa ocorrerá por meio de duas condições principais: Um organizador prévio que possa realmente se relacionar com a estrutura cognitiva do aprendiz e possa de fato ser aprendido e a outra é a intenção do aprendiz, em desejar assimilar o conteúdo de forma significativa e não mecânica (ver Figura 2).

Figura 2: Diagrama que relaciona os fatores necessários para a condução da aprendizagem significativa.



Fonte: produção do autor

Os materiais utilizados para o ensino potencialmente significativo vão depender da intenção do mediador, tendo vista que não existem materiais prontos. Eles vão depender do contexto e da abordagem escolhida no processo de ensino aprendizagem.

(...) organizar um material de ensino potencialmente significativo requer que a relação entre a natureza desses dois conhecimentos – a estrutura lógica do conhecimento em si e a estrutura psicológica do conhecimento do aluno – seja considerada (LEMOS, 2011)

O aprendiz precisa absorver processos que visam organizar os significados na estrutura cognitiva. Isso leva a modificação dos subsunçores, o que Ausubel chama de “assimilação” (AUSUBEL, 2003).

A assimilação sucede quando um conceito (potencialmente significativo) é absorvido sob uma ideia mais inclusiva, que já pertence à estrutura cognitiva, havendo a interação entre ambos (informação e subsunçor) ocasionando uma modificação.

Por exemplo, o conceito de onda eletromagnética deve ser aprendido por um estudante que já conhece os conceitos específicos de ondas mecânicas, pois estas estão associadas ao som, ao movimento das águas do mar, etc. e que se propagam em um meio material. Porém quando ele aprende a respeito das ondas eletromagnéticas, percebe que as mesmas podem se propagar no vácuo e a energia envolvida não é mecânica. Isso trará significado para o estudante, mas o conceito geral de ondas será modificado e inclusivo (existem ondas que podem se mover sem a presença de matéria).

Sobre o processo de ancoragem, Ausubel afirma que os conceitos menos gerais e mais específicos decorrem dos conceitos mais gerais e inclusivos. Dessa forma, o estágio final contará com a ancoragem mais frequente de ideias relevantes à estrutura cognitiva do aprendiz. Isso nos mostra que a aprendizagem significativa possui uma organização hierárquica, pois um novo conhecimento pode servir como âncora para futuros aprendizados.

(...) uma vez que a própria estrutura cognitiva tem tendência a ser organizada em termos hierárquicos, no que toca ao nível de abstração, generalidade e inclusão de ideias, a emergência de novos significados proporcionais reflete, de um modo geral, uma relação “subordinada” do novo material a ideias mais subordinantes na estrutura cognitiva (AUSUBEL, 2003, p .93)

### **2.1.2 Unidades de ensino potencialmente significativas**

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências didáticas baseadas principalmente na teoria da aprendizagem significativa, que possui o objetivo de estimular o processo de ensino aprendizagem não mecânica.

O estudo de física em sala de aula se baseia em conteúdos que são depositados nos alunos e em seguida, os mesmos são obrigados a decorá-los, sem construir um aprendizado profundo e consistente, mas algo superficial e sem conexão com os saberes antigos. Com o passar do tempo, muitas dessas informações sairão de sua mente. Com tudo, Moreira cita:

(...) só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim; materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos (MOREIRA, 2011, p.2)

Sendo assim, a UEPS condiciona o aluno a aprender de forma significativa seguindo alguns passos onde o conhecimento será formado por meio de oito passos sequenciais, tal como proposto por Moreira (2011).

A sequência didática seguirá oito passos, a saber:

1º passo: Definir o tópico a ser abordado, com a devida identificação dos aspectos declarativos e procedimentais;

2º passo: Criar/propor situações utilizando discussão, questionamento, mapas conceituais, mapas mentais, situação problemas e outros. O objetivo de

passo é identificar o conhecimento prévio do estudante e contextualizá-lo dentro do assunto a ser trabalhado.

3º passo: Propor situação-problema, que podem funcionar como organizador prévio, pois sua abordagem deverá ser bem introdutória. O intuito é que se crie um ambiente propício para novos significados, ou seja, o discente deve entendê-las como problema e ter condições de modelá-las mentalmente. Simulações computacionais, vídeos, problemas cotidianos, e outros podem ser exemplos de destas situações-problemas.

4º passo: Apresentação do conhecimento a ser ensinado pelo docente começando de conteúdos mais gerais dando uma visão do todo e partindo para casos mais específicos com exemplos. Neste passo pode-se utilizar uma aula expositiva oral seguida por atividades colaborativas entre os discentes.

5º passo: Dar continuidade ao passo anterior da unidade de ensino com outra exposição oral, mas com nível mais alto de complexidade, situações problemas devem sempre acompanhar um sequencia de maior complexidade para maior complexidade. Os discentes devem ser impulsionados a realização de nova atividade colaborativa com a mediação docente.

6º passo: Continuar o processo de diferenciação progressiva. Uma nova exposição oral, ou leitura de texto, ou uso de um recurso computacional, ou uso de audiovisual, etc. o ideal é que após esta terceira apresentação, o nível de dificuldade dos problemas propostos seja mais elevado em relação aos anteriores. Devem ser resolvidas de forma colaborativa e apresentadas em grande grupo, com mediação do docente.

7º passo: Avaliação da eficácia da aplicação da UEPS como método de aprendizagem. Deve-se registrar tudo o que comprovar vestígios de aprendizagem significativa durante sua execução, onde haverá também uma avaliação somativa individual que serve para validar a compreensão e captação de significados.

8º passo: Análise do êxito da UEPS, baseando-se no poder do discente em aplicar o conhecimento adquirido em resolver problemas e situações, não condicionados no resultado final, mas no processo gradativo, pois a aprendizagem significativa é progressiva.

No produto educacional materializou tais passos em atividades lúdicas e participativas, por meio das quais possibilitamos o desenvolvimento de uma

sequência didática onde buscamos promover a autonomia e a aprendizagem significativa.

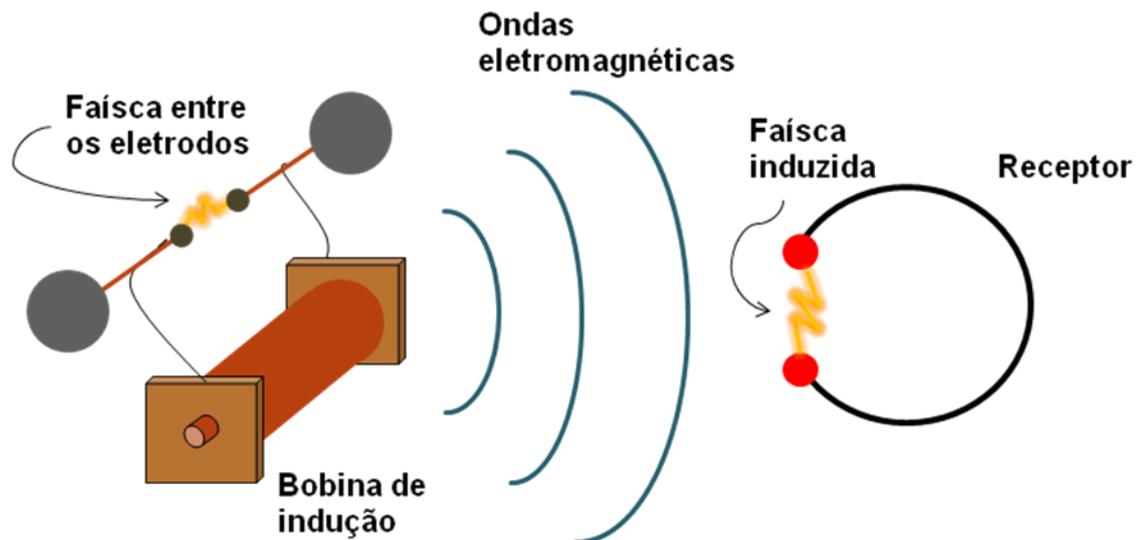
## 2.2 O efeito fotoelétrico

Uma das grandes descobertas da física moderna e contemporânea foi o efeito fotoelétrico, que além de trazer o esclarecimento da natureza da luz (e demais radiações eletromagnéticas), promoveu a criação de diversos dispositivos aplicados nas mais variadas situações do nosso cotidiano.

O efeito fotoelétrico foi descoberto por acaso por Heinrich Hertz em 1887, logo após ter conseguido demonstrar a natureza eletromagnética da luz (EISBERG, 1961). Sua experiência consistia em produzir uma descarga oscilante que poderia saltar faísca entre dois eletrodos, gerando as ondas eletromagnéticas que seriam detectadas por meio de uma antena ressonante, na qual também funcionava por meio de faísca entre eletrodos (ver Figura 3). Ele observou que ao colocar um anteparo entre as duas, a faísca saltava com mais dificuldade na antena receptora, principalmente quando privada da luz violeta e ultravioleta.

Neste momento, Hertz estava validando a teoria de Maxwell a respeito da física clássica do eletromagnetismo, mas ao mesmo tempo, abrindo a porta para a nova teoria da quantização. Verificou-se que o motivo pelo qual a luz ultravioleta contribuía com a descarga era por ser capaz de arrancar elétrons da superfície metálica dos eletrodos, os elétrons ionizavam o ar, pois estavam acelerados pela diferença de potencial, facilitando assim a descarga (NUSSENZVEIG, 2002).

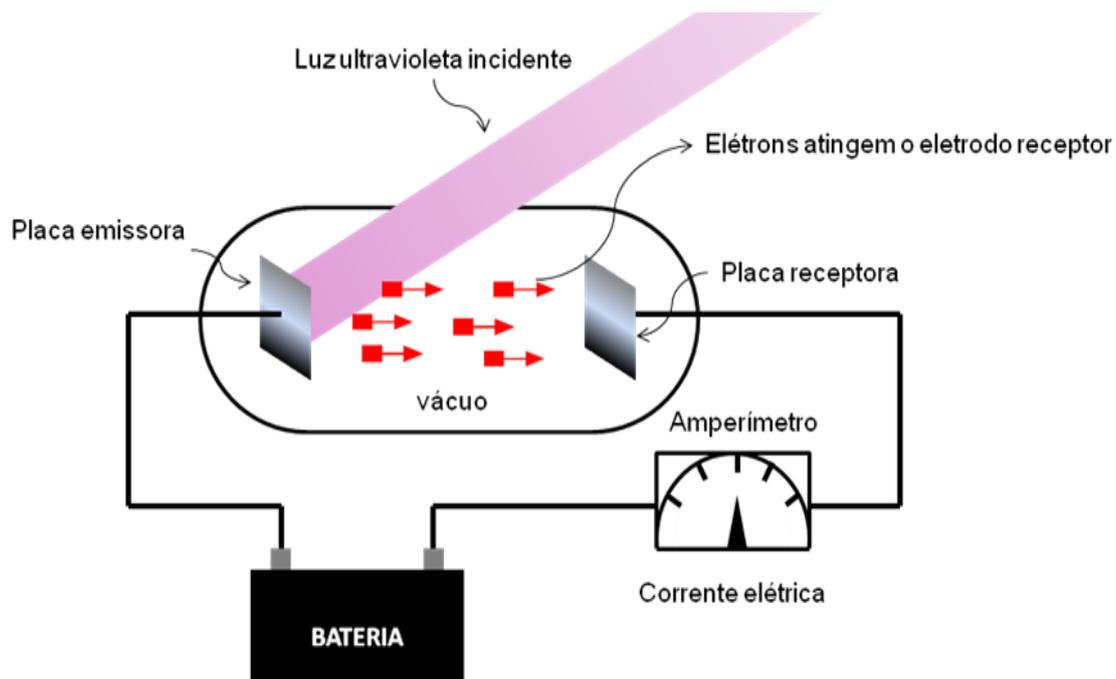
Figura 3: Experimento de Hertz



Fonte: produção do autor

Dois cientistas chamados Wilhelm Hallwachs e Phillip Lenard dedicaram-se ao estudo do efeito fotoelétrico durante os anos de 1886 e 1902 (LOGICAL CLASS, 2021), onde diversos experimentos foram realizados, notavelmente quando a luz ultravioleta incidia sobre superfícies metálicas. Lenard observou que radiações de ultravioleta incididas em uma das placas de metal que servia de eletrodo em um dispositivo envolvido por um tubo de vidro contendo vácuo, gerava uma corrente elétrica ao circuito externo como mostra a Figura 4 (NUSSENZVEIG, 2002).

Figura 4: Experiência de Lenard mostra o surgimento de corrente elétrica a partir da incidência de luz ultravioleta em um dos eletrodos.

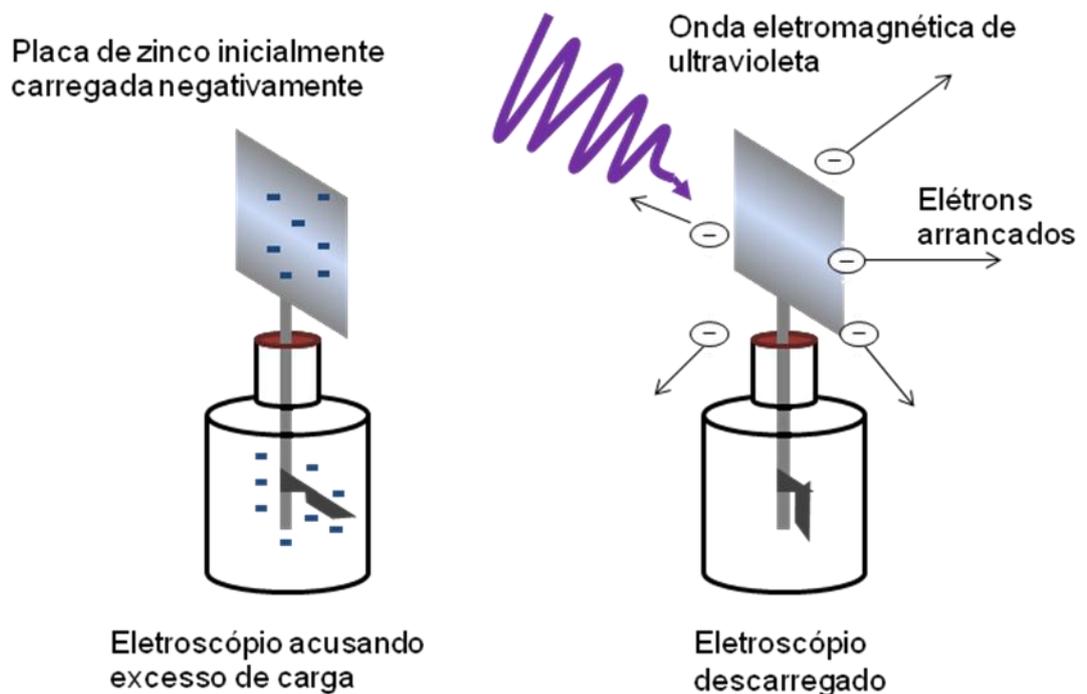


Fonte: produção do autor

Porém, quando a radiação ultravioleta era interrompida, o fluxo de corrente elétrica também cessava. Essa experiência mostrou que era a radiação incidida na placa emissora a responsável por ejetar algumas partículas carregadas, e elas por sua vez, eram atraídas a placa positiva.

Hallwachs conduziu novas investigações, posteriormente, pegando uma placa de zinco e um eletroscópio. A placa de zinco foi conectada ao eletroscópio em três situações: descarregada, carregada negativamente e carregada positivamente, em três experimentos distintos. Ele observou que: no primeiro experimento, a placa descarregada, quando irradiada por luz ultravioleta tornou-se carregada positivamente. No segundo experimento, a placa inicialmente carregada negativamente, ao ser iluminada por luz ultravioleta, a placa de zinco era totalmente descarregada (ver Figura 5). No terceiro experimento a placa positivamente carregada, ao receber luz ultravioleta se tornava mais positiva (HALLWACHS,1888)

Figura 5: Experiência de Hallwachs que mostra o descarregamento de uma placa de zinco inicialmente com carga negativa após ser iluminada por luz ultravioleta.



Fonte: produção do autor

Estudos seguintes de Hallwachs também mostraram que diferentes metais emitem elétrons quando irradiados por diferentes radiações eletromagnéticas. Por exemplo, metais alcalinos como sódio, cálcio e potássio, emitem elétrons com radiações de raio X, ultravioleta e luz visível ( exceto luz vermelha e laranja).

É importante resaltar que os elétrons só foram descobertos em 1897 por J.J. Thomson (BREHM, 1989), por meio de experimentos envolvendo os raios catódicos, que consiste em uma ampola fechada de vidro ou quartzo, contendo um gás a baixa pressão. Dentro da ampola existem duas placas metálicas, o ânodo (eletrodo receptor) e o cátodo (eletrodo emissor) que quando ligadas a uma tensão muito alta, pode gerar um feixe direcionado do cátodo ao ânodo (ver Figura 6).

Thompson conseguiu descobrir que o feixe era formado por partículas que possuíam massa e carga elétrica negativa, devido a sua interação com o campo elétrico formado entre duas placas de sinais positivo e negativo, respectivamente, na qual sofria desvio, se aproximando da placa de sinal positivo (PIRES, 2011). Quando um campo magnético de valor específico é produzido por bobinas instaladas em certa direção, uma força magnética

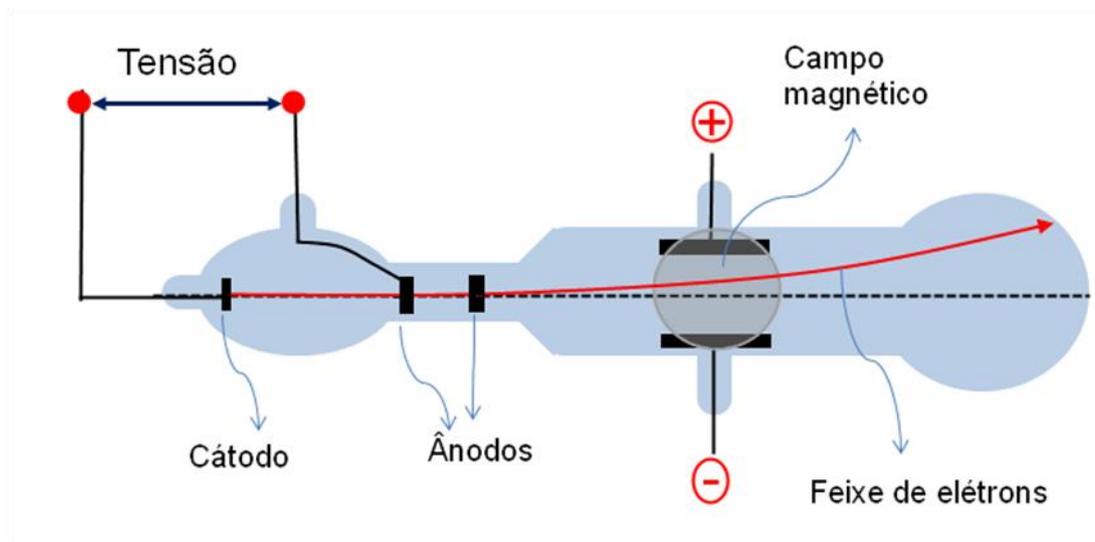
interage com o feixe, assim como a força elétrica devido ao campo elétrico entre as placas carregadas, cancelando o desvio do feixe, pois as forças elétrica e magnética, nesta circunstância se cancelam. Com isso, é possível obter a razão carga-massa das partículas contidas no feixe em função dos dados experimentais. Ele percebeu que estas partículas estariam presentes em toda a matéria, conforme menciona Tipler:

Ele mostrou também que partículas com esta razão carga-massa podem ser obtidas usando qualquer material para o cátodo, o que significa que estas partículas, agora chamadas de elétrons, são constituintes fundamentais de toda a matéria.

(TIPLER, 2006, p 8-9)

Lenard confirmou essa hipótese em um experimento semelhante, porém usando um cátodo estimulado por radiação (fotocátodo), que quando bombardeado por ultravioleta, liberava partículas que possuíam a relação carga-massa igual ao que Thompson conseguiu em seu experimento (EISBERG,1961).

Figura 6: Experiência dos raios catódicos de J.J. Thompson



Fonte: produção do autor

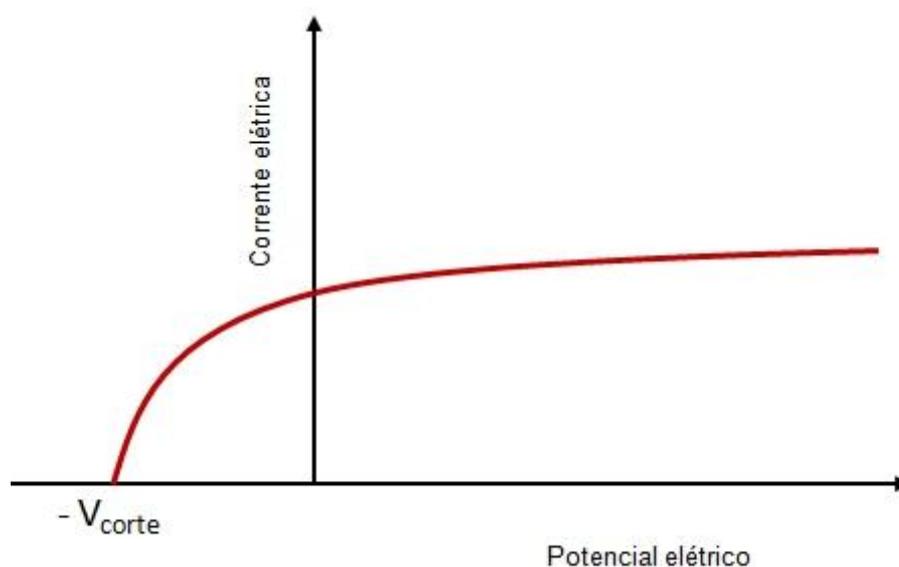
Outro experimento foi necessário para determinar as quantidades  $e$  e  $m$  separadamente. A intensidade da carga do elétron foi medida a

seguir por Millikan em uma série de estudos começando em 1906 (BRHEAM, 1989, p.128)

Os experimentos de Lenard esclareceram a identidade das partículas fotoelétricas, mas também demonstraram que algumas propriedades eram difíceis de entender, pois à medida que tal fenômeno era analisado, era possível constatar comportamentos contraditórios em relação à física clássica, conforme veremos a seguir (SOARES, 2016).

Retomando o experimento típico do efeito fotoelétrico, conforme representado na Figura 4, Lenard mediu a corrente elétrica variando apenas o potencial elétrico entre os eletrodos de metal, porém mantendo todos os outros parâmetros fixos e percebeu que à medida que o valor do potencial torna-se ligeiramente negativo, a corrente elétrica vai reduzindo sua intensidade verificada no amperímetro. Quando o valor aferido pelo amperímetro atingir zero, os elétrons de maior energia ejetados pelo fotocátodo (placa emissora) serão detidos pouco antes de chegar à placa receptora. O potencial envolvido nesta situação é chamado de potencial de corte ( $V_{\text{corte}}$ ). O Gráfico 1 mostra o resultado do valor da corrente elétrica em relação ao potencial.

Gráfico 1: Dependência da corrente elétrica em função do potencial elétrico



Fonte: produção do autor

A energia cinética máxima ( $K_{max}$ ) dos elétrons freados é dada por:

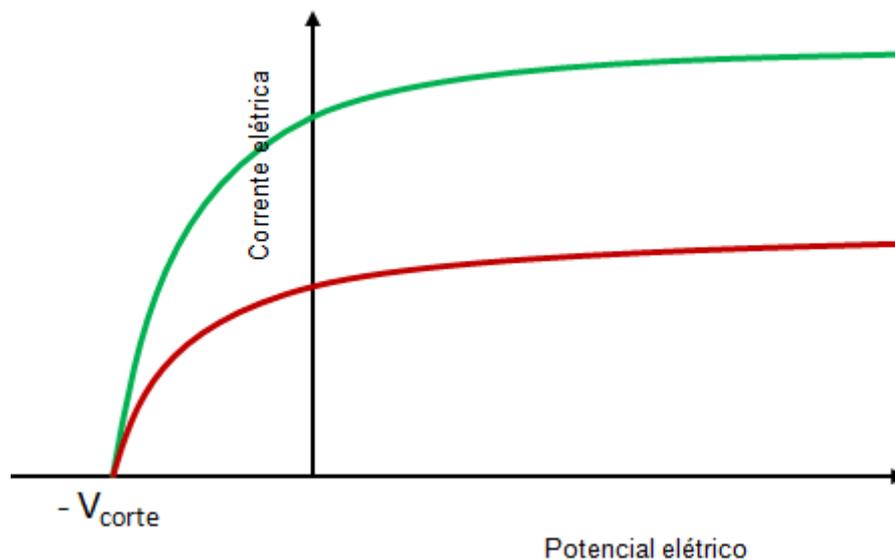
$$K_{max} = eV_{corte} \quad (1)$$

Onde  $e$  é a carga elementar (ou carga do elétron).

A Equação 1 nos mostra que a energia cinética máxima dos elétrons ejetados é proporcional ao valor do potencial de corte. Isso significa que podemos medir o valor da energia cinética máxima dos elétrons ejetados apenas analisando o valor de  $V_{corte}$ .

Os experimentos mostram que a intensidade da luz que incide no alvo com determinadas frequências não altera o valor do potencial de corte, quer o alvo iluminado por luz ofuscante, quer iluminado por uma luz mais intensa, a energia cinética máxima dos elétrons ejetados tem sempre o mesmo valor, contanto que a frequência da luz permaneça a mesma (HALLIDAY, 2009). O Gráfico 2 mostra o comportamento da corrente elétrica quando o alvo é iluminado por fontes de intensidades diferentes. A linha verde representa uma intensidade alta e a linha vermelha representa uma intensidade baixa da radiação incidente. Observe que o potencial de corte é o mesmo nas duas situações, por isso, verificando-se a Equação 1, conclui-se que o valor de  $K_{max}$  é igual nos dois casos. Então, podemos dizer que a energia com que o elétron é arrancado do metal não depende da intensidade da radiação incidente.

Gráfico 2: Dependência da corrente elétrica em relação ao potencial elétrico para duas intensidades distintas da mesma frequência.

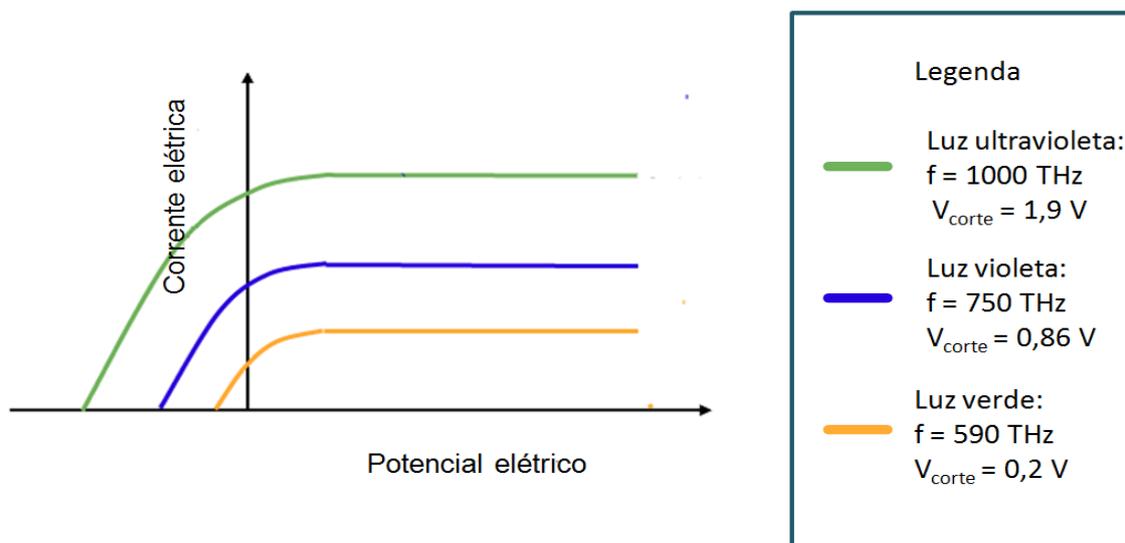


Fonte: produção do autor

Tal resultado experimental não pode ser explicado pela física clássica. De acordo com o eletromagnetismo clássico, a luz, assim como o ultravioleta são ondas eletromagnéticas e por isso o campo elétrico associado exerce uma força sobre os elétrons do alvo, o que causaria uma vibração nos mesmos na mesma frequência da onda. A amplitude de vibração dos elétrons deveria ultrapassar certos valores que os ejetam da superfície do metal alvo. Dessa forma ao aumentar a intensidade da onda, estamos também aumentando a amplitude, por isso os elétrons deveriam ser arrancados com maior energia, porém, isso não ocorre. Para uma dada frequência, a energia máxima dos elétrons emitidos pelo alvo é sempre a mesma independente da intensidade da luz incidente.

O segundo experimento consiste em medir o potencial de corte para várias frequências ( $f$ ) da luz incidente mantendo as intensidades iguais. O Gráfico 3, mostra a disposição da corrente elétrica em relação ao potencial, quando o alvo (ou fotocátodo) é um metal alcalino, como por exemplo o potássio (onde o efeito fotoelétrico ocorreria com a luz visível, porém não ocorreria com a luz infravermelha). Observe que o potencial de corte muda de valor à medida que se aumenta a frequência da onda eletromagnética incidente.

Gráfico 3: Experiência da corrente x potencial para diferentes tipos de ondas eletromagnéticas incidentes em um alvo de potássio.



Fonte: produção do autor (dados baseados a partir da simulação)

Outra informação extraída destes dois experimentos é que cada substância utilizada para ser o alvo terá um potencial de corte diferente, sendo esta grandeza uma característica do material utilizado (INSTITUTO DE FÍSICA DA UFBA, 2020).

Conforme a Equação 1 e pela conservação da energia, a energia cinética máxima dos elétrons deve corresponder a energia fornecida pela onda eletromagnética ( $E$ ) menos o trabalho ( $\phi$ ) necessário para extrair um elétron da superfície contra a força atrativa da carga positiva remanescente no material do alvo. O  $\phi$  é chamado de função trabalho e depende do tipo de material. Logo a Equação 2, nos diz que:

$$K_{max} = E - \phi \quad (2)$$

De acordo com a teoria eletromagnética clássica, uma onda eletromagnética transporta energia, que é proporcional à intensidade da onda, independente de sua frequência. Assim, esperaríamos que à medida que a intensidade aumentasse, aumentaria também o valor de  $E$  na equação 2, porém o aumento da intensidade apenas aumenta o valor da corrente elétrica (ver Gráfico 2).

Ainda analisando o resultado contido no Gráfico 1, percebe-se que a variação da Intensidade não altera o valor do  $V_{corte}$ , e como consequência não deve alterar a energia cinética dos elétrons (ver equação 1) e consequentemente suas velocidades. Se a velocidade dos elétrons arrancados não aumenta com o aumento da intensidade, então o aumento da corrente elétrica registrada no amperímetro é decorrente do acréscimo de elétrons arrancados. Logo, os experimentos mostram que o aumento a intensidade provoca um aumento de elétrons ejetados. Contudo, a dependência da energia cinética máxima dos elétrons arrancados e do potencial de corte com a frequência da radiação incidente, não possuem explicação pela física clássica.

Outra propriedade que está em desacordo com a teoria clássica é a ausência de um atraso mensurável entre os instantes em que a fonte luminosa é ligada e a emissão dos elétrons. Na teoria, pode-se ajustar a intensidade da fonte, de maneira que os elétrons gastem um tempo da ordem de minutos ou até de horas, já que a radiação se distribui continuamente e incide na placa homogeneamente. O átomo (por ser pequeno) demoraria certo tempo para absorver energia suficiente para a ejeção dos elétrons. Mas, a observação experimental mostra que em todos os casos, os elétrons são arrancados assim que a fonte é ligada.

Em 1902, Lenard obteve os seguintes resultados após medições cuidadosas:

- A energia cinética  $(m/2)v^2$  dos fotoelétrons depende exclusivamente do comprimento de onda da luz incidente, não de sua intensidade!
- O número de fotoelétrons ejetados é proporcional à intensidade da luz.
- Não há atraso mensurável entre a irradiação e a ejeção do elétron.

(DEMTRÖDER, 2010, p 89)

Num trabalho em 1905, Albert Einstein propôs uma teoria do efeito fotoelétrico baseada numa extensão das ideias de Planck sobre quantização dos osciladores harmônicos presentes na emissão da radiação do corpo negro. O corpo negro ideal pode ser entendido como uma cavidade com um pequeno furo, pois a probabilidade de um raio que entra nela torne a sair, antes de ser absorvido pelas paredes é muito pequena (TIPLER, 2001).

O equilíbrio térmico da radiação no interior da cavidade ocorre através de trocas de energia entre a radiação e os átomos das paredes, à temperatura  $T$ , os átomos absorvem e reemitem a radiação. O modelo clássico para absorção e emissão de radiação eletromagnética de frequência  $f$  por um sistema de cargas (átomo) é que as cargas oscilem com essa frequência.  
(NUSSENZVEIG, 2002, p 247)

A emissão da energia do corpo negro podia ser expressa pela teoria clássica em concordância com os resultados experimentais, porém não possuía serventia para pequenos comprimentos de onda, pois nesse caso a densidade de energia tende ao infinito. No entanto, seu valor tende a zero para pequenos comprimentos de onda, de acordo com os resultados experimentais. Tal discrepância foi chamada de catástrofes do ultravioleta (TIPLER, 2001).

Para resolver esse problema, Planck realizou algumas hipóteses. Sugeriu que a energia das cargas oscilantes não era uma variável contínua, que na verdade deveria ser considerada como uma variável discreta, ou seja, capaz de assumir valores  $0, E, 2E, \dots, nE$ , onde  $n$  é um valor inteiro. Além disso, teve que assumir que a energia dependia da frequência dos osciladores e conseqüentemente à frequência da radiação. Logo, a energia ser dada por:

$$E_n = nE = nhf \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Onde  $h$  é conhecida hoje como a constante de Planck ( $6,67 \cdot 10^{-34}$  J.s) e  $f$  a frequência da radiação.

A teoria proposta por Einstein para o efeito fotoelétrico admite que a quantização da energia proposta por Planck é uma característica universal da luz, ou seja, a luz é constituída por quanta isolados de energia  $hf$ . Hoje chamamos estes quanta de fótons. Assim, a menor energia que uma onda luminosa de frequência  $f$  pode possuir é  $hf$ , a energia de um único fóton, Se a onda possui uma energia maior, esta deve ser um múltiplo inteiro de  $hf$  (HALLIDAY, 2009).

Einstein propôs ainda que sempre que a luz é absorvida ou emitida por um corpo essa absorção ou emissão ocorre nos átomos do corpo. Quando um fóton de frequência  $f$  é absorvido por um átomo, a energia  $hf$  do fóton é transferida da luz para o átomo. Esse evento de absorção envolve a aniquilação de um fóton. Quando um fóton de frequência  $f$  é emitido por um átomo, uma energia  $hf$  é transferida do átomo para a luz. Esse evento de emissão envolve a criação de um fóton. Assim, os átomos de um corpo podem emitir ou absorver fótons (HALLIDAY, 2009, p.187)

No processo fotoelétrico um quanta é completamente absorvido por um elétron contido inicialmente no fotocátodo, assumiu Einstein. Dessa forma, se a energia absorvida por um quanta for grande o suficiente, o elétron poderá vencer a força atrativa da carga remanescente. O mecanismo envolvido no processo será:  $e_{\text{ligado}} + \gamma \rightarrow e_{\text{livre}}$ , que significa que um elétron ligado ao núcleo atômico ( $e_{\text{ligado}}$ ) ao absorver um fóton ( $\gamma$ ) de energia bem específica se tornará um elétron livre ( $e_{\text{livre}}$ ). Assim, podemos reescrever a Equação 2, como:

$$K_{\text{max}} = hf - \phi \quad (4)$$

A Equação 4 é chamada de equação de Einstein para o efeito fotoelétrico.

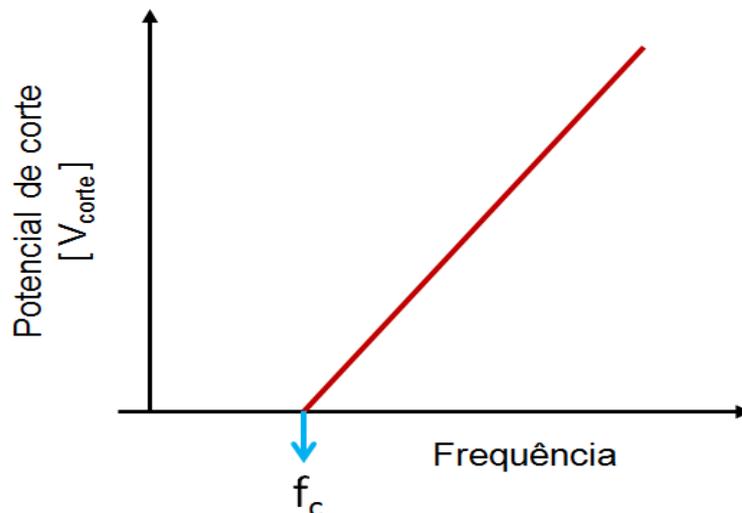
Recombinando a Equação 4 com a Equação 1, Temos:

$$eV_{\text{corte}} = hf - \phi \quad \Rightarrow$$

$$V_{\text{corte}} = \frac{hf - \phi}{e} \quad (5)$$

Este resultado nos diz que o valor do  $V_{\text{corte}}$  aumenta linearmente com o aumento da frequência da luz incidente no material. O Gráfico 4 mostra a representação da dependência linear do  $V_{\text{corte}}$  e da frequência ( $f$ ).

Gráfico 4: Potencial de corte em relação à frequência



O Gráfico 4 é típico daqueles encontrados para qualquer metal e é a representação dos resultados obtidos por Millikan na confirmação da hipótese de Einstein (BREHM, 1989). Podemos observar que a inclinação da linha reta é prevista como  $h/e$  na Equação 5. Portanto, o experimento fotoelétrico pode fornecer outra determinação da constante de Planck, por um método diferente daquele abordado no problema do corpo negro. Algo muito importante a ser notado também é que, o Gráfico 4 indica uma frequência mínima abaixo da qual o efeito fotoelétrico não pode ocorrer, essa frequência limite é obtida tomando  $V_{corte} = 0$  na Equação 5, onde teremos:

$$f_c = \frac{\phi}{h} \tag{6}$$

A radiação com essa frequência contém fótons com energia suficiente para liberar elétrons do metal com velocidade zero de ejeção. Radiações de menor frequência não podem produzir fotoelétrons, mesmo que sua iluminação seja de alta intensidade. Chamamos esta frequência mínima para obtenção do efeito fotoelétrico de frequência de corte ( $f_c$ ). Logo, a frequência de corte é dada pela Equação 6. A luz vermelha (assim como a infravermelha) não provoca fotoelétrons nos materiais observados, porque sua frequência é menor que a frequência de corte dos materiais.

A hipótese do fóton também consegue explicar facilmente a inexistência do tempo de retardo entre a incidência da radiação pela fonte e a emissão de elétrons do material, pois embora o número de fótons que incidem no metal por

unidade de tempo seja pequeno, quando se usa uma baixa intensidade, a energia de cada fóton já será suficiente para arrancar um elétron, assim existe grande chance de que alguns fótons sejam absorvidos imediatamente, por isso logo que a fonte é ligada é possível observar elétrons emitidos.

A Tabela 1, a seguir, mostra as contradições da física clássica e a explicação coerente da física quântica a respeito do fenômeno:

Tabela 1: Comparações entre resultados experimentais e teorias clássica e quântica

<b>Previsões da física clássica</b>	<b>Resultados experimentais</b>	<b>Explicações com base na teoria quântica</b>
A energia cinética dos elétrons aumenta com a intensidade da onda eletromagnética	A energia cinética não varia com a intensidade	A energia cinética dos elétrons depende da energia contida no fóton (ou sua frequência). A intensidade da onda está relacionada com a quantidade de fótons que viajam em direção aos elétrons.
A energia cinética não deverá depender de forma descontínua da frequência da onda eletromagnética	Frequências baixas não provocam o efeito fotoelétrico	A quantidade de energia do fóton deve ser maior que a função trabalho, senão o fenômeno não ocorre. A energia do fóton depende da frequência da onda eletromagnética que ele compõe.
Há um atraso para haver emissão de elétrons, dependendo da intensidade.	Não há atraso perceptível na emissão de elétrons.	O fóton viaja na velocidade da luz e atinge o elétron, transferindo energia necessária para ser ejetado, de forma quase instantânea.

Graças à mente brilhante de Albert Einstein o efeito fotoelétrico foi explicado e sua contribuição lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921. A descoberta e explicação de tal fenômeno nos deu capacidade de aplicá-lo em diversas situações nos dias atuais. Podemos construir dispositivos diversos com larga aplicação, por exemplo, as fotocélulas, que tem inúmeras aplicações práticas (fotômetros, controle de portas de elevadores, etc), que empregam o efeito fotoelétrico para converter o sinal luminoso em corrente elétrica (NUSSENZVEIG, 2002). Sem dúvidas, a descoberta trouxe novos olhares para a visão de uma nova ciência, mas também alcançou desenvolvimentos tecnológicos que ajudaram muitas pessoas.

## Capítulo 3: Aplicação do Produto Educacional

### 3.1 Escola e turmas participantes:

O produto foi aplicado na Escola Nossa Senhora da Conceição que localiza-se no município de Olinda, Região Metropolitana do Recife no Estado de Pernambuco. Trata-se de uma instituição privada que funciona a mais de 50 anos atuando na educação e formação básica. A escola tem turmas de diversos segmentos: da educação infantil aos anos finais do ensino médio. A educação infantil funciona tanto no turno da manhã quanto a tarde, assim como todo o ensino fundamental. Já o ensino médio funciona em regime semi-integral.

A Escola conta com uma estrutura apropriada para a excussão das aulas, pois disponibiliza de TV e/ou projetor, acesso a internet e notebooks em todas as salas de aula, além de uma sala de laboratório de informática, para desenvolvimento de cada atividade abordada.

As duas turmas do 3º ano do ensino médio foram contempladas com a aplicação do produto. A escolha desta série deve-se ao conhecimento prévio já adquirido pelos alunos, tendo em vista que os alunos já vivenciaram muitos conceitos físicos básicos, como processos de eletrização, ondas mecânicas e eletromagnéticas, circuitos elétricos, pois fazem parte da sequência de conteúdos abordadas em seu currículo (BRASIL, 2002), e outros que servirão como ponto de partida para novos conhecimentos.

As duas turmas participantes do projeto serão nomeadas como Turma A e Turma B. No ano de sua aplicação, ambas possuíam uma quantidade igual a 30 alunos e 27 alunos, respectivamente. Porém, devido aos motivos da pandemia devido ao COVID-19, nem todos puderam participar presencialmente das aulas. Assim, alguns alunos permaneceram presencialmente em todas as aulas enquanto que os demais participaram de todas as aulas remotamente.

Os alunos serão nomeados como: 01-A, 02-A, 03-A, etc. onde a letra A representa a turma e o número indica um específico aluno. Dessa forma, os alunos da outra turma serão nomeados por: 01-B, 02-B, 03-B, etc.

### 3.2 Relatórios e discussões:

O produto conta com uma sequência didática baseada nas UEPS. Os passos sequenciais propostos por Moreira estão relacionados na Tabela abaixo com os respectivos recursos abordados em cada aula e sua carga horária.

Tabela 2: Aspectos sequenciais das UEPS aplicadas ao Produto

Aula	Aspectos sequenciais da UEPS	Recursos	Carga horária mínima
1 <sup>a</sup>	2º passo: Criação de situações que externalizam os conhecimentos prévios dos alunos, relevante à aprendizagem significativa.	Questionário de conhecimentos prévios e discussão	45 minutos
2 <sup>a</sup>	3º passo: Proposta de situação- problema em nível introdutório. O aluno pode usar os conhecimentos prévios para modelá-la mentalmente.	Vídeo problemático da experiência do efeito fotoelétrico, projetor e aparelho de som.	45 minutos
3 <sup>a</sup>		Computadores, projetor e software apropriado.	45 minutos
4 <sup>a</sup>	4º passo: Exposição oral do conhecimento a ser aprendido levando em conta a diferenciação progressiva, seguida de atividades colaborativas.	Lousa e pincel	45 minutos
5 <sup>a</sup>	5º passo: Retomada dos conteúdos em nova apresentação, em nível mais alto de complexidade, destacando semelhanças e diferenças relativas às situações já trabalhadas. Em seguida novas atividades são propostas.	Texto didático, vídeo e questionário	45 minutos
6 <sup>a</sup>		Lousa e pincel	45 minutos

	6º passo: Aula expositiva integradora que retoma todas as atividades anteriores e propostas de novas atividades em níveis mais complexos.		
7ª	7º passo: Resolução da avaliação somativa individual através de questionário pelos alunos.	Formulário de Avaliação final.	45 minutos
8ª	8º passo: Avaliação de aprendizagem da UEPS, que está baseada nos trabalhos realizados e nas observações em sala de aula.	Questionário atribuído aos alunos.	45 minutos

### **3.2.1 Primeira Aula: Verificação dos subsunçores por meio de questionário:**

A Turma A e a Turma B iniciaram o projeto no mesmo dia, inicialmente com a Turma B e em seguida com a Turma A, onde foi apresentada a proposta das aulas estruturadas e que a participação e o comprometimento de cada aluno deveriam ser extremamente importantes para um desfecho de sucesso.

Nesta primeira etapa do projeto, disponibilizamos um questionário contendo 7 questões (Apêndice A do Produto Educacional ) para que fosse resolvido pelos alunos. O objetivo foi de reconhecer os conhecimentos prévios de cada aluno. Os assuntos abordados neste questionário versam sobre ondas eletromagnéticas e suas características principais, bem como algum subsunçor sobre física quântica.

As perguntas do questionário, assim com suas respostas serviram como base para a discussão em seguida. Dessa forma, os alunos tiveram oportunidade para discorrer sobre o conteúdo em suas falas e também adicionaram novas observações devido à reconstrução dos conhecimentos promovidos durante a socialização do conteúdo em grupo.

Neste momento foi observada a interação positiva de todos os alunos presentes, externando suas experiências e conhecimentos vivenciados. Os alunos foram instigados a participarem mesmo aqueles que ainda possuíam algumas dúvidas.

O questionário foi aplicado durante 20 minutos e foram analisados conceitos relacionados com: classificação das ondas com respeito a sua natureza; características das ondas com respeito ao comprimento de onda, frequência, velocidade de propagação e outros, tipos de ondas eletromagnéticas recebidas por nós pela incidência do Sol; conceitos básicos de física quântica adquiridos ao longo da vida dos alunos.

O primeiro questionamento foi: O que é uma onda? Notou-se que a grande maioria dos alunos conseguiu identificar sua principal ideia:

03-A: “É algo que se propaga no meio e que contem energia.”

22-A: “É uma perturbação que se desloca de um lugar para outro.”

07-B “Perturbações que se propagam pelo espaço pelo transporte de energia”

14-B: “Transporte de energia que em sua maioria não é perceptível visualmente.”

22-B: “É uma perturbação que se propaga no espaço a partir de seu ponto de inicial.”

Por meio das respostas mencionadas, pode-se extrair elementos que nortearão os conteúdos que serão trabalhados na sequência da UEPS, como o transporte de energia pelas ondas e sua propagação pelo meio.

Outro aspecto importante mencionado pelos alunos foi sobre a natureza da onda já associado ao seu conceito:

06-B: “Onda é uma oscilação resultante de algo, por exemplo, uma onda do mar, é resultante da movimentação marinha.”

09-A: “É algo oscilante que se move no espaço e nos possibilita utilizar o micro-ondas, ouvir o rádio, e assistir televisão.”

O aluno 06-B evidencia as características de uma onda mecânica que se propaga por meio das águas do mar, enquanto que o aluno 09-A tem a visão de ondas eletromagnéticas, utilizadas em aparelhos citados.

Mesmo tendo alunos com boa base conceitual sobre o assunto exposto, ainda existiram alunos que não sabiam responder essa pergunta. No total apenas 6 alunos não conseguiram responder, mostrando um número bem pequeno de alunos sem muito conhecimento prévio, mas que mesmo assim participaram das seguintes perguntas.

A segunda pergunta é: Onde encontramos ondas em nosso dia a dia? A grande maioria dos alunos (em torno de 93%) citou em suas respostas ondas como: luz, TV e alguns aparelhos eletrônicos, micro-ondas, rádio, wi-fi e exames de raio-X. O que mostra o quanto que os alunos estão cientes das ondas eletromagnéticas envolvidas nos aparelhos que usamos constantemente. Mesmo aqueles alunos que não souberam conceituar uma onda, conseguiram responder esta pergunta.

A ausência de citações baseadas em ondas mecânicas mostra o quanto os alunos estão imersos nos dispositivos tecnológicos nos dias atuais. Desse modo espera-se que os mesmos tenham interesse no estudo do efeito fotoelétrico.

A terceira pergunta tem como resposta a confirmação das respostas da pergunta anterior, sendo ela: “Você já ouviu falar de ondas eletromagnéticas?”

Todos os alunos responderam sim. Alguns comentaram que tais ondas podem se propagar no vácuo, e outros ainda confirmaram sua capacidade de emitir energia enquanto se propagam em um meio.

Ficou claro, o quanto que ondas do tipo eletromagnéticas estão bem inseridas em suas estruturas cognitivas, isso trás mais facilidade para acrescentar novos conhecimentos que podem se conectar com o que já existe.

A quarta pergunta refere-se às características específicas de certas ondas, como: “O que é a frequência da onda?”

Os alunos responderam baseados nos estudos vivenciados em aulas vivenciadas no ano anterior, como:

04-A: “A quantidade de vibração.”

06-A: “São as oscilações de uma onda durante um certo período de tempo.”

10-A: “Número de oscilações.”

14-A: “Número de oscilação de ondas por um período de tempo.  
Exemplo: 34 Hz - Oscila 34 vezes.”

09-B: “Número de ciclos de uma onda.”

16-B: “Frequência de onda é basicamente o quanto aquela 'pulsa'.”

29-B: “Uma forma de calcular suas oscilações.”

Conforme foi visto, muitos alunos conseguiram associar a frequência da onda com o número de oscilações realizadas por ela em certo intervalo de tempo. Poucos alunos não conseguiram responder essa pergunta.

Alguns alunos, por exemplo o 14-A, conseguiram usar como resposta a unidade Hertz (Hz), identificando a unidade equivalente da frequência, demonstrando um conhecimento mais profundo a respeito da medição desta grandeza.

A quinta pergunta foi: “O que é o comprimento de onda?” As respostas foram variadas e muitos demonstraram dificuldade em definir de forma correta este conceito. As respostas mais relevantes foram:

06-A: “É a distância entre duas cristas.”

13-A: “É a distância entre valores repetidos.”

As demais respostas demonstraram o quanto os alunos ainda possuíam dúvidas sobre esta grandeza da onda, tendo em vista que responderam: “Não sei”, entre outros que colocaram: “é o tamanho da onda”; “é o tamanho que ela pode ter, saindo de um ponto a outro.”; “Acho que é a distância entre uma frequência e outra.”

As respostas citadas demonstram a fragilidade dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o comprimento de onda, assim, os novos conhecimentos deverão transformar os anteriores na tentativa de construir os conceitos corretos na estrutura cognitiva dos estudantes.

Na sequência, examinamos uma pergunta que abre as portas para o efeito fotoelétrico: “Para você, o que é física quântica?”

Foi notório que muitos alunos já entendiam que o termo quântico estava associado com pequenas quantidades, pois em suas respostas muito alunos mencionaram a palavra átomos.

01-A: “O estudo de fenômenos em uma pequena porção.”

05-A: “Física quântica estuda a matéria em seu menor nível – em uma escala micro.”

09-A: “Tem relação com experimentos laboratoriais e partículas pequenas.”

15-A: “É aquela que estuda a nossa “realidade”, átomos, moléculas, substâncias, etc.”

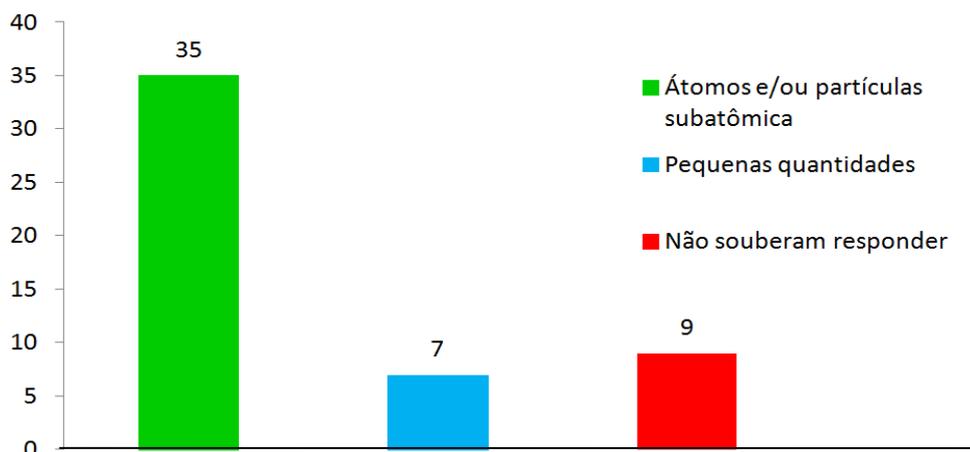
18-A: “É o estudo das partículas atômicas e subatômicas.”

17-B: “Estudo dos sistemas físicos cujas dimensões são próximas ou abaixo da escala atômica.”

25-B: “Uma parte da Física que estuda os átomos.”

De forma geral, muitas respostas referiram-se a tópicos interessantes como: átomos e/ou partículas subatômicas e pequenas quantidades. O Gráfico 5 abaixo mostra o número de ocorrências:

Gráfico 5: Respostas sobre física quântica



Durante o questionário, 9 alunos não souberam definir a respeito da física quântica. Inclusive um deles declarou que já ouviu falar sobre o assunto, mas não sabia explicar.

A presença de respostas indicando átomos e partículas menores que um átomo mostra que os alunos estão muito conscientes do conceito macro da física quântica, pois entendem que os fenômenos quânticos estão relacionados com estruturas bem pequenas da natureza. Por outro lado, os alunos que em suas respostas disseram que a quântica refere-se a pequenas quantidades, também reforça a ideia de comportamentos exclusivos em pequenas quantidades de energia e matéria.

A última pergunta do questionário refere-se ao que tange o assunto de ondas e a física quântica: “Você acredita que existe alguma relação entre física quântica e ondas?”

As respostas foram em sua maioria sim, o que pode servir de base para explorar a ideia da dualidade onda-partícula que será vista mais a frente. Por outro lado, ainda pode existir uma consciência clássica que impede o aluno de fazer a equivalência entre partícula (matéria) e ondas (energia), conforme a resposta de um aluno:

19-A: “Não, porque a física quântica estuda o funcionamento do mundo em escala microscópica e a onda é uma energia, pois ela só faz a transferência de energia cinética da fonte para o meio.” O aluno compreendia que a onda só poderia se manifestar e interagir em sistemas macroscópicos. Sua resposta pôde contribuir para que um debate fosse realizado após o questionário, que foi respondido durante aproximadamente vinte minutos e em seguida retomamos as perguntas realizando um pequeno debate com relação às perguntas e respectivas respostas.

Durante o debate, o papel do professor tornou-se apenas de mediador, pois os próprios alunos interagiram entre si com suas respostas e posicionamentos. Foi possível desenvolver mais o conceito de ondas, sobre sua propagação tanto no meio material quanto no vácuo e que as ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo. Também foi discutido os tipos de ondas eletromagnéticas que existem, que foram citadas pelos alunos: rádio, micro-ondas, infravermelho, luz, ultravioleta, raio X (o raio gama não foi mencionado por eles neste momento), inclusive onde eles são aplicados, como em transmissões de rádio e TV, wi-fi, etc.

Os alunos também falaram sobre a capacidade do sol em emitir ondas eletromagnéticas que podem chegar na Terra, por causa de sua propagação no vácuo, inclusive as principais radiações contidas nelas, como o infravermelho (associado as “ondas de calor”), a luz visível e o ultravioleta. Em seguida, o mediador fez uma pergunta: “O que diferencia os tipos diferentes de ondas eletromagnéticas?” Alguns alunos responderam que a energia delas era diferente da energia de outras, enquanto que outros falaram que poderia ser sua frequência ou comprimento de onda. Validamos por ora, a segunda resposta, tendo em vista que a intensidade está diretamente ligada a sua energia, porém a frequência (ou o comprimento de onda) diferencia cada tipo de onda no espectro eletromagnético.

No final do debate, falamos um pouco sobre a física quântica. Um aluno falou que este assunto estava relacionado com coisas de pequenos tamanho, pois o filme Homem Formiga, exibe um reino quântico que se baseia em sistemas subatômicos. Com base na sua resposta, o mediador fez uma nova pergunta: “O que significa a palavra quantum, para vocês?” A resposta deles foi quase imediata: “Tem haver com quantidade, professor.” Logo em seguida eles fizeram a conexão que a física quântica estava relacionada às menores quantidades de grandezas observáveis na natureza.

Ao final, extraímos alguns comentários dos alunos:

11-B: “Bom, eu compreendi nessa aula que uma onda é uma perturbação que não se propaga apenas no ar, ela também pode se propagar pelo vácuo (dependendo de sua natureza). Além disso, eu entendi que o período é o tempo gasto para ocorrer uma oscilação completa. Já a frequência é a quantidade de perturbações em um determinado tempo e a unidade utilizada na frequência é o Hertz. Ademais, entendi que o comprimento de onda é a distância percorrida pela onda durante um período e que a onda possui cristas (pontos elevados) e vales (pontos baixos). Para finalizar, entendi que as ondas podem ser encontradas em rádios, micro-ondas, televisão, e na própria luz do sol. Com essa aula, pude concluir que as ondas têm uma grande importância na nossa vida, sem ela não existiriam esses eletrodomésticos que tanto nos auxiliam no nosso cotidiano.”

01-A: “De início só queria deixar claro que gostei muito do formato da aula. Compreendi que realmente as ondas eletromagnéticas podem se propagar via vácuo, confirmei que elas estão presentes na luz, nas ondas que o sol propaga, nas ondas de rádio e em diversas outras (em geral não precisam de um meio material). Além disso, confirmei que a Física quântica estuda os fenômenos em seu menor nível.”

O debate durou aproximadamente vinte e cinco minutos, tendo o seu resultado muito proveitoso, pois até os alunos que não conseguiram responder todo o questionário, após o debate relataram bem o que tinham aprendido durante o mesmo, mostrado solidez na compreensão do assunto exposto e até mesmo corrigindo alguns conceitos errados que tinham antes da aula sobre ondas.

### **3.2.2 Segunda Aula: Experiência em vídeo**

A segunda aula começa com um vídeo ( FÍSICA UNIVERSITÁRIA, 2021) relacionado a uma experiência simples, que conta com materiais: o eletroscópio, um canudinho de refresco, papel toalha, lâmpada incandescente de alta potência e lâmpada de vapor de mercúrio (emite radiação ultravioleta). O vídeo encontra-se disponível no endereço eletrônico: <https://www.youtube.com/watch?v=VVka6Mp5vyA>.

O experimento consiste inicialmente na eletrização por atrito (entre o canudinho e o papel toalha) e em seguida a eletrização por contato (entre o canudinho carregado e o eletroscópio). No final desses dois processos o eletroscópio apresenta carga negativa (a mesma do canudinho).

O eletroscópio não descarrega quando uma lâmpada incandescente o ilumina (embora tenha alta potência), porém descarrega quando iluminado por radiação ultravioleta. Neste momento o vídeo foi interrompido, pois em sua continuidade, haveria a explicação completa do fenômeno, todavia o intuito é fazer com que os alunos possam se indagar do fenômeno e procurar respostas para o ocorrido.

Os alunos registraram tudo aquilo que era de mais interessante durante a exibição do vídeo e se prepararam para debater junto com seus colegas os pontos mais relevantes do procedimento experimental.

É importante lembrar que o efeito fotoelétrico é apresentado pela primeira vez nesta aula por meio do vídeo, contudo, ele deixa novas perguntas e questionamentos em aberto, como por exemplo: “Por que a luz incandescente não descarrega o eletroscópio?” Esses questionamentos serviram como uma situação-problema de nível mais alto, em relação aos conceitos iniciais. Por outro lado, o experimento em vídeo, revelou aos alunos uma visão bem introdutória do assunto estudado. A resposta para a pergunta: “O que é o efeito fotoelétrico?” serviu para preparar o terreno em busca do que se pretendia ensinar.

O debate foi muito produtivo, onde o professor buscou apenas direcionar os comentários para o significado mais básico do efeito fotoelétrico. Os estudantes puderam argumentar de formas diversas, como:

27-A: “O efeito fotoelétrico ocorre quando uma onda entra em contato com um metal que está eletrizado e então faz com que os elétrons presentes no metal sejam arrancados, retirando eles da superfície do material causado pela onda.”

13-A: “Aprendi que quando a luz da radiação entra em contato com o eletroscópio carregado com elétrons, os elétrons são dispersados.”

06-B: “É a emissão de elétrons por um material, quando exposto a uma radiação eletromagnética.”

17-B: “O efeito fotoelétrico ocorre quando a onda entra em contato com um metal eletrizado e em seguida faz com que os elétrons se desprendam da superfície do material causado pela onda.”

Muitos alunos tiveram como primeira impressão a capacidade de certas ondas provocarem a emissão de cargas do metal, compreendendo o princípio mais básico do fenômeno. Isso foi muito favorável para a construção de novo organizador prévio.

Outros pontos também foram expostos no debate em grupo, como por exemplo: o tipo de radiação emitida pela lâmpada incandescente e a causa de

sua ineficiência em descarregar o eletroscópio e qual a diferença da radiação emitida pelas duas lâmpadas. Alguns comentários foram expostos:

03-B: “Dependendo da frequência das ondas a eletronegatividade de um objeto pode mudar ou não.”

13-B: “Os diferentes tipos de ondas provenientes da luz, podem causar tipos diferentes de radiação, dependendo de que forma os corpos estão carregados, e a frequência irá influenciar.”

22-A: “... Devido à frequência da onda violeta ser mais intensa do que a vermelha, isso provoca o efeito fotoelétrico.”

09-A: “Então, o efeito fotoelétrico ocorre quando uma placa metálica é exposta a uma radiação eletromagnética de frequência alta?”

Os comentários citados mostram o quanto os alunos foram capazes de perceber que o efeito fotoelétrico funcionava com frequências específicas. O que também foi fundamental para construção de novos subsunçores, pois agora os alunos compreendiam como o fenômeno ocorria de forma mais abrangente, sem que o professor trouxesse o conteúdo pronto. Esta etapa da UEPS demonstrou-se muito produtiva.

### **3.2.3 Terceira Aula: Experiência com simulador computacional**

A proposta da terceira aula consistiu em manipular um simulador computacional dando mais possibilidade do aluno examinar com mais detalhes o fenômeno. O objetivo deste passo foi de elevar o conhecimento dos alunos sobre o efeito fotoelétrico, pois o aluno poderia descobrir que determinadas variáveis poderiam modificar a disposição do fenômeno.

Nesta terceira aula, os alunos da Turma A puderam utilizar o software por meio dos computadores disponíveis na sala de aula, formando pares para cada aparelho. Uma parte da turma participou desta aula de forma online,

devido ao isolamento social causado pela pandemia da COVID-19. Mesmo acompanhando a aula à distância, os alunos possuíam em suas casas internet e computador para realizar esta atividade.

Os alunos da Turma B, também participaram da prática desta aula, porém na semana de sua aplicação, a turma não pôde vivenciá-la presencialmente, por isso todos desenvolveram esta atividade de forma online.

O software encontra-se disponível online e gratuitamente pelo link: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric).

Seu manuseio simples e bastante intuitivo, mesmo assim o professor prestou algumas informações iniciais de como utilizá-lo nesta prática.

É possível alterar os valores da intensidade e do comprimento de onda (ou frequência) da radiação, tipo de material alvo e a voltagem submetida. Enquanto o aluno modifica estes valores, o mesmo observa o comportamento dos elétrons, que de forma ilustrativa, se movem ou não da placa (alvo).

Cada dupla, da Turma A presencial, atribuiu valores aleatórios para as grandezas: Comprimento de onda (ou frequência), intensidade e material alvo e verificar se o efeito fotoelétrico ocorreria de fato, observando a indicação do amperímetro, enquanto alteravam cada um dos valores. Uma tabela (ver Tabela 3) foi entregue aos alunos para que preenchessem os valores usados em sua investigação.

Tabela 3: Tabela de dados da simulação

<b>Comprimento de onda</b>	<b>Frequência</b>	<b>Material</b>	<b>Intensidade</b>	<b>Corrente elétrica</b>

Figura 7: Fotos dos alunos manuseando o simulador





Em seguida, após as anotações e investigações dos alunos, o professor reproduziu novos dados na simulação usando os parâmetros da Tabela 4:

Tabela 4: Tabela de simulação preenchida pelo professor

Comprimento de onda	Frequência	Material	Intensidade	Corrente Elétrica
695 nm	$4,32 \cdot 10^{14}$ Hz	Sódio	48%	0
695 nm	$4,32 \cdot 10^{14}$ Hz	Platina	100%	0
483 nm	$6,21 \cdot 10^{14}$ Hz	Platina	100%	0
287 nm	$1,05 \cdot 10^{15}$ Hz	Sódio	100%	0,646 u.a.
287 nm	$1,05 \cdot 10^{15}$ Hz	Sódio	51%	0,328 u.a.
287 nm	$1,05 \cdot 10^{15}$ Hz	Cálcio	51%	0,162 u.a.

A Tabela 4 contém resultados que foram discutidos pelos alunos em sala de aula. Os alunos observaram que o efeito fotoelétrico não ocorria com ondas eletromagnéticas de frequências  $4,32 \cdot 10^{14}$  Hz (luz vermelha), para os materiais de sódio e platina, pois corrente elétrica aferida pelo amperímetro da simulação

foi nula. A platina estava iluminada com intensidade máxima do dispositivo e mesmo assim não ocorreu o fenômeno, conforme destacou o professor.

Porém, quando a luz emitida possuía uma frequência de  $1,05 \cdot 10^{15}$  Hz (luz ultravioleta), o sódio, que antes não apresentou elétrons arrancados para a luz vermelha, apresentou a manifestação do fenômeno, registrando uma corrente elétrica de 0,328 u.a. (unidades arbitrárias), mesmo com intensidade média de 51%. Outra coisa que chamou a atenção dos alunos foi a corrente elétrica mais alta quando se aumentava o valor da intensidade da luz incidente.

Quando a discussão terminou o professor repassou um questionário (Ver Apêndice B do Produto Educacional) para ser resolvido, que contava com as seguintes perguntas:

01) Qual o principal fator que determinou a aparição do efeito fotoelétrico?

Os alunos em sua maioria atribuíram como principal fator a frequência da radiação:

07-A: “O principal fator foi a frequência, pois dependendo da frequência é que vai haver ou não o efeito fotoelétrico.”

11-A: “A frequência da onda e o seu comprimento.”

15- B: “A frequência e comprimento da onda.”

18-B: “A frequência de uma onda, ela é de grande importância para ocorrer o efeito fotoelétrico.”

02) O efeito fotoelétrico demonstrou diferença no comportamento quando os materiais iluminados por ondas eletromagnética eram trocados?

A maioria dos alunos (92%) respondeu que sim. Isso significa que eles perceberam que ao mudar o tipo de material que estava sendo iluminado pela radiação, havia uma alteração no fenômeno. Uma aluna respondeu que, em seus resultados, uma mesma frequência gerava correntes elétricas diferentes

quando ela modificava o tipo de material. Ela afirmou que alguns materiais expeliam mais elétrons do que outros.

03) Fixado o tipo de onda eletromagnética e o material, percebe-se que a variação da intensidade causa uma alteração na corrente elétrica emitida. Explique qual é essa alteração.

01-A: “Mesmo com pouca intensidade elétrons ainda são arrancados, quanto maior a intensidade, mais elétrons são arrancados.”

06-A: “Para raios ultravioletas (UV) quando maior for a intensidade, maior será a quantidade de elétrons que vão ser expelidos, o que, conseqüentemente, causará uma maior corrente elétrica. Entretanto, com uma menor intensidade, menor vai ser a quantidade de elétrons que vão sair, o que causará uma menor corrente elétrica. Porém, nos raios infravermelhos (IV), por causa do seu elevado comprimento de onda, não existirá corrente elétrica, independente do material.”

04-B: “Dependendo da intensidade, a corrente elétrica pode ser mais forte ou mais fraca, alterando sua efetividade.”

19-B: “A intensidade da onda emitida sobre o metal altera a corrente elétrica, pois quanto maior a intensidade da onda sobre certos metais, maior será a quantidade de elétrons arrancados do metal pelo efeito fotoelétrico.”

Esse questionamento foi respondido, em sua maioria, em função da quantidade de elétrons arrancados do alvo. Eles compreenderam que a alta intensidade causará maior corrente elétrica, porque mais elétrons serão expelidos. A quarta pergunta serve como complemento:

04) O aumento da intensidade ocasiona o aumento da energia incidente no material, Dessa forma imaginamos que mais elétrons deveriam ser arrancados do material, porém na experiência, uma onda de comprimento

de onda 695 nm (frequência =  $4,3 \cdot 10^{14}$  Hz) não consegue arrancar elétrons da platina, mesmo com intensidade 100%. Como você explicaria isso?

09-A: “A intensidade por si só não é um fator absoluto. Também é necessário que determinada frequência esteja condizente com o material, caso contrário não arrancará elétrons.”

14-A: “Devido à frequência que é preponderante para o material obter corrente elétrica, com observado no sódio e platina em 695 nm eles não adquirem corrente elétrica.”

17-A: “Porque o comprimento da onda é muito elevado, se baixar para algo menor que 560 nanômetros existirá o efeito fotoelétrico.”

08-B: “Não foi possível arrancar elétrons da platina devido à frequência, para que haja o efeito fotoelétrico é necessário baixar o comprimento de onda ou aumentar a frequência.”

20-B: “O comprimento da onda influencia muito com determinados materiais, ao diminuir esse comprimento pode ocorrer a retirada de elétrons do material proposto.”

A investigação com base na variação de alguns fatores, seguida da observação, trouxe aos alunos uma visão mais aprofundada do fenômeno. Em suas respostas ficou evidente que o comportamento do efeito fotoelétrico depende muito da frequência da onda eletromagnética envolvida. Inclusive a ideia da frequência de corte também foi alcançada pelo aluno 17-A, quando ele encontra o limite em que o fenômeno ocorre (valores menores que 560 nanômetros). Em síntese, nesta aula foi possível aprofundar mais o conhecimento sobre o efeito fotoelétrico nas estruturas cognitivas dos estudantes, pois detalhes pontuais sobre o fenômeno ficaram mais claros, como a influência de altas frequências de ondas eletromagnéticas para realização do experimento e que a intensidade não determina a ocorrência do fenômeno, mas uma vez que ocorre, a intensidade apenas determina quantos elétrons serão arrancados, concluindo esta aula com êxito.

### 3.2.4 Quarta Aula: Aula expositiva do Efeito Fotoelétrico

A quarta aula, foi desenvolvida com uma breve exposição oral, levando em conta a diferenciação progressiva, onde começaremos com os aspectos mais gerais e seguindo para aspectos mais específicos.

Dos objetivos listados da aula expositiva, encontra-se:

- Apresentar outros sistemas onde se aplica o efeito fotoelétrico;
- Detalhar um pouco mais sobre o funcionamento do fenômeno;
- Explicar sobre a função trabalho;
- Definir a unidade elétron-volt (eV)
- Montar a equação do efeito fotoelétrico por meio da conservação da energia do elétron.
- Discutir a ineficiência da teoria clássica em explicar os resultados experimentais.
- Relatar todo o procedimento e analisar em que nível de aprofundamento os alunos se encontram.
- Julgar se os conhecimentos prévios estão bem estabelecidos para o desenvolvimento subsequente

A presente aula teve como finalidade agregar tudo que o aluno vivenciou, até então, de forma lógica e sequencial, e bem organizada para que ele pudesse acessá-las em sua estrutura cognitiva. Assim, o efeito fotoelétrico foi definido formalmente e também foi apresentado o funcionamento teórico das fotocélulas que servem para iluminação pública.

A definição de função trabalho foi abordada neste momento, fazendo alusão à dificuldade imposta pelo material em arrancar elétrons de sua superfície. Mostrou-se uma tabela evidenciando os valores de função trabalho de vários materiais, inclusive aqueles trabalhados na simulação, o que justifica o fato de cada material emitir elétrons com velocidades máximas diferentes

(registradas pela intensidade da fotocorrente), mesmo quando iluminados pelo mesmo tipo de radiação a uma mesma intensidade.

O professor discorreu sobre a equação da energia cinética dos elétrons e do seu respectivo potencial de corte, mas ainda não foi mencionada a quantização da energia, ou seja, a equação foi apresentada de forma mais geral: a energia cinética é igual à diferença entre a energia absorvida pelo elétron e a função trabalho do material.

A aula expositiva chega ao fim, quando o professor apresenta as dificuldades em explicar o fenômeno baseado na física clássica do eletromagnetismo, pois quanto maior for a intensidade da radiação, maior será a energia transportada por ela, logo quando um elétron absorve radiação de alta intensidade, não importando qual seja, ele deveria ter energia o suficiente para ser ejetado do material, porém os experimentos realizados pelos alunos no simulador demonstrava que ondas de baixa frequência não provoca efeito fotoelétrico mesmo em alta intensidade.

Essa contradição abriria a sequência didática da próxima aula, onde foi falado sobre a quantização da, mas ao encerrar a aula o professor pede para que os alunos escrevam em seus cadernos ou discorresse oralmente o que compreenderam sobre esta aula:

14-A: “O efeito fotoelétrico ocorre quando um elétron sai da superfície de algum material por causa das ondas eletromagnéticas. a teoria diz que quanto maior a intensidade da radiação, maior a energia transportada, mas a frequência da onda influencia na existência ou não do efeito, mesmo com a intensidade no máximo, como foi visto nos experimentos em aula.”

20-A: “O efeito fotoelétrico é quando a luz colide com certos materiais, ela fornece energia cinética suficiente para fazer os elétrons "pularem" para fora do material a uma determinada frequência de radiação eletromagnética. Ele também está presente em alguns dispositivos do nosso cotidiano como: Dispositivos para abertura e fechamento de portas automáticas, Sistemas de segurança e alarmes entre outros.”

05- A: “Para que ocorra o efeito fotoelétrico é necessário que a energia adquirida pelo elétron seja maior que a função trabalho, essa é a energia que o átomo usa para puxar o elétron de volta. A energia cinética produzida pela movimentação dos elétrons na transferência de um átomo para o outro é transformada em energia elétrica, principalmente usada em placas solares.”

09-A: “O efeito fotoelétrico ocorre em decorrência à interação entre as ondas eletromagnéticas e as partículas. O efeito fotoelétrico funciona apenas com ondas de menores comprimentos e podemos observar o efeito em placas solares.”

18-A: “O efeito fotoelétrico está presente em diversas situações do nosso dia a dia como, por exemplo, as portas automáticas, que funcionam pela captação de uma onda eletromagnética, que ao ser captada, faz com que o sensor gere um pulso elétrico, fazendo com que as portas sejam acionadas. Ocorre toda vez que um elétron é arrancado da superfície de um material, isso ocorre por conta da incidência de determinadas ondas eletromagnéticas. O elétron quando recebe um tipo de radiação eletromagnética, ele pode se afastar um pouco do núcleo, mas se manter ainda perto daquela região, ou ele ainda pode se afastar e voltar novamente. Além disso, a função trabalho é essencial pois é a energia mínima necessária para induzir a emissão de elétrons de uma superfície metálica.

Por fim, de acordo com a teoria clássica do eletromagnetismo, quanto maior for a intensidade da radiação, maior será a energia transportada por ela, no entanto, ondas eletromagnéticas de baixa frequência não provocam o efeito fotoelétrico, mesmo com alta intensidade, como mostram alguns experimentos.”

11-B: “Ocorre quando os elétrons são retirados da superfície de um material em consequência das ondas eletromagnéticas, em que os elétrons precisam de uma maior energia que a função trabalho para serem ejetados.”

17-B: “O efeito fotoelétrico, explicado pelo cientista Einstein, determina a quantidade mínima de energia necessária para induzir a foto emissão de elétrons de uma superfície metálica, o valor do trabalho depende do metal.”

Ocorre quando os elétrons são arrancado da superfície de um material devido a incidência/emissão/radiação das ondas eletromagnéticas. Tendo aplicações em portas automáticas, fogos de artifícios, placa solar e outros”.

01-B: “O efeito fotoelétrico ocorre a partir da emissão de elétrons por meio de certos materiais iluminados por radiação eletromagnética em determinadas frequências. Ele é bastante utilizado na produção de eletricidade por meio da energia solar.”

Os alunos socializaram suas respostas com os demais colegas o que produziu uma discussão construtiva entre eles, favorecendo o compartilhamento de seus conhecimentos. O conteúdo de suas respostas mostrou que a maioria dos alunos conseguiu desenvolver suas estruturas cognitivas.

### **3.2.5 Quinta Aula: Texto e vídeo sobre a quantização da energia e dualidade onda-partícula.**

A quinta aula teve uma abordagem didática utilizando de materiais que serviram com organizadores prévios, para a conclusão das ideias sequente.

Inicialmente o professor retomou as perguntas do primeiro questionário, sobre o que é física quântica e sobre a possível relação entre as ondas eletromagnéticas, na tentativa de retomar as respostas anteriores ou até mesmo de obter novas respostas baseadas em conhecimentos que foram adicionados durante esse período. Porém, os alunos demonstraram que seus conceitos respondidos no início da UEPS continuaram os mesmos.

Assim, foi apresentado um vídeo de animação de um personagem fictício chamado Doutor Quântico que explica sobre a dualidade onda- partícula

por meio da experiência de dupla fenda e os estranhos fenômenos envolvendo o “mundo quântico”(GRUPO MODULAÇÃO  $\Omega$ , 2021).

Para alguns alunos, foi a primeira vez que ouvia falar sobre física quântica aplicada a experimentos, por isso alguns ficaram mais curiosos, enquanto que outros tiveram mais dificuldade em entender, pois se trata de algo fora do senso comum.

Figura 8: Apresentação do vídeo sobre dualidade onda-partícula



Os alunos escreveram em seus cadernos tudo que julgaram ser importante nas informações do vídeo. Em seguida, foi entregue um texto extraído de um livro intitulado “*Alice no País do Quantum*”, que trata de uma obra escrita por Robert Gilmore, onde a personagem principal entra magicamente na tela de sua TV e conhece um mundo onde os personagens são seres muito pequenos (GILMORE,1998). A ideia de usar este fragmento do livro deve-se ao fato de que o autor apresenta o fóton de forma lúdica e usando analogias que torna sua compreensão bem mais fácil.

Quando os alunos leram o texto, descobriram que as ondas eletromagnéticas são compostas por fótons, partículas que se movem na velocidade da luz e não possuem massa de repouso. Outra característica muito importante que foi exposto no trecho lido pelos alunos é que a luz é apresentada a Alice, como sendo feita de quanta (pequenos pacotes de

energia), o que torna o fluxo de energia discreto e não constante como se imaginava na física clássica.

Para que estes novos conhecimentos sobre o fóton fosse ancorado em suas estruturas cognitivas, o professor elaborou um questionário sobre o conteúdo exposto no livro e no vídeo:

01) O que você entendeu sobre o fóton?

As respostas foram bem coerentes, alguns alunos destacaram uma característica ou outra, mas todos responderam em linha com o conceito principal proposto por Einstein.

05-A: “Eu entendi que um fóton em repouso não pesa nada. Entretanto, os fótons estão sempre correndo na velocidade da luz, uma vez que a luz é feita de fótons. Além disso, eles possuem diferentes quantidades de energia, alguns com muita pouca energia, como aqueles fótons de radiofrequência, ou mais abastados como os fótons gama.”

12-A: “São pequenas partículas fazem parte da luz e transportam energia.”

15-B: “Eu entendi que os fótons são partículas que se apresentam na luz e transportam a energia das radiações eletromagnéticas.”

17-B: “Partícula de energia luminosa de massa de repouso nula.”

21-B: “Fótons são partículas que compõe a luz e são pequenos pedaços ou conjuntos que transmitem através deles a energia da radiação eletromagnética.”

Os alunos citaram características importantes com respeito ao fóton, porém o aluno 05-A destacou algo relevante ao efeito fotoelétrico, quando citou que as ondas eletromagnéticas poderiam possuir fótons de diferentes energias, para ondas de rádio e onda de raio gama.

A 2ª pergunta foi respondida por 35 alunos totalizando as duas turmas (A e B), que foi: “Uma onda eletromagnética é composta por fótons?”

Por mais que o texto deixa claro que os fótons estão presentes nas ondas eletromagnéticas, ainda assim 5 alunos responderam “não”, para essa pergunta. Analisando a justificativa de um deles, temos:

02-B: “Não, ela é composta por campos elétricos e magnéticos.”

Sua resposta deve-se ao fato de que a nova informação sobre a dualidade onda-partícula ainda não reconstruiu o conceito inicial das ondas eletromagnéticas. Pois até então, os alunos compreendiam as ondas como algo totalmente diferenciado das partículas, mas uma partícula como o elétron, pode em alguns experimentos atuar como onda, então podemos ter ondas atuando como partículas em outros experimentos. Neste momento, os conteúdos dos dois materiais (vídeo e texto) se conectam e criam uma nova informação para que se possa definir e compreender quanticamente a natureza das ondas eletromagnéticas.

A pergunta 03 retoma este impasse: “O fóton tem comportamento dual (onda-partícula)?”

Aproximadamente 94% responderam que sim, porém o fato de alguns alunos responderem não, mostra que o conceito da dualidade ainda não ficou ancorado em suas estruturas cognitivas, como comentado anteriormente.

Já a pergunta 04 foi: “A energia de uma radiação eletromagnética é: contínua ou granulada (discreta)?” Contou com aproximadamente 43% dos alunos respondendo corretamente, afirmando que a energia da radiação eletromagnética se transmite discretamente. Ou seja, a maioria dos alunos não abandonou a ideia clássica de transmissão de energia de uma onda eletromagnética.

Percebe-se o quanto os conceitos clássicos ficaram solidificados na mente de muitos alunos, isso nos mostra o porquê desta teoria quântica ter sido aceita com tanta dificuldade no início do século XX.

A última pergunta do questionário é: “Qual a relação existente entre a energia que o fóton carrega e o tipo de onda eletromagnética?”

07-A: “Quanto maior energia maior a frequência.”

01-A: “O tipo e a quantidade de energia carregada pelo fóton pode alterar a forma na qual a onda se comporta, mudando sua frequência.”

14-A: “Quanto maior for a frequência do fóton, maior a sua energia. Da mesma forma, quanto maior for o comprimento de onda do fóton, menor a sua energia.”

17-A: “Quanto maior for a energia do fóton, maior é a sua frequência, assim, sucessivamente.”

02-B: “A relação é proporcional para os dois, pois quanto maior a energia é maior a frequência.”

11-B: “Pois a quantidade de energia está diretamente ligada a frequência, e ao comprimento da onda eletromagnética do fóton”

12-B: “Os fótons que formam luzes visíveis tem maior energia e maior frequência.”

15-B: “O tipo de energia que o fóton carrega determinada a frequência da onda...”

Mesmo ainda sem ter apresentado a equação de Planck, o texto do livro nos fornece a informação sobre a relação entre a energia contida no fóton e a frequência, quando compara ondas de rádio com ondas de raio gama, logo o estudante utilizou os seus conhecimentos prévios sobre as distintas frequências para diferentes ondas eletromagnéticas e encontrou a resposta para esta relação.

Nos poucos minutos restantes da aula, foi possível realizar um pequeno debate sobre o que foi estudado e as respostas do questionário, onde o professor direcionou a conversa para o ponto do conhecimento que ficou mais

fragilizado devido, como por exemplo, a forma com que a radiação se propaga nas ondas eletromagnéticas. Foi possível perceber que os alunos que haviam afirmado que a energia era contínua, tiveram maior aceitação da quantização da energia, durante o debate.

### **3.2.6 Sexta Aula: Aula expositiva sobre a equação da energia cinética do elétron no efeito fotoelétrico**

A sexta aula possuiu um caráter expositivo, pois neste momento o professor precisou trazer o contexto histórico da quantização da energia, e explicar como surgiu a primeira tentativa de quantizar a energia contida nas radiações eletromagnéticas. Por isso, foi realizada uma breve exposição sobre o estudo do corpo negro e da contribuição de Planck em quantizar a energia criando uma equação que carrega a relação entre a frequência e a energia. A famosa constante de Planck, também foi apresentada.

Com base nas ideias de Planck, Einstein resolveu o problema do efeito fotoelétrico, considerando que o elétron absorvia um fóton e por isso poderia adquirir energia cinética o suficiente para ser expelido do metal, caso conseguisse superar a função trabalho. Desse modo, o professor reescreveu a equação de Einstein, agora em função da frequência da radiação e mostrou que por meio dela, as contradições entre a teoria clássica e os resultados experimentais poderiam ser solucionadas se olhasse para o efeito fotoelétrico como um fenômeno quântico.

Nesta aula também foi demonstrada a fórmula para determinar a frequência de corte, com a participação dos alunos. O professor direcionava perguntas que instigava os alunos a descobrir. “Qual a menor energia cinética que o elétron deve ter para ser arrancado?” Esperava a resposta “zero”, e logo em seguida perguntava: “Como esta equação vai ficar se substituirmos o zero na energia cinética?”

A mediação do professor, levando os alunos a pensar logicamente, teve como resultado a equação da frequência de corte e logo em seguida o professor colocou exemplos de materiais com seus respectivos valores de função trabalho para que os alunos calculassem a frequência de corte de cada um. Inclusive materiais como platina, cálcio, sódio, etc. que foram utilizados na

simulação. Também foi proposto determinar a função trabalho de materiais sabendo sua frequência de corte. Em seguida o professor e os alunos discutiram como escolher materiais específicos para cada aplicação do efeito fotoelétrico, Pois dependendo de sua aplicação, pode-se usar um material que tenha frequência de corte para luz visível ou ultravioleta.

### **3.2.7 Sétima Aula: Questionário de avaliação dos alunos**

Uma vez que os alunos participaram ativamente de cada processo durante a aplicação da UEPS, agora se torna necessário avaliar o quanto de aprendizagem significativa foi desenvolvida. Para isso, um novo questionário de avaliação final foi aplicado com duração máxima de quarenta minutos, que pudesse abordar de forma geral os conceitos e aplicações do fenômeno estudado. As questões foram diversificadas (objetivas e discursivas), contendo também, perguntas de respostas envolvendo cálculo. O questionário de avaliação final encontra-se no Apêndice D do Produto Educacional.

Com respeito aos resultados da avaliação, pode-se examinar o conteúdo de cada resposta, como se ver a seguir:

A primeira pergunta foi: “01- Por que a teoria clássica não explicava a experiência do efeito fotoelétrico?”

Essa pergunta tem como objetivo indexar os subsunçores produzidos durante as aulas anteriores. Os alunos identificaram o principal ponto de contradição na física clássica conforme suas respostas a seguir:

07-B: “Porque a teoria não aborda quantização e o efeito fotoelétrico aborda por ser quântico.”

10-B: “Ondas eletromagnética de baixa frequência não produzem efeito fotoelétrico.”

06-A: “As características principais do efeito fotoelétrico que não podem ser explicadas pela teoria ondulatória clássica são as seguintes: A energia cinética máxima dos elétrons emitidos pela superfície de um metal por ação de luz monocromática é independente da intensidade da luz.”

12-B: “Porque a teoria clássica diz que quanto maior for a intensidade da radiação, maior será a energia transportada por ela, porém, na experiência, mesmo com alta intensidade, as ondas eletromagnéticas de baixa frequência não provocam o efeito fotoelétrico, ou seja, a teoria clássica não se cumpre na experiência.”

18-B: “As ondas baixas não fazem o efeito fotoelétrico mesmo com alta intensidade.”

19-B: “Porque o efeito fotoelétrico acontece a partir de certa frequência, que varia de acordo com cada material.”

22-B: “Na física clássica, o fóton não era explicado, uma vez que mesmo com intensidade alta existem ondas eletromagnéticas não apresentam efeito fotoelétrico. Isso se explica, pois a radiação eletromagnética não é contínua, mas sim granulada.”

25-B: “Ondas eletromagnéticas de baixas frequências não provocam o efeito fotoelétrico.”

26-B: “Pois diziam que quanto maior a intensidade, maior a energia transportada, o que estava errado.”

A maioria dos alunos apontou como a principal contradição da física clássica em relação aos experimentos, a inexistência do efeito fotoelétrico para baixas frequências, mesmo com intensidade alta. Essa conclusão demonstra indícios de aprendizagem significativa em muitos alunos, pois essa afirmação deles é fortalecida devido à atividade prática vivenciada pelo experimento do simulador, que nitidamente produziu um conhecimento que possui um significado e não superficial para a maioria dos alunos.

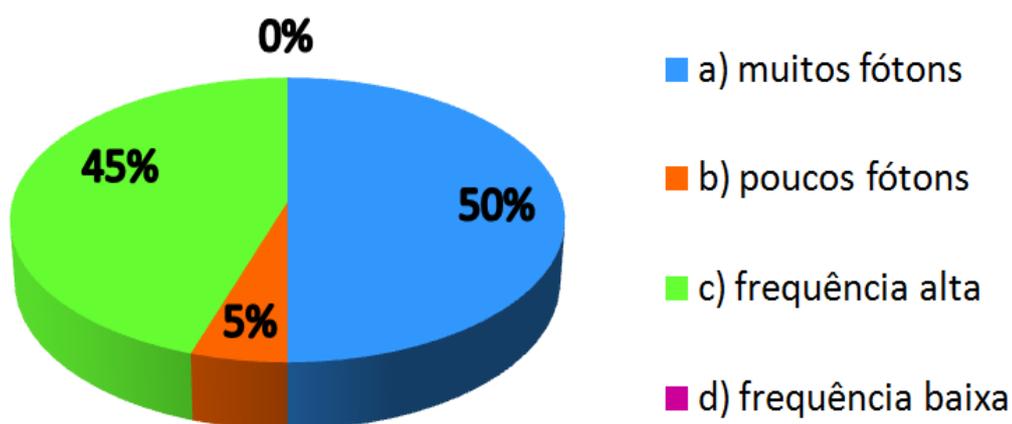
A segunda pergunta foi utilizada para analisar a existência de aprendizagem significativa com respeito à intensidade da radiação com base na teoria quântica.

02- Uma radiação com alta intensidade possui:

- a) muitos fótons                      b) poucos fótons                      c) frequência alta  
d) frequência baixa

As respostas foram coletadas das duas turmas onde o resultado está a seguir no Gráfico 6:

Gráfico 6: Respostas da segunda questão do questionário de avaliação final



Conforme visto, 50% dos estudantes obtiveram respostas em concordância com a teoria quântica, fator justificado pela aplicação dos organizadores prévios que fortaleceram o verdadeiro significado da alta intensidade das radiações eletromagnéticas, contempladas nos experimentos do simulador e na compreensão do texto extraído do livro: “*Alice no País do Quantum*”. Mesmo assim, 45% dos alunos marcaram “frequência alta” como resposta. Esse resultado mostra que alguns alunos ainda estavam confusos com o conceito quântico da intensidade, ou até mesmo deva-se à dificuldade de compreender a diferença entre a frequência e a intensidade, pois ambos

demonstram importante participação no fenômeno, no entanto possuem diferentes interpretações no mesmo. Já os outros 5%, demonstraram uma resposta pouco coerente, porém como as atividades foram desenvolvidas de forma plena, acredita-se que esse percentual de alunos desenvolveu de forma mecânica os conceitos.

A terceira pergunta retoma o início da observação do fenômeno, pois destaca a ocorrência do fenômeno para certas frequências de ondas eletromagnéticas e a inexistência do mesmo fenômeno para outras faixas de frequências, como é o caso do infravermelho.

A respectiva pergunta foi: “As ondas de infravermelho podem realizar efeito fotoelétrico?” A atividade do simulador realizada em etapas anteriores, foi desenvolvida visando também os resultados para ondas infravermelhas, que corroborou com o debate em sua sequência, com a evidência de que tais ondas não produziram o efeito fotoelétrico para os materiais estudados, porém sistemas mais complexos foram desconsiderados, como fotomultiplicadores (TIMOTHY, 2010) com eletrodos revestidos com materiais semicondutores que emitem elétrons por meio de luz infravermelha.

Mesmo assim, 70% dos alunos responderam sim a respectiva pergunta, demonstrando por parte destes que seu aprendizado não foi significativo ou ficaram confusos entre infravermelho e ultravioleta. A quarta pergunta do questionário comprova isso, pois nela os alunos justificam sua resposta na questão anterior.

05-A: “Devido a sua alta frequência.”

09-B: “O fóton está presente em todas as ondas eletromagnéticas.”

17-B: “Todas as ondas eletromagnéticas fazem o efeito fotoelétrico.”

Essas respostas mostram que os alunos se esqueceram que o fator limitador do efeito fotoelétrico deve-se ao valor da frequência.

O aluno 05-A respondeu que a onda infravermelha possuía alta frequência, quando na verdade possui baixa, certamente houve uma troca

entre as palavras pelo aluno. Por isso embora tenha respondido errado, ele atribuiu o significado correto.

Por outro lado, os alunos que responderam não, acertaram em suas justificativas indicando o fator da frequência:

17-A: “Porque elas possuem frequência baixa, então a energia que é fornecida aos fótons é pequena, fazendo com que eles não tenham energia o suficiente para se mover.”

04-B: “Pois são ondas com pequena frequência.”

11-B: “Por causa do comprimento de onda o que influencia na energia.”

16-B: “O comprimento de onda é maior (frequência menor), por isso não ocorre corrente elétrica.”

23-B: “Porque elas possuem frequência baixa, então a energia que é fornecida pelos fótons é pequena, não tendo energia o suficiente para mover os elétrons.”

Embora apenas 30% dos alunos tenham respondido corretamente as perguntas 03 e 04, houve uma boa demonstração que eles adquiriram aprendizagem significativa em suas respostas.

Na questão 5, foi perguntado: “Quais os fótons que possuem mais energia: Luz visível ou Ultravioleta?”

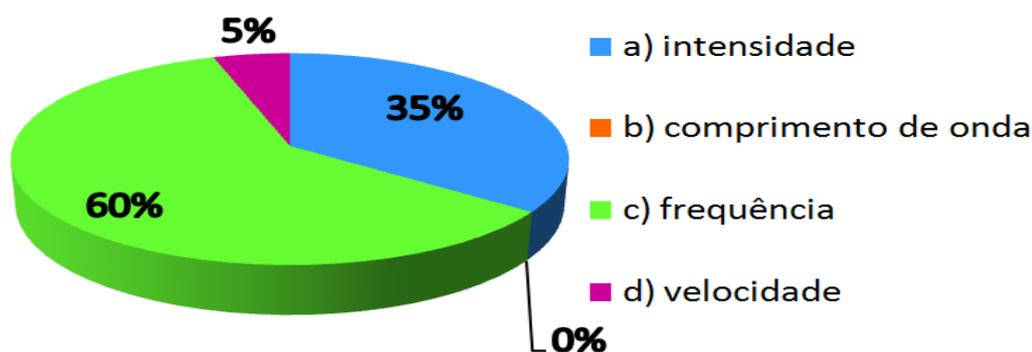
A resposta ultravioleta atingiu 80% dos alunos, o que se justifica que muitos alunos compreendem que a energia do fóton está bem relacionada com a frequência da radiação, que completa esta conclusão quando a resposta da questão seguinte é analisada:

06 - Fótons com maior energia serão aqueles cujas ondas terão maior:

- a) intensidade.
- b) comprimento de onda.
- c) frequência.
- d) velocidade.

A coleta das respostas foi feita no gráfico, a seguir:

Gráfico 7: Resposta da sexta questão da avaliação final



Conforme visto no Gráfico 7, 60% dos alunos responderam frequência, porém 35% associaram a energia do fóton com a intensidade. A maioria dos alunos possui uma compreensão assertiva sobre a estrutura do fóton.

A sétima questão trata de um problema mais complexo envolvendo o efeito fotoelétrico:

07- Sobre o efeito fotoelétrico, marque a alternativa correta:

- a) O efeito fotoelétrico apenas depende da intensidade da radiação incidente sobre a placa metálica.
- b) Não há frequência mínima necessária para a ocorrência deste fenômeno.
- c) A frequência de corte é fruto da razão entre a função trabalho e a constante de Planck.
- d) A energia cinética dos fotoelétrons é diretamente proporcional ao comprimento da radiação da onda incidente.

A questão avalia o quanto os alunos conseguiram absorver o conceito da frequência de corte. O resultado foi satisfatório, pois 55% dos alunos respondeu que a frequência de corte se tratava da razão entre a função trabalho e a constante de Planck. No entanto 40% dos alunos responderam que a energia cinética dos fotoelétrons é diretamente proporcional ao comprimento de onda, que embora não seja verdade, pois se relaciona inversamente, a escolha dessa resposta mostra o quanto que os alunos observaram a dependência do comprimento de onda com a energia cinética do elétron arrancado. Já a opção: “Não há frequência mínima necessária para a ocorrência deste fenômeno”, não foi escolhida por nenhum dos estudantes, o que significa que todos os alunos entenderam o conceito da frequência de corte. Demonstrando que as aulas em etapas anteriores deste tópico trouxeram significados para os alunos.

As questões 8 e 9 desta avaliação final é resolvida por meio do cálculo, desta forma analisamos o quanto os alunos conseguiram resolver problemas envolvendo o uso das equações envolvidas nas aulas sequenciais:

A questão 08, diz: “Qual a frequência de corte do Cálcio, sabendo que sua função trabalho é 2,9 eV?”

O resultado foi alcançado por 75% dos alunos, os demais 15% não souberam resolver. Isso mostra que a etapa cujo desenvolvimento do conceito da frequência de corte juntamente com a construção de sua respectiva equação foi bem sucedido.

A questão 09, diz: “Qual a energia cinética de um elétron liberado por uma placa de sódio quando recebe uma radiação UV de frequência  $1,2 \cdot 10^{15}$  Hz?” Neste caso a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico é utilizada para resolução deste problema, onde aproximadamente 65% dos alunos conseguiram atingir o resultado esperado, 15% não atingiram o resultado esperado e 20% não tentaram resolver o problema.

Analisando os resultados das duas questões é possível perceber um resultado muito positivo, onde apresentou mais de 60% de aproveitamento na resolução de problemas que envolvem cálculo, demonstrando indícios de aprendizagem significativa envolvendo esses tipos de significados em suas estruturas cognitivas.

A avaliação final é concluída pela última pergunta que remete a relevância do estudo do efeito fotoelétrico, pois a sua aplicação no dia a dia do aluno pode causar a construção de muitos significados:

“Questão 10 – Cite aplicações do efeito fotoelétrico que você já vivenciou em seu cotidiano.”

Todos os alunos avaliados responderam esta questão citando: TVs de LCD, painéis solares, portas automáticas, fogos de artifício, iluminação das ruas, etc. Todos os alunos encontraram significados no estudo do efeito fotoelétrico e sua aplicação em suas vidas, embora muito desses processos estão relacionados com a absorção e emissão de fótons, sem que haja necessariamente o arranque de elétrons.

### **3.2.8 Oitava aula: Análise do êxito da UEPS**

Nesta seção avaliou-se a aplicação da UEPS, tendo em vista as respostas finais dos alunos e do seu desenvolvimento progressivo.

Um questionário de avaliação da UEPS foi entregue aos alunos que responderam de forma online. O método utilizado, o que foi compreendido durante a elaboração da sequência didática e o processo de ensino-aprendizagem foram analisados com o objetivo de constatar um resultado positivo em suas visões.

Iniciou-se com o pedido de que os alunos fizessem um relato do que haviam compreendido nessas aulas.

09-A: “Aprendi a respeito das ondas, seu funcionamento, interações com o exterior, e alguns outros fenômenos físicos envolvendo partículas como os fótons que também geram formas de ondas, bem como sua história, fórmulas, principais pesquisadores e outros.”

19-A: “Aprendi sobre o efeito fotoelétrico, como ele funciona, suas aplicações, características... Aprendi sobre as ondas, frequência, comprimento, intensidade... Também sobre radiação, ondas eletromagnéticas, infravermelhas e ultravioletas... Foi uma carga de assuntos bem ampla.”

02-B: “Na primeira aula o professor perguntou se as ondas tinham relação com a física quântica, agora está claro que tem sim! Aprendi que quanto maior o comprimento das ondas menor a corrente elétrica, obviamente por conta da fórmula que o número fica no denominador, quanto maior for, menor a corrente e vice versa. As ondas estão em nosso dia a dia e tem relação com vários efeitos.”

12-B: “Compreendi mais sobre o efeito fotoelétrico e um pouco mais sobre o mundo quântico.”

20-B: “Que muitos fenômenos físicos que não conhecemos, na verdade estão muito presentes em nosso cotidiano, como as ondas, que estão presentes em TVs, redes wi-fi e outros. Aprendi também a respeito da física quântica, algo que nunca pensei em estudar.”

Nos textos escritos pelos alunos nota-se o valor que eles atribuem ao estudo realizado, pois passaram a compreender melhor o ambiente que os rodeia, percebendo que a física está presente em tudo, inclusive entendendo o processo e o caminho pelo qual ocorrem.

Os questionários tiveram um papel importante na condução de problemas, nos quais eram propostos aos alunos, que por sua vez, à medida que conseguissem estruturar bem conhecimentos teriam condições de resolvê-los. Por causa disso, foi feita a pergunta se os estudantes obtiveram alguma dificuldade em sua resolução, onde as respostas colhidas expressaram a dificuldade em resolver os problemas que envolviam cálculo, por alguns. Poucos apontaram dificuldades nos diversos conteúdos abordados. Enfim, a maioria sentiu-se confortável em resolver as questões, inclusive a avaliação final.

Os Alunos também declararam ter compreendido o funcionamento de dispositivos envolvendo o efeito fotoelétrico durante a aplicação da UEPS, que nota-se a boa relevância da aplicação desta sequência tendo em vista que os alunos tinham pouco ou nenhum conhecimento sobre o efeito fotoelétrico.

Quando os alunos foram perguntados a respeito do que acharam de proveitoso nessas aulas sobre radiações e efeito fotoelétrico, apontaram a eficiência do uso dos materiais que serviram de organizadores prévios, a compreensão de dispositivos tão mencionados na produção de energia elétrica. Os benefícios foram relatados:

07-A: “Os diferentes tipos de materiais que o professor disponibilizou ajudou a compreender melhor o assunto. Foi mais fácil de entender!”

02-B: “Foi interessante... O que eu mais gostei foi o experimento da fenda dupla.”

18-B: “Os vídeos do youtube eram bem elucidantes.”

A avaliação da UEPS realizada pelos alunos finalizou com a pergunta a respeito dos pontos a melhorar nessa sequência didática. Alguns alunos argumentaram que gostariam de mais questões que envolvesse o cálculo, isso se deve aos alunos que possuem maior aptidão para a matemática, porém a construção do saber neste projeto demonstrou o quanto a teoria foi válida, o que trouxe aos alunos a ideia que a física não se resume apenas a fórmulas matemáticas como é a visão equivocada de muitos alunos.

Outro ponto a ser destacado nesta pergunta final foi sobre a ausência do trabalho com mapas mentais. Alguns alunos pontuaram a importância de sua aplicação nesse desenvolvimento, pois trata-se de bons facilitadores da aprendizagem. Não foram utilizados os mapas mentais nesta UEPS, pelo fato do professor ter escolhido materiais suficientes para dar base ao processo de condução aos debates realizados na parte final das aulas, mesmo assim, o professor se ao avaliar o perfil da turma, entender que seja válida a inserção ou exclusão de algum tipo de material, assim poderá ser feito desde que seu objetivo seja alcançado.

A sequência didática contou com oito aulas, cada uma com aproximadamente quarenta e cinco minutos de duração, que demonstrou-se eficaz para os resultados adquiridos, embora tenha-se trabalhado um conteúdo muito denso de informações. Acreditamos que um professor com maior

disponibilidade de tempo, poderá ter maiores resultados. Além disso, pode-se ressaltar que alguns alunos não conseguiram apresentar uma aprendizagem significativa, fato que pode ser justificado pela sua ausência em determinadas aulas, ou até mesmo pela sua dificuldade em acompanhar a velocidade em que as novas informações chegam e os ressignificados que ainda não foram consolidados. Cada aluno possui um ritmo de aprendizagem que pode variar muito, mas é necessário buscar caminhos que favoreçam e venha contribuir com esta jornada rumo à aprendizagem significativa.

## Capítulo 4: Conclusão

O projeto foi desenvolvido durante o enfrentamento da pandemia gerada pela COVID-19, onde novas formas de ensino foram adaptadas, inclusive na escola onde houve a aplicação da sequência didática. Por isso, alguns alunos estudaram remotamente por meio de vídeo chamada, ao mesmo tempo em que as aulas eram ministradas para os alunos do ensino presencial, desse modo duas turmas do terceiro ano do ensino médio na qual o produto educacional foi aplicado possuíam alunos estudando nas duas modalidades.

Com isso, foi possível integrar os alunos que estavam estudando à distância, nos quais participaram de todas as atividades, demonstrando interesse nas discussões que ocorriam ao final de cada aula, bem como na aplicação do trabalho no simulador e na resolução dos problemas propostos, interagindo simultaneamente com os alunos que estavam presentes em sala de aula.

Esse resultado apontou para a viabilidade do método de ensino utilizado. Também produziu efeito significativo na aprendizagem dos alunos que estudaram à distância com o professor participando de forma importante em sua condução, sendo ele o facilitador e mediador do processo, além de ter um domínio dos recursos disponíveis para que proporcionasse aos alunos na modalidade remota acompanhar cada passo.

De forma geral, a proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, alcançou um bom resultado, pois contou com o interesse e dedicação dos alunos em aprender. O efeito fotoelétrico foi abordado de maneira que pudesse ser visto não como algo abstrato, mas associado ao cotidiano do aluno. Por isso, sua aplicação foi comentada e manipulada no simulador.

Conforme comentado no capítulo 4, alguns alunos atingiram notória aprendizagem significativa. No entanto outros aprenderam de forma mecânica. Quando se foca no que foi desenvolvido pela UEPS percebe-se o quanto valioso é sua aplicação dentro do ensino de física moderna, tendo em vista que a física quântica possui contradições com a física clássica. O aluno, durante a maior parte do ensino médio, estuda os conceitos clássicos que se ancoram em suas estruturas cognitivas, mas quando o conteúdo de física moderna é

apresentado, é necessário reconstruir novos significados e modificar o que já foi aprendido pelo aluno. Por isso, que dentro desse contexto é necessário entender que existem conceitos bem fixos em suas estruturas cognitivas e para que haja esta mudança de conceitos alternativos, um trabalho contínuo e paciente deve ser feito para alcançar os determinados resultados. Mesmo assim, pode-se atribuir grande eficácia à utilização de mecanismos para desenvolver a aprendizagem significativa, na tentativa de criar novos subsunçores que possam resignificar conceitos existentes em conceitos científicos corretos.

A busca por respostas diante dos resultados dos experimentos criou um ambiente propício para despertar a curiosidade. Ainda que existissem aqueles que diziam não gostar de física, se sentiram instigados a procurar argumentos para as situações intrigantes que lhes foram apresentadas. Esse é o ponto de partida para a busca do conhecimento, diferentemente dos moldes que são muito aplicados, onde o aluno apenas recebe o conteúdo sem poder dialogar com ele, em um estilo de educação bancária (FREIRE, 1970). A capacidade de interagir com as três dimensões (cognitiva, afetiva e psicomotora) provoca uma maior busca de significados pelo discente aguçando seu interesse dentro do conteúdo trabalhado.

As atividades desenvolvidas em sala de aula demonstraram grande participação dos alunos. Por meio da investigação oportunizada pelos materiais expostos pelo professor, conseguiram construir, por meio da observação das experiências e compartilhamento das ideias uns com os outros, níveis de aprendizagem bastante significativos. Mensura-se que algo em torno de mais de 50% dos alunos alcançaram alguma aprendizagem significativa em suas participações durante todo o processo de aplicação deste produto. O que podemos classificar como exitoso e adequado para a proposta desejada.

A maioria dos alunos conseguiu ancorar conceitos científicos diversos durante as aulas, desde conceitos básicos de ondas clássicas até os mais complexos relacionados à teoria quântica, pois, além de entenderem os significados do efeito fotoelétrico (sua aplicação e importância nos dias de hoje), construíram ideia da origem da teoria quântica de forma investigativa, analisando a causa de sua existência, não de maneira passiva, mas julgando resultados e sendo de fato um protagonista na sua própria aprendizagem.

## Referências Bibliográficas

AUSUBEL, David. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

BRASIL (2002). Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Básica: Ministério da Educação. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em Janeiro de 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

BREHM, J. J. e MULLIN,W.J. **Introduction to the structure of matter**, University of Massachusetts, Wiley, 1989.

DEMTRÖDER, D. **Atoms, Molecules and Photons**. Springer-VerlagBerlin Heidelberg, 2010

EISBERG, R. M. **Fundamentals modern physics, University of California**, Wiley, 1961

FÍSICA UNIVERSITÁRIA, 2021. "*Tema 01 - Luz | Experimentos - Efeito fotoelétrico*". Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VVka6Mp5vyA>>. Acesso em junho de 2021.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro, 2ed. Paz e Terra, 1970.

GILMORE, R. Alice no País do Quantum. Rio de Janeiro, Zahar, 1998.

GRUPO MODULAÇÃO  $\Omega$ , 2021. "*Física Quântica (Dr. Quantum) Fenda Dupla - Dublado PT*". Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=UtPf0XYQzfl>>. Acesso em junho de 2021.

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

HALLWACHS, W. Ueber den Einfluss des Lichtes auf electrostatisch geladene Körper. Annalen der Physik. **269**, 2, 1888.

INSTITUTO DE FÍSICA DA UFBA. Departamento de Física do Estado Sólido. Disponível em: <<http://www2.fis.ufba.br/dfes/estrutura1/roteiros/Fotoeletrico.pdf>>. Acesso em junho de 2020.

LEMOS, E. D. S. A aprendizagem significativa: estratégias facilitadoras e avaliação. Aprendizagem Significativa em Revista, v. 1, n 1, p. 25-35,2011.

LOGICAL CLASS, 2021. The modern system that utilizes artificial intelligence to transform your educational processes. Disponível em: <<https://www.logicalclass.com/contant/view/1872>>. Acesso em: janeiro de 2021.

MOREIRA, M. A. Unidades de enseñanza potencialmente significativas – UEPS. Revista Meaningful Learning Review, v 1, n 2, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. Teorias de aprendizagem/ São Paulo 1999

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**, vol 4 ,4ed. São Paulo, Edgard Blucher, 2002

OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las Ciências* 3, 18 (2000).

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de Pesquisa “Física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*. V.5, n.1, 2000.

PhET. **Physics Education Technology**. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric)>. Acesso em junho de 2021.

PIRES A. , DALT S. D. , **Raios Catódicos**, Porto Alegre, ed Evangraf, 2011, Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/sead/servicos-ead/publicacoes-1/pdf/Raios\\_Catodicos.pdf](http://www.ufrgs.br/sead/servicos-ead/publicacoes-1/pdf/Raios_Catodicos.pdf)>. Acesso janeiro de 2021.

SOARES, Joana Menara Souza. Análise da História do Efeito Fotoelétrico em Livros Didáticos de Física para Graduação. Campina Grande, PB: Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

TIMOTHY, J. G. ; HUBER, M.C.E. Observing Photons in Space, ISSI Scientific Report 009, ESA Communications, pp. 365–408, 2010.

TERRAZZAN, E.A. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 9, 3 (1992).

TIPLER, P.A., LLEWELLYN, R.A. Física Moderna. 3. Ed. Rio de Janeiro, LTC, 2001.

TIPLER, P. A., MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros, v.3. Rio de Janeiro, LTC, 2006.

WEISSMANN, H. Didática das Ciências Naturais: contribuições e reflexões. - ed. Artmed, São Paulo-SP, 1995. (adaptado de: Didactica de las Ciências Naturales: aportes y reflexiones, Ed. Paidós, 1995.)

## Apêndice A: Produto Educacional



### PRODUTO EDUCACIONAL

#### UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A APRENDIZAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Rafhael Lucas Arruda Teles de Menezes

Orientador:  
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife  
2021

Caro professor (a),

Esse manual foi produzido com a proposta de dar utensílios teóricos que podem ser aplicados em ambiente escolar, possibilitando a melhor introdução de conceitos científicos e aquisição de aprendizagem dos alunos.

A metodologia utilizada baseia-se na construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) para ensinar um conteúdo de grande relevância para a física moderna e contemporânea, que é o efeito fotoelétrico.

Diante de alguns desafios existentes nas salas de aulas, propostas inovadoras que podem atrair a atenção dos alunos e despertar a veia científica, são muito bem vindas e por isso este manual pode oferecer recursos para um melhor resultado em sua jornada docente.

Os tópicos que se seguem explicam de maneira clara e objetiva o passo a passo que deve ser seguido em cada aula. A sequência didática foi elaborada em oito aulas seguidas, onde alguns materiais serviram de organizadores prévios para que novas informações fossem adicionadas na estrutura cognitiva dos alunos de maneira a construir um saber mais abrangente e profundo do assunto estudado, fugindo da forma tradicional que muitas vezes trás resultados superficiais e que após as avaliações somem das mentes dos discentes.

Cada turma possui sua peculiaridade e demanda, por isso é importante saber o perfil dos alunos que passarão por este tipo de desenvolvimento didático para que alcance o sucesso desejado, por isso pode-se ficar livre em modificar qualquer aspecto que julgar necessário e/ou material, desde que a sua condução leve os estudantes à aprendizagem correta e efetiva do efeito fotoelétrico.

Havendo dúvidas na aplicação e avaliação dos resultados obtidos na execução desse produto, é recomendada a leitura do texto da dissertação do autor, pois trará mais esclarecimentos.

Desejo uma boa experiência docente.

### **3.1 Relevância do Produto Educacional**

A proposta apresentada na construção deste produto educacional é de criar uma forma alternativa de ensino em relação àquelas que funcionam de forma tradicional. O intuito é fazer o aluno possuir uma maior compreensão do conteúdo exposto e torná-lo participante da construção do seu conhecimento através de uma aprendizagem mais significativa. A escolha de utilizar neste trabalho um assunto relacionado à física moderna e contemporânea reside do fato de ser um assunto pouco estudado em sala de aula, mas que atrai muito os interesses dos alunos, tendo em vista que os mesmos se deparam com muitas informações em seu cotidiano contidas em filmes, notícias científicas e tecnologias atuais diversas. Aliar o interesse e a curiosidade do aluno com o ato de ensinar utilizando materiais e mecanismos apropriados poderão construir uma ponte que o leve a uma aprendizagem significativa.

A escolha do conteúdo de efeito fotoelétrico tem sua relevância, pois se trata de um fenômeno que abriu as portas para o estudo da física quântica, quebrando paradigmas e mudando a forma de enxergarmos vários fenômenos da natureza. Aqui iremos conduzir o aluno ao conhecimento sobre os principais conceitos dessa teoria, que revolucionou a ciência moderna e trouxe um desenvolvimento tecnológico muito grande.

### **3.2 Unidade de ensino potencialmente significativa para a aprendizagem do efeito fotoelétrico**

### 3.2.1 Apresentação do Produto

A proposta deste manual é de levar ao professor um conteúdo que possa satisfazer sua intenção positiva de conduzir o aluno a um conhecimento pautado em conteúdos da física moderna e contemporânea de maneira significativa.

Dentro dessa perspectiva, a utilização das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas tem como proposta a incorporação da teoria de aprendizagem de David Ausubel. As UEPS são sequências de ensino fundamentadas teoricamente voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula.

O tema escolhido para a aplicação desta sequência didática foi o estudo do efeito fotoelétrico. Desta forma, foi possível tratar de temas relacionados à natureza da luz e das radiações eletromagnéticas em geral e entender alguns conceitos importantes na construção da teoria quântica. A proposta da UEPS é a aquisição de aprendizagem não mecanizada, mas construída progressivamente trazendo significado aos alunos.

No presente trabalho, a sequência didática contará com oito aulas, cada uma com duração aproximada de quarenta e cinco minutos nas quais serão vivenciadas seguintes temáticas:

1ª aula: Verificação dos subsunçores por meio de questionário.

2ª aula: Experiência em vídeo

3ª aula: Experiência com simulador computacional:

4ª aula: Aula Expositiva do Efeito Fotoelétrico

5ª aula: Texto e vídeo sobre a quantização da energia e dualidade onda-partícula.

6ª aula: Aula expositiva sobre a equação da energia cinética do elétron no efeito fotoelétrico

7ª aula: Questionário de avaliação final dos alunos

8ª aula: Análise do êxito da UEPS

A UEPS condiciona o aluno a aprender de forma significativa seguindo alguns passos onde o conhecimento será formado através de oito passos sequenciais, tal como proposto por Moreira. Cada passo pode ser desenvolvido em uma aula, duas ou mais, a depender do desenvolvimento escolhido pelo professor, de tal forma que se adapte ao tempo das aulas e ao efetivo aprendizado dos alunos.

Como a avaliação pode ser feita pelo registro de qualquer aprendizagem significativa durante todo o processo (através de debates, questionários, comentários escritos ou orais, etc.) é fundamental que o professor esteja analisando minuciosamente cada passo realizado em cada aula. Ao final das sete aulas, o professor deverá analisar o êxito da UEPS baseado nos resultados adquiridos durante sua aplicação.

O primeiro passo da UEPS envolve a definição do tópico a ser abordado, identificando seus aspectos dentro de um contexto em que está inserido o tópico. Este primeiro estágio foi claramente atendido quando o tópico de efeito fotoelétrico foi escolhido mediante as condições propícias e relevantes à sua aceitação dentro do assunto de física moderna e contemporânea. Ademais, os próximos passos da UEPS, propostos por Moreira são apresentados na Tabela 2, bem como os recursos didáticos necessários e a respectiva carga horária mínima empregada pelo autor deste trabalho.

Tabela 5: Aspectos sequenciais das UEPS aplicadas ao Produto

<b>Aula</b>	<b>Aspectos sequenciais da UEPS</b>	<b>Recursos</b>	<b>Carga horária mínima</b>
<b>1<sup>a</sup></b>	2º passo: Criação de situações que externalizam os conhecimentos prévios dos alunos, relevante à aprendizagem significativa.	Questionário de conhecimentos prévios e discussão	45 minutos
<b>2<sup>a</sup></b>	3º passo: Proposta de situação- problema em nível introdutório. O aluno pode usar os conhecimentos prévios para modelá-la mentalmente.	Vídeo problemático da experiência do efeito fotoelétrico, projetor e aparelho de som.	45 minutos
<b>3<sup>a</sup></b>		Computadores, projetor e	45 minutos

		software apropriado.	
<b>4<sup>a</sup></b>	4º passo: Exposição oral do conhecimento a ser aprendido levando em conta a diferenciação progressiva, seguida de atividades colaborativas.	Lousa e pincel	45 minutos
<b>5<sup>a</sup></b>	5º passo: Retomada dos conteúdos em nova apresentação, em nível mais alto de complexidade, destacando semelhanças e diferenças relativas às situações já trabalhadas. Em seguida novas atividades são propostas.	Texto didático, vídeo e questionário	45 minutos
<b>6<sup>a</sup></b>	6º passo: Aula expositiva integradora que retoma todas as atividades anteriores e propostas de novas atividades em níveis mais complexos.	Lousa e pincel	45 minutos
<b>7<sup>a</sup></b>	7º passo: Resolução da avaliação somativa individual através de questionário pelos alunos.	Formulário de Avaliação final.	45 minutos
<b>8<sup>a</sup></b>	8º passo: Avaliação de aprendizagem da UEPS, que está baseada nos trabalhos realizados e nas observações em sala de aula.	Questionário atribuído aos alunos.	45 minutos

Na seção 3.2.2 é apresentada o procedimento de cada aula até a conclusão da UEPS.

### **3.2.2 Exposição de cada aula:**

Nesta Seção, será descrito a sequência de atividades, bem como o tempo estimado para a realização de cada uma delas e dos materiais utilizados durante todo o seu procedimento.

#### **Aula 1: Verificação dos subsunçores por meio de questionário.**

A primeira aula terá como objetivo reconhecer o conhecimento prévio dos alunos. Sendo assim, teremos como:

**Objetivo Geral:** Reconhecer o conhecimento do discente sobre ondas eletromagnéticas e o efeito fotoelétrico. Tais conhecimentos servirão como subsunçores principais para o início do desenvolvimento da UEPS.

#### **Objetivo Específico:**

- Atribuir um questionário (Apêndice A do Produto Educacional) para que os alunos possam expor tudo que sabem a respeito de ondas eletromagnéticas e efeitos quânticos.
- Reunir os alunos para realização de debates relacionados com as respostas de cada pergunta. O professor deve mediar a discussão.
- Revisar o conteúdo teórico, caso os alunos demonstrem deficiência ou falta de consistência em suas respostas.
- Relatar todo o procedimento e analisar em que nível de aprofundamento os alunos se encontram.
- Julgar se os conhecimentos prévios estão bem estabelecidos para o desenvolvimento subsequente.

#### **Tempo de execução de cada etapa:**

- Questionário: 20 minutos.
- Discussão: 25 minutos.

O questionário serve como meio investigativo para que o professor identifique onde está o conhecimento do aluno. Nele foi possível expor conteúdos relacionados às ondas eletromagnéticas e suas características principais, conceitos que serão bem trabalhados na investigação do funcionamento do efeito fotoelétrico (como intensidade, frequência, comprimento de onda, etc). As perguntas também direcionam o professor à inspeção de algum subsunçor de física quântica, pois muitos de nós já acessamos livros, filmes, jornais, etc. que comentam o assunto de forma específica e/ou aplicada no dia-a-dia.

Como esta UEPS destina-se a estudantes do terceiro ano do ensino médio e seguindo os conteúdos vivenciados em cada ano com base na grade curricular da disciplina (BRASIL, 2002), espera-se que os alunos já tenham uma boa experiência no contexto de ondas e assim demonstrarão o que se encontra em sua estrutura cognitiva a seu respeito, a saber:

Classificação das ondas com respeito a sua natureza;

Características das ondas (comprimento de onda, frequência, velocidade de propagação, etc.);

Tipos de onda eletromagnética e sua diferença quanto a suas frequências;

Ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol;

Conceitos básicos de física quântica adquirida pela vivência dos alunos;

Conceitos relacionados à eletrização dos corpos.

O questionário contém sete perguntas discursivas (ver Apêndice B do Produto Educacional) utilizadas como base para o debate subsequente.

O debate (ou discussão) deverá ser realizado retomando as perguntas do questionário. Dessa forma os alunos podem discorrer em suas falas sobre cada ponto abordado anteriormente, inclusive acrescentar coisas relevantes que surjam em suas estruturas cognitivas. O professor fará o papel de mediador neste momento, enquanto observa cada resposta e instiga ainda mais a participação de todos os participantes. Neste momento é importante deixar todos bem à vontade para responder, sem que haja a preocupação com

respostas certas ou erradas, pois o mais importante é identificar os subsunçores existentes, para dar início aos passos posteriores da UEPS.

Os temas relacionados ao processo de eletrização não foram abordados no questionário, pois o assunto já é trabalhado anteriormente na sequência de conteúdos abordados no terceiro ano, tendo como base a grade curricular da disciplina, porém o mesmo pode ser questionado durante o momento da discussão, abordando o processo de eletrização por atrito e processos de carregamento e descarregamento de forma geral.

## **Aula 2: Experiência em vídeo:**

**Objetivo geral:** Assistir um vídeo que demonstra o efeito fotoelétrico, que terá a finalidade de funcionar como um organizador prévio.

### **Objetivos específicos:**

- Apresentar o fenômeno por meio de uma experiência simples;
- Estimular a discussão sobre seu funcionamento;
- Relatar todo o procedimento e analisar em que nível de aprofundamento os alunos se encontram.
- Julgar se os conhecimentos prévios estão bem estabelecidos para o desenvolvimento subsequente

### **Tempo de execução de cada etapa:**

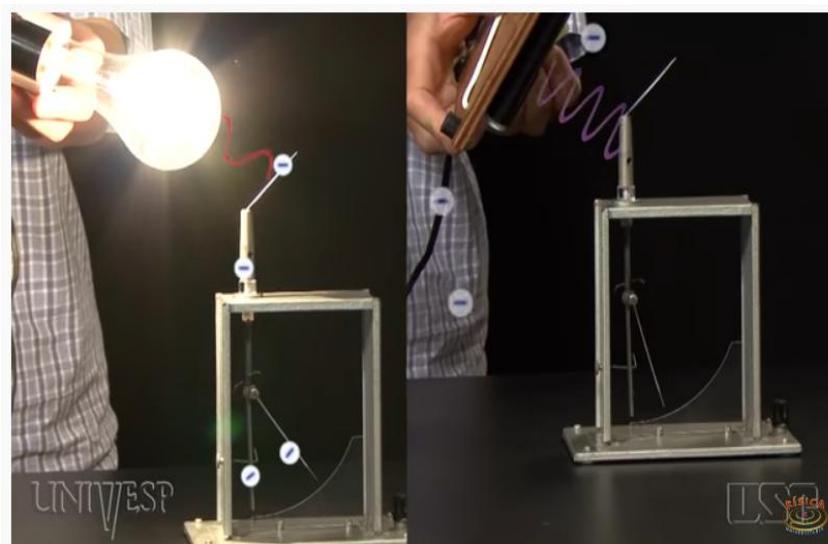
- Duração total do vídeo: aproximadamente 3 minutos
- Discussão: 25 minutos.
- Resolução de situação problema em grupo: 20 minutos

O aluno poderá registrar tudo que achar de mais interessante durante a exibição do vídeo, inclusive o mesmo pode ser exibido mais de uma vez para trazer mais compreensão.

Deve-se destacar que o vídeo será dividido em duas partes: A primeira parte será a única exibida, pois o aluno deve neste momento entender de forma geral o fenômeno, sendo assim a explicação completa do fenômeno não será compartilhada neste momento.

O vídeo aborda um experimento simples realizado com um eletroscópio e outros materiais: um canudinho de refresco, papel toalha, lâmpada incandescente de alta potência e lâmpada de vapor de mercúrio (emite radiação UV). A Figura 9 mostra a imagem de uma cena do vídeo:

Figura 9: imagem capturada da experiência do efeito fotoelétrico



Tema 01 - Luz | Experimentos - Efeito fotoelétrico

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=VVka6Mp5vYA>. Acesso em 19 de jun. de 2021

O canudinho é eletrizado por atrito com o papel toalha e logo em seguida posto em contato com o eletroscópio, que também fica eletrizado com carga negativa. Quando as lâmpadas emitem sua radiação específica no eletroscópio observa-se que a emissão da lâmpada incandescente não descarrega o eletroscópio, porém aquela que funciona por meio do vapor de mercúrio emite luz ultravioleta (UV) para que o eletroscópio se descarregue completamente.

O vídeo deve ser interrompido neste momento, para que vários questionamentos sejam feitos pelo professor aos alunos, que em grupo

poderão interagir entre si para que uma discussão seja aberta. Algumas perguntas podem ser feitas:

Por que uma lâmpada de alta potência (lâmpada incandescente) não descarregou o eletroscópio?

Qual a radiação emitida pela lâmpada incandescente?

O que faz os elétrons serem arrancados do eletroscópio?

Qual a diferença entre as radiações das duas lâmpadas?

Nesta discussão os alunos irão inserir os conceitos de ondas eletromagnéticas já existentes em suas estruturas cognitivas e lembrados na aula anterior para tomar como base os questionamentos feitos na experiência.

Neste momento espera-se que os alunos analisem o descarregamento do eletroscópio como consequência da perda de elétrons do material devido à incidência de certos tipos de ondas eletromagnéticas.

Assim uma nova atividade pode ser proposta pelo professor: identificar o funcionamento das células fotoelétricas para iluminação pública. As respostas podem ser socializadas de modo que os alunos poderão perceber de maneira mais específica a aplicação do fenômeno.

### **Aula 3: Experiência com simulador computacional:**

**Objetivo geral:** Utilizar um software disponível online para a realização do experimento, analisando outros parâmetros.

#### **Objetivos específicos:**

- Apresentar o software computacional
- Apontar os principais fatores no fenômeno;
- Aferir mudanças nas características do fenômeno com o auxílio do simulador;
- Observar como a frequência de uma onda eletromagnética e o tipo de material alvo, influencia no efeito fotoelétrico.
- Relatar todo o procedimento e analisar em que nível de aprofundamento os alunos se encontram.

- Julgar se os conhecimentos prévios estão bem estabelecidos para o desenvolvimento subsequente

### Tempo de execução de cada etapa:

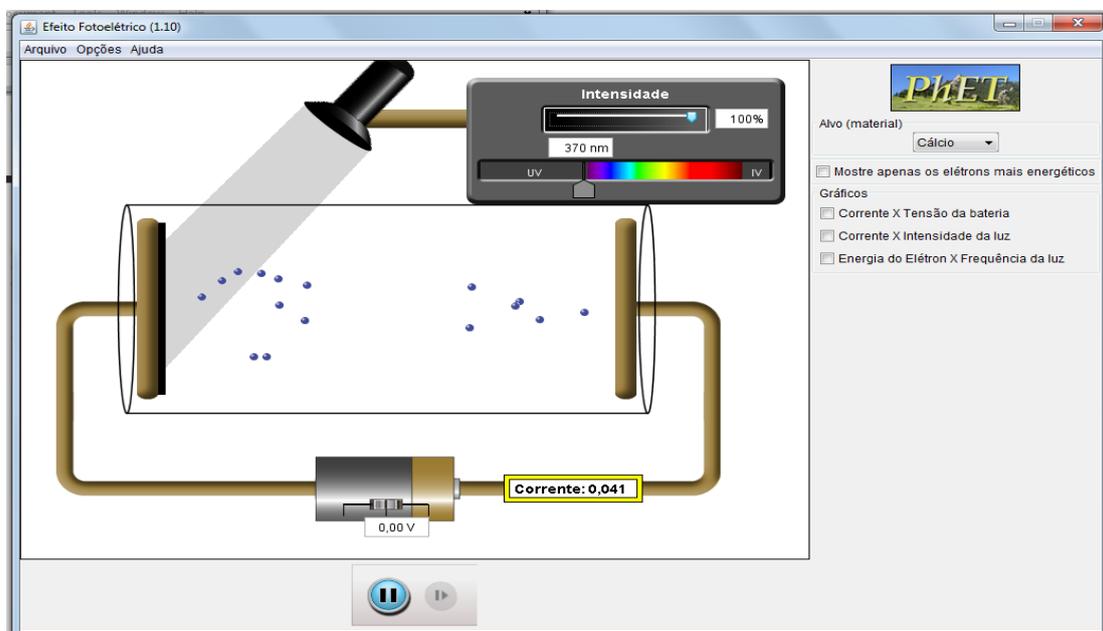
- Instruções e apresentação do simulador: 10 minutos.
- Manipulação e obtenção de resultados: 25 minutos.
- Anotação dos dados colhidos: 5 minutos.
- Discussão sobre resultados: 10 minutos.

A aplicação desta aula deve acontecer em local propício, onde haja disponibilidade do uso de computadores (de preferência com acesso a internet) e projetores. Poderá dividir os alunos em duplas ou grupos que terão acesso a um computador. O software utilizado é encontrado na plataforma do PhET, que pode ser baixado em versão Java no computador ou no próprio navegador, conforme a Figura 10.

O simulador encontra-se disponível em:

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric)

Figura 10: imagem capturada do simulador PHET/efeito fotoelétrico



Fonte: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric). Acesso em 26 jun. de 2021

Alguns parâmetros são importantes para a manipulação dos resultados, como o valor do comprimento de onda, o tipo de alvo (material), a Intensidade

da fonte de ondas e a corrente elétrica. Esses serão os parâmetros utilizados para a análise do fenômeno, porém a voltagem ficará em todos os casos fixada no valor zero. O professor deve orientar os alunos de como realizar a alteração de cada valor. O aluno irá variar o comprimento de onda (ou frequência) e analisará para um material específico qual será o resultado. O efeito fotoelétrico ocorre ou não? Para responder essa pergunta poderá aferir a corrente elétrica, inclusive seu valor irá variar com o aumento da intensidade. Neste momento o estudante poderá perceber que a retirada de elétrons é mais fácil em certos materiais e mais difícil em outros.

O estudante deve anotar tudo que for relevante nas suas observações no seu caderno. Neste momento ele irá descobrir como os fatores influenciam no efeito fotoelétrico. Na sequência o professor pedirá para os alunos usarem valores específicos em suas simulações e anotarem. Os valores sugeridos encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4: medidas dos parâmetros no efeito fotoelétrico do simulador

Comprimento de onda	Frequência	Material	Intensidade	Corrente Elétrica
695 nm	$4,32 \cdot 10^{14}$ Hz	Sódio	48%	0
695 nm	$4,32 \cdot 10^{14}$ Hz	Platina	100%	0
483 nm	$6,21 \cdot 10^{14}$ Hz	Platina	100%	0
287 nm	$1,05 \cdot 10^{15}$ Hz	Sódio	100%	0,646 u.a.
287 nm	$1,05 \cdot 10^{15}$ Hz	Sódio	51%	0,328 u.a.
287 nm	$1,05 \cdot 10^{15}$ Hz	Cálcio	51%	0,162 u.a.

O professor pode sugerir outros valores, desde que fique claro a influencia de cada parâmetro quando comparado um resultado em relação ao outro. O valor do comprimento de onda (em nanômetro = nm) foi ajustado para o indicado na Tabela 4, bem como o material e a intensidade, já a corrente elétrica foi registrada a partir da indicação calculada pelo próprio simulador onde a unidade associada foi arbitrária (u.a.). A segunda coluna o aluno ficará

responsável em preenchê-la, tendo em vista que o simulador utiliza apenas um indicador: comprimento de onda (e não a frequência) que especifica a onda do espectro eletromagnético.

Assim, o professor irá instruí-lo a realização do cálculo da frequência em função do comprimento de onda e da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas (igual a velocidade da luz). Porém, se o aluno não lembrar dessas informações, faça uma breve explicação. É interessante que o estudante note a variação do fenômeno em função da frequência, pois o mesmo fará mais sentido mais adiante da UEPS quando for introduzido o conceito do fóton.

Os alunos serão instigados a variar a frequência da radiação incidente até achar a frequência de corte, pois assim poderão analisar a ausência do fenômeno com frequências abaixo da frequência de corte e sua presença acima da frequência de corte. Por isso, o professor deve enfatizar esta análise e provocar a indagação dos alunos sobre sua importância. Além disso, deve ser discutida a possibilidade da existência de diferentes frequências de corte para materiais distintos.

A intensidade tem papel importante na experiência, mas não influencia no surgimento do efeito fotoelétrico. O professor deve mostrar isso bem nitidamente quando varia os valores de intensidade e da frequência, deixando o aluno perceber que a abaixo da frequência de corte 100% de intensidade não provoca o fenômeno, mas acima da frequência de corte, mesmo a 51% de intensidade o fenômeno ocorre.

Ao final destas análises, dedique o tempo para que os alunos interajam entre si, discutindo seus resultados e buscando possíveis respostas para questionamentos que possam surgir. Em seguida, entregue aos alunos uma lista com alguns problemas (Apêndice B do Produto Educacional), que vai estimulá-los a refletir com mais profundidade a respeito dos resultados. Analise as respostas.

#### **Aula 4: Aula Expositiva do Efeito Fotoelétrico**

**Objetivo geral:** Explicar o efeito foto elétrico em um nível mais alto de complexidade.

### **Objetivos específicos:**

- Detalhar um pouco mais sobre o funcionamento do fenômeno;
- Explicar sobre a função trabalho;
- Montar a equação do efeito fotoelétrico por meio da conservação da energia do elétron.
- Discutir a ineficiência da teoria clássica em explicar os resultados experimentais.
- Relatar todo o procedimento e analisar em que nível de aprofundamento os alunos se encontram.
- Julgar se os conhecimentos prévios estão bem estabelecidos para o desenvolvimento subsequente

### **Tempo de execução de cada etapa:**

- Tempo de duração: 45 minutos.

O professor deve montar sua aula com base nas literaturas especializadas, porém é importante lembrar que alguns tópicos ainda não serão abordados, como por exemplo a quantização da energia.

Entretanto neste momento deverá ser exposto tópicos como:

- Descrição do efeito fotoelétrico e sua aplicação;
- Mudança da frequência de corte, quando se muda o material;
- Energia cinética do elétron e a equação relacionada;
- A Teoria clássica do eletromagnetismo incapaz de responder aos resultados.

A presente aula terá finalidade de agregar tudo que o aluno vivenciou nas aulas anteriores de forma lógica e sequencial, bem mais organizada para que ele possa acessá-las em sua estrutura cognitiva. Estruture a aula de modo que se possa trabalhar bem os tópicos citados acima, tendo em vista que o

aluno deve compreender o funcionamento dos equipamentos usando os conceitos trabalhados em sala de aula.

Um ponto importante na aula é o seu fechamento, pois dará abertura para a formulação da próxima aula. Questionar a causa da intensidade elevada não provocar a ejeção de elétrons e mostrar que isso está em desacordo com a teoria clássica, abre as portas para que se possa introduzir o conceito de física quântica.

Peça para que todos os alunos escrevam um pequeno texto sobre todos os principais aspectos aprendidos nessa aula e após crie uma canal de discussão sobre a mesma. Analise com atenção os comentários e observe se houve algum desenvolvimento na aprendizagem significativa cumulativa destas últimas aulas, por meio de debates, comentários e respostas dos questionários.

### **Aula 5: Texto e vídeo sobre a quantização da energia e dualidade onda-partícula.**

**Objetivo geral:** Compreender a dualidade onda-partícula e o significado de quantização de energia e a dualidade onda-partícula.

#### **Objetivos específicos:**

- Apresentar o vídeo do Dr. Quântico.
- Entender a ideia da dualidade onda-partícula.
- Ler o texto extraído do livro: *Alice no país do Quantum* (Anexo único).
- Entender a característica básica de um fóton e da energia que ele carrega.
- Compreender que a energia transmitida por uma onda eletromagnética é discreta e não contínua.
- Relatar todo o procedimento e analisar em que nível de aprofundamento os alunos se encontram.

- Julgar se os conhecimentos prévios estão bem estabelecidos para o desenvolvimento subsequente.

**Tempo de execução de cada etapa:**

- Duração do vídeo: 5 minutos.
- Duração da leitura do texto: 20 minutos.
- Discussões e socialização: 20 minutos.

Na presente aula, os materiais vão guiar os alunos a um novo conhecimento, relacionado à física quântica. O conceito de física quântica deve-se ao comportamento de partículas de escalas bem pequenas, inconsistentes com o comportamento das partículas macroscópicas. Este conhecimento será totalmente útil para explicar a interação entre as ondas eletromagnéticas e os materiais na produção do efeito fotoelétrico.

O ponto de partida é retomar as perguntas que foram feitas no primeiro questionário sobre o que é física quântica e sua possível relação com as ondas eletromagnéticas. O professor deve retomar estes questionamentos de forma breve e observar se existem novas respostas sobre o exposto, caso exista algo que sirva de subsunção para o vídeo, deve ser destacado e em seguida liberar o vídeo: “Física Quântica (Dr. Quantum) Fenda Dupla”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UtPf0XYQzfl>.

O vídeo trata-se de uma animação com um personagem chamado Doutor Quântico, um cientista que propõe o experimento da dupla fenda para explicar a dualidade onda-partícula de estruturas bem pequenas da natureza, como o elétron. A Figura 11 mostra a uma cena do vídeo.

Figura 11: Captura do vídeo usado para elucidar a dualidade onda-partícula



Física Quântica (Dr. Quantum) Fenda Dupla - Dublado PT

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=UtPf0XYQzfl>. Acesso em jun. de 2021

A ideia do vídeo nesta aula é construir um organizador prévio que possa servir de base para a compreensão básica do fóton, pois embora se comporte como partícula, ele é quem forma as ondas eletromagnéticas.

Deixe os alunos refletirem sobre este assunto e em seguida sem fazer comentários, libere o texto para que seja lido por todos. O texto é um fragmento do livro *Alice no País do Quantum* (GILMORE,1998). Este livro é uma obra adaptada por Robert Gilmore, que faz uma analogia de um clássico infantil, usando um mundo muito diferente, onde os personagens são seres muito pequenos encontrados dentro de uma TV. Alice entra neste mundo quando passa magicamente pela tela de sua TV.

O fragmento do livro extraído (Anexo único) trata-se do momento quando Alice entra em um Banco e lá conversa com a gerente que lhe explica que o dinheiro com que se trabalhava naquele mundo era a energia.

Durante o diálogo fica exposto que o fóton possui energia, mas não possui massa de repouso e que forma as ondas eletromagnéticas tanto de frequências menores quanto as de frequências maiores.

Outra informação valiosa no diálogo é sobre o fato da luz ser feita de quanta, pequenos pacotes de energia, que faz o fluxo ser granulado e não constante e suave.

Em posse de tais informações, o aluno passa a entender melhor os fótons e tentará introduzir estes novos conceitos como subsunção para resolver o problema da disparidade da teoria clássica com os resultados do experimento do efeito fotoelétrico.

No final da leitura convide os alunos para discutirem suas ideias sobre o fóton. O professor deve levantar alguns questionamentos para mediar a discussão:

- O que você entendeu sobre o fóton?
- Uma onda eletromagnética é composta por fótons?
- O fóton é uma estrutura quântica?
- O fóton pode ter um comportamento dual (onda – partícula)?
- A energia de uma radiação eletromagnética é contínua ou discreta?
- O que podemos dizer sobre a energia que cada fóton carrega em relação à frequência de cada onda eletromagnética?

Os alunos irão se apropriar do conceito por trás da palavra quanta e perceber que o mundo onde coisas bem pequenas são observadas pode ser bem diferente do mundo macro que observamos e vivemos.

O professor pode conduzir os alunos a pensar sobre o efeito fotoelétrico imaginando o que pode ocorrer quando uma radiação eletromagnética, ou seja, um fóton atinge um elétron, como na estrutura cognitiva dos estudantes encontra-se a absorção de energia para que este adquira energia cinética capaz de ser arrancado do átomo, então pode-se induzir a equação da energia do elétron de forma completa.

No final, os alunos devem escrever tudo que foi adquirido de conhecimento e preencher o questionário sobre as características do fóton (Apêndice C do Produto Educacional) e o professor analisa se houve aprendizagem significativa.

**Aula 6: Aula expositiva sobre a equação da energia cinética do elétron no efeito fotoelétrico**

**Objetivo geral:** Escrever a equação em função da frequência e da constante de Planck e analisar resultados de experiências usando a teoria atual.

**Objetivos específicos:**

- Apresentar a Constante de Planck.
- Escrever a equação da energia de um fotoelétron em função da frequência.
- Analisar a frequência de corte a partir da equação.
- Comparar a intensidade das radiações com as fotocorrentes geradas.
- Relatar todo o procedimento e analisar em que nível de aprofundamento os alunos se encontram.

**Tempo de execução de cada etapa:**

- Conceitos iniciais: 10 minutos.
- Resolução de questões e Discussões: 35 minutos.

A primeira coisa a ser introduzida nesta aula é a constante de Planck e seu valor, que deve se relaciona com a energia de um fóton. Dentro desta perspectiva entende-se que a intensidade das radiações é o efeito da quantidade de fótons por ela inseridos. O mediador assume o compromisso de esclarecer estes tópicos e escrever a equação da energia de um elétron emitido do material no processo, em função da frequência da radiação, da constante de Planck e da função trabalho.

Em seguida o professor deve pedir para os alunos identificar a frequência de corte analisando a equação. Deve perguntar para que frequências o efeito não ocorre. Mediante as respostas dos alunos pode direcionar a conclusão que a mesma depende da função trabalho e consequentemente do material.

Outra pergunta que pode ser feita pelo professor é sobre a influência da intensidade no efeito fotoelétrico. Observando as respostas dos alunos, pode-se iniciar uma discussão sobre as novas informações e como elas se encaixam e justificam os resultados nas experiências.

### **Aula 7: Questionário de avaliação dos alunos**

**Objetivo geral:** Avaliar através de questionário o conhecimento adquirido pelos alunos.

#### **Objetivos específicos:**

- Aplicar o questionário.
- Avaliar as repostas de cada aluno.
- Verificar se houve aprendizagem significativa.

#### **Tempo de execução de cada etapa:**

- Duração da aplicação do questionário: 40 minutos.

As questões envolvidas (Apêndice D) abordarão de forma geral o fenômeno, conceitos e aplicações. Os discentes terão a oportunidade de relatar o que realmente conseguiram aprender e se houve alguma dificuldade para resolução das questões.

No final da atividade, uma revisão de todo o conteúdo pode ser ministrado pelo professor enquanto resolve todas as questões do questionário.

### **Aula 8: Análise do êxito da UEPS**

**Objetivo geral:** Avaliar de forma geral a aplicação da UEPS

Alguns pontos devem ser destacados neste momento, pois é importante a relevância desta sequência. Pode-se utilizar um debate para que cada aluno expresse aquilo que ficou claro no seu aprendizado, se foi possível aplicar o que foi aprendido em problemas situações pelos discentes, inclusive deixe que

eles falem se o método de ensino foi interessante ou se eles sugerem algo a melhorar (segue um modelo no Apêndice D do Produto Educacional).

Mesmo que o resultado final não seja tão satisfatório é sempre importante valorizar sinais, ainda que pequeno, de desenvolvimento de aprendizagem significativa em cada etapa da aplicação da UEPS. Não podemos desprezar a aprendizagem gradativa e sequencial.

### **Considerações finais:**

A aplicação da UEPS é sem dúvidas um método de muito valor para a educação básica, pois ainda que inseridos em um cenário de muita dificuldade na docência, o professor pode estimular os alunos de modo que sejam mais participativos e protagonistas do seu próprio aprendizado, o que facilita a sua dinâmica e torna o conteúdo mais próximo do discente. Estimular a estrutura cognitiva dos estudantes abre a porta para que novos conhecimentos possam ter acesso e se conectem com aquilo que eles vivenciam, modificando-os mutuamente e gerando novos significados que trazem assimilação do conteúdo estudado.

# Apêndice do Produto

## Apêndice A:

### Aula 1 – Questionário de conhecimento prévio (subsunçores)



Nome do aluno: \_\_\_\_\_

Série/ Turma: \_\_\_\_\_ Professor (a): \_\_\_\_\_

**Questão 01:** O que é uma onda?

---

---

---

---

**Questão 02:** Onde encontramos ondas em nosso dia a dia?

---

---

---

---

**Questão 03:** Você já ouviu falar de ondas eletromagnéticas?

---

---

---

**Questão 04:** O que é a frequência de uma onda?

---

---

---

**Questão 05:** O que é o comprimento de onda?

---

---

---

**Questão 06:** O que é física quântica para você?

---

---

---

---

---

**Questão 07:** Você acredita que exista alguma relação entre física quântica e ondas?

---

---

---

---

## Apêndice B:

### Aula 3 – Problemas envolvendo a prática do simulador



Nome do aluno: \_\_\_\_\_

Série/ Turma: \_\_\_\_\_ Professor (a): \_\_\_\_\_

*As perguntas a seguir são feitas tomando por base o experimento feito no simulador da plataforma PhET, cujo link encontra-se abaixo. Os parâmetros utilizados em sala de aula e a sua respectiva análise, nos dá possibilidade de responder cada questionamento.*

link da simulação - Efeito fotoelétrico: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric)

**Questão 01:** Qual o principal fator que determinou a aparição do efeito fotoelétrico?

---

---

**Questão 02:** O efeito foto elétrico demonstrou diferença no comportamento quando os materiais iluminados por ondas eletromagnética eram trocados?

Sim (     )                      não (     )

**Questão 03:** Fixando o tipo de onda eletromagnética e o material, percebe-se que a variação da intensidade causa uma alteração na corrente elétrica emitida. Explique que alteração é essa.

---

---

---

**Questão 04:** O aumento da intensidade ocasiona o aumento da energia incidente no material, Dessa forma imaginamos que mais elétrons deveriam ser

arrancados do material, porém na experiência uma onda de comprimento de onda 695 nm (frequência =  $4,3 \cdot 10^{14}$  Hz) não consegue arrancar elétrons da platina, mesmo com intensidade 100%. Como você explicaria isso?

---

---

---

---

**Tabela auxiliar para anotação de dados do experimento realizado no simulador:**

Comprimento de onda	Frequência	Material	Intensidade	Corrente elétrica

Anotações:

---

---

---

---

---

---





**Questão 05:** Quais os fótons que possuem mais energia: Luz visível ou Ultravioleta?

---

---

**Questão 06:** Fótons com maior energia serão aqueles cujas ondas terão maior:

- a) intensidade.
- b) comprimento de onda.
- c) frequência.
- d) velocidade.

**Questão 07:** Sobre o efeito fotoelétrico, marque a alternativa correta:

- a) O efeito fotoelétrico depende apenas da intensidade da radiação incidente sobre a placa metálica.
- b) Não há frequência mínima necessária para a ocorrência desse fenômeno.
- c) A frequência de corte é fruto da razão entre a função trabalho e a constante de Planck.
- d) A energia cinética dos fotoelétrons é diretamente proporcional ao comprimento de onda da radiação incidente.

**Questão 08:** Qual a frequência de corte do Cálcio, sabendo que sua função trabalho é 2,9 eV? (dado: carga do elétron =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C)

**Questão 09:** Qual a energia de um elétron liberado por uma placa de Cálcio quando recebe uma radiação de ultravioleta (UV) de frequência  $1,2 \cdot 10^5$  Hz?

**Questão 10:** Cite aplicações do efeito fotoelétrico que você já vivenciou.

---

---

---

---

## Aula 8 – Relatório final da UEPS



Nome do aluno: \_\_\_\_\_

Série/ Turma: \_\_\_\_\_ Professor (a): \_\_\_\_\_

**01.** Faça um relato do que você compreendeu nessas aulas.

---

---

---

---

**02.** Você teve dificuldades em fazer as questões da avaliação final?

---

---

---

---

**03.** Você consegue compreender o funcionamento de alguns fenômenos envolvendo o efeito fotoelétrico após estas aulas?

---

---

---

**04.** O que você achou de proveitoso nessas aulas sobre radiações e efeito fotoelétrico?

---

---

---

---

**05.** Quais os pontos a melhorar nessa sequência didática?

---

---

---

---

## Anexo A:

### Aula 5 - Texto didático

*O texto a seguir foi extraído do livro: Alice no País do Quantum de Robert Gilmore, 1ª Ed, 1998, página 20.*

"Nós trabalhamos com energia aqui no Banco", continuou a Gerente, "porque aqui no País do Quantum, energia funciona como se fosse dinheiro. Assim como você dá nomes como reais ou dólares ao seu dinheiro, nós chamamos a unidade de energia mais usada aqui de e V. A quantidade de energia de uma partícula é o que determina aquilo que ela é capaz de fazer. A velocidade em que pode ir, o estado que pode ocupar, o quanto ela afetará outros sistemas, tudo isso depende da energia que a partícula possui.

"Nem todas as partículas são completamente destituídas de energia, como estas que estão na fila. Muitas delas têm suficiente energia própria e, nesse caso, conseguem mantê-la pelo tempo que quiserem. São elas que você deve ter visto andando lá fora. Toda partícula que necessita de uma massa, precisa ter energia suficiente para sustentar sua existência."

Ela apontou para outro aviso emoldurado na parede, que dizia:

#### **Massa é Energia. Energia é Massa**

"Se uma partícula quiser possuir massa, ela deve achar energia para sustentar essa massa. Se sobrar alguma energia, ela poderá ser usada para outras coisas. Nem todas as partículas se importam com massa. Há algumas "free-and easy", partículas boêmias que não têm qualquer massa de repouso. Elas não são limitadas como a maioria, que precisa se virar para conseguir sua massa e por isso podem fazer uso até mesmo de pequenas quantidades de energia. Fótons são um bom exemplo. Um fóton não tem massa de repouso. Por isso, um fóton em repouso não pesa absolutamente nada. Mas veja bem, fótons não são encontrados em repouso, normalmente; eles estão sempre correndo por aí, à velocidade da luz, pois é deles que a luz é feita, entendeu? A luz não é um fluxo constante e suave. Ela é feita de um monte de quanta,

pequenos pacotes de energia, o que faz com que o fluxo seja granulado. Esses quanta, ou partículas de luz, são chamados fótons. Quase tudo é feito de quanta de algum tamanho. É daí que vem o nome da física quântica. Veja todos esses fótons saindo do Banco agora. Os fótons são todos basicamente o mesmo, exatamente um como o outro, assim como os elétrons também são o mesmo, mas você pode notar que muitos deles são bem diferentes. Isso é porque eles possuem diferentes quantidades de energia. Alguns têm muito pouca energia, como aqueles fótons de radiofrequência que estão saindo agora."

Alice olhou para uma multidão de fótons que passava por ela, fluindo em volta de seus pés e saindo pela porta. Enquanto saíam, ela ouviu fragmentos de música, vozes empostadas e alguma coisa sobre "almoçar numa quinta-feira". "Eu não sabia que ondas de rádio eram feitas de fótons", confessou Alice. "Oh, sim. Elas são. Elas são fótons com um comprimento de onda bem grande, de baixa frequência e bem pouca energia. Elas andam em grupos, pois para terem efeitos perceptíveis é preciso um monte de uma vez. São figurinhas muito simpáticas, não são?", sorriu a companheira de Alice. "Já os fótons visíveis, aqueles que fazem a luz que as pessoas usam para enxergar, têm uma frequência maior e mais energia. O efeito de um deles pode ser bem perceptível. Os mais abastados, os grandes gastadores, são as ondas de raios X e os fótons gama. Cada um deles, transporta muita energia e consegue fazer com que sua presença seja notada no ambiente, se decidirem interagir."