

**O ensino híbrido como abordagem de ensino do efeito fotoelétrico e da natureza da luz: uma sequência didática contextualizando dispositivos eletrônicos por meio de metodologias ativas da sala de aula invertida e rotação por estações**

Jhon Lennon Schuina  
Jardel da Costa Brozeguini



**Edifes**  
**ACADÊMICO**

JHON LENNON SCHUINA  
JARDEL DA COSTA BROZEGUINI

**O ENSINO HÍBRIDO COMO ABORDAGEM DE ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO E DA NATUREZA DA LUZ: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA CONTEXTUALIZANDO DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS POR MEIO DE METODOLOGIAS ATIVAS DA SALA DE AULA INVERTIDA E ROTAÇÃO POR ESTAÇÕES**

1ª Edição



**Edifes**  
ACADÊMICO

Cariacica, ES  
2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO  
2024



Editora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo  
R. Barão de Mauá, nº 30 – Jucutuquara  
29040-689 – Vitória – ES  
www.edifes.ifes.edu.br | editora@ifes.edu.br

Reitor: Jadir José Pela  
Pró-Reitor de Administração e Orçamento: Lezi José Ferreira  
Pró-Reitor de Desenvolvimento Institucional: Luciano de Oliveira Toledo  
Pró-Reitora de Ensino: Adriana Piontkovsky Barcellos  
Pró-Reitor de Extensão: Lodovico Ortlieb Faria  
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: André Romero da Silva  
Coordenador da Edifes: Adonai José Lacruz

#### Conselho Editorial

Aldo Rezende \* Aline Freitas da Silva de Carvalho \* Aparecida de Fátima Madella de Oliveira \* Felipe Zamborlini Saiter \* Gabriel Domingos Carvalho \* Jamille Locatelli \* Marcio de Souza Bolzan \* Mariella Berger Andrade \* Ricardo Ramos Costa \* Rosana Vilarim da Silva \* Rossanna dos Santos Santana Rubim \* Viviane Bessa Lopes Alvarenga.

Revisão de texto, projeto gráfico e diagramação: Jardel Brozeguini

Capa: Jardel Brozeguini, adaptado de href="https://www.freepik.com/free-vector/collection-chemical-compounds\_1259435.htm#from\_view=detail\_alsolike

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca do *Campus* Cariacica do Instituto Federal do Espírito Santo)

S385s Schuina, Jhon Lennon.

O ensino híbrido como abordagem de ensino do efeito fotoelétrico e da natureza da luz [recurso eletrônico] : uma sequência didática contextualizando dispositivos eletrônicos por meio de metodologias ativas da sala de aula invertida e rotação por estações / Jhon Lennon Schuina, Jardel da Costa Brozeguini. – Vitória, ES: Edifes Acadêmico, 2024.

1 Recurso digital: PDF, 69 p. : il. color.

ISBN 978-85-8263-912-2 (e-book).

1. Física - Estudo e ensino (Ensino médio). 2. Ensino híbrido. 3. Aprendizagem invertida. 4. Ondas eletromagnéticas – Estudo e ensino. 5. Luz – Estudo e ensino. I. Brozeguini, Jardel da Costa. II. Instituto Federal do Espírito Santo. Campus Cariacica. III. Título.

CDD 21: 530.07

(Bibliotecária: Luciana Dumer - CRB6-ES nº 662)

DOI: 10.36524/978-85-8263-912-2

Este livro foi avaliado e recomendado para publicação por pareceristas *ad hoc*.

*Esta obra está licenciada com uma Licença Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Brasil.*



Jhon Lennon Schuina

O ENSINO HÍBRIDO COMO ABORDAGEM DE ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO E DA NATUREZA DA LUZ: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA CONTEXTUALIZANDO DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS POR MEIO DE METODOLOGIAS ATIVAS DA SALA DE AULA INVERTIDA E ROTAÇÃO POR ESTAÇÕES

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: A sala de aula invertida e rotação por estações no ensino médio: contribuições de uma sequência didática para o ensino do efeito fotoelétrico e da natureza da luz, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 33 – IFES, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Jardel da Costa Brozeguini

# **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes) – Nº 101/2022.

# Apresentação

Caro Professor (a),

Este guia didático é o resultado de uma pesquisa científica, desenvolvida entre os anos de 2022 e 2024, durante o curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do Instituto Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo – Campus Cariacica. Este Produto Educacional está vinculado a uma Dissertação de Mestrado que explorou possibilidades e desafios relacionados ao ensino do efeito fotoelétrico, utilizando dispositivos eletroeletrônicos presentes no cotidiano dos alunos como fonte de motivação por meio das metodologias ativas de Rotação por Estações (RE) e Sala de Aula Invertida (SAI).

A Sequência Didática (SD) foi aplicada em uma turma da 2ª série do Ensino Médio (EM) em uma escola da Rede Estadual de Ensino do Espírito Santo, localizada no município de Rio Novo do Sul. Destina-se a professores do EM, podendo auxiliá-los em sua prática docente na utilização de metodologias ativas no ensino de Física.

Essa intervenção pedagógica foi organizada para inclusão da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo do EM, buscando contornar o fato de que as aulas de Física têm se tornado desmotivadoras e cansativas para os alunos, muitas vezes limitadas a uma abordagem predominantemente teórica, com foco em aulas expositivas e exercícios repetitivos. Destaca-se a presença de atividades diversificadas, como simulações computacionais, leitura de texto, análise de vídeos, chatbot desenvolvido pela OpenAI e prática experimental, aplicadas através da utilização das metodologias ativas de RE e SAI.

As orientações e atividades, tais como o uso de simulações computacionais, leitura de texto, análise de vídeos, chatbot desenvolvido pela OpenAI e prática experimental, empregadas na intervenção pedagógica, foram incorporadas neste guia. Além disso, uma breve revisão teórica sobre o Ensino Híbrido (EH) foi incluída, destacando sua capacidade de promover a autonomia dos alunos e servindo de apoio para o professor que optar por utilizá-la.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentação teórica</b> .....	<b>11</b>
2.1	A aprendizagem significativa de David Ausubel.....	11
2.2	Fundamentação para o uso da estratégia de ensino .....	13
2.2.1	Definindo o ensino híbrido .....	14
2.2.2	Modelos de ensino híbrido.....	16
2.2.3	Metodologias ativas escolhidas .....	18
<b>3</b>	<b>A sequência didática</b> .....	<b>23</b>
3.2	Encontro 1 – A influência do efeito fotoelétrico no nosso cotidiano.....	24
3.3	Encontro 2 – A natureza corpuscular da luz, tempo de retardo e limiar de frequência .....	26
3.3.1	Estação 1 – Das antigas teorias gregas à revolução científica moderna.....	27
3.3.2	Estação 2 – Simulação Computacional – Natureza corpuscular da luz.....	31
3.3.3	Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Natureza corpuscular da luz .....	33
3.3.4	Estação 4 – Observação experimental do efeito fotoelétrico.....	34
3.4	Encontro 3 – O espectro eletromagnético.....	36
3.5	Encontro 4 – os fatores responsáveis pelo efeito fotoelétrico .....	39
3.5.1	Estação 1 – Leitura de Texto – Do tempo de retardo à função trabalho: Os principais detalhes da ocorrência do efeito fotoelétrico.....	40
3.5.2	Estação 2 – Simulação Computacional – Fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico.....	42
3.5.3	Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico.....	44
3.5.4	Estação 4 – Atividade experimental.....	46
3.6	Encontro 5 – A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico .....	49
3.7	Encontro 6 – O efeito fotoelétrico .....	52
3.7.1	Estação 1 – Leitura de Texto – Explorando as aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico .....	53
3.7.2	Estação 2 – Simulação Computacional – Investigando a influência da intensidade da luz na liberação de elétrons .....	56
3.7.3	Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico.....	58
3.7.4	Estação 4 – Atividade experimental.....	59
3.8	Encontro 7 – O que é a luz afinal?.....	62
<b>4</b>	<b>Orientações finais</b> .....	<b>67</b>
	<b>Referências</b> .....	<b>68</b>





# 1 Introdução

O desenvolvimento dos conhecimentos científicos está intrinsecamente ligado à pesquisa, uma vez que a solução dos desafios enfrentados pela sociedade emerge da investigação e da contribuição, tanto direta quanto indireta, de múltiplos pesquisadores ao longo do tempo. É essencial situar a ciência e a tecnologia dentro de seu contexto social, histórico e cultural, para que sejam percebidas como empreendimentos inseparáveis da experiência humana e social. Assim, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) destaca que,

“[...] a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura. (BRASIL, 2018, p.552)”

Em uma análise breve, observa-se que a BNCC menciona o termo “contextualização” 65 vezes, ressaltando sua importância central no processo de ensino para facilitar a compreensão da construção do conhecimento científico pelos estudantes. Além disso, o documento menciona “tecnologias digitais” em 62 ocasiões, evidenciando a relevância dessas ferramentas como suporte ao engajamento e à aprendizagem dos alunos, enfatizando a necessidade de uma articulação com suas experiências vivenciadas para promover uma postura ativa na construção do conhecimento.

No entanto, ao adentrarmos as salas de aula da educação básica, é evidente que as metodologias empregadas raramente incentivam os estudantes a terem uma postura ativa na construção do conhecimento e as tecnologias digitais pouco são usadas para fins educativos.

Normalmente, são adotadas abordagens centradas no professor, em que o docente assume o papel central de transmitir conhecimento, enquanto os alunos são esperados apenas para absorver informações e memorizar fórmulas, repetindo ano após ano os mesmos modelos de organização e processos acadêmicos, enfatizados por Moran et al. (2013).

Acredita-se, então, que o Ensino Híbrido (EH), embasado nos conhecimentos prévios dos alunos e enriquecido com o uso de ferramentas tecnológicas e metodologias ativas de ensino, como a Rotação por Estações (RE) e a Sala de Aula Invertida (SAI), seja capaz de promover um processo de aprendizagem mais completo e significativo.

O adolescente contemporâneo cresce em um mundo repleto de dispositivos eletroeletrônicos, e é natural que os utilize amplamente, aproveitando os benefícios que proporcionam em diversos aspectos de suas vidas. No entanto, muitas vezes desconhecem os princípios fundamentais que regem o funcionamento desses dispositivos. Muitos deles operam com

base nos princípios do Efeito Fotoelétrico, essenciais para seu desempenho em áreas como eletrônica, segurança e automação.

Para abordar essa lacuna de conhecimento, foi desenvolvida uma SD composta por atividades diversificadas, incluindo simulações computacionais, textos informativos, análises de vídeos, interações com um chatbot desenvolvido pela OpenAI e experiências práticas. Essa abordagem permite explorar os conceitos essenciais relacionados ao Efeito Fotoelétrico e ao funcionamento dos dispositivos eletroeletrônicos que dele dependem.

Essa proposta de SD traz consigo uma proposta de mudança no ensino de Física, tanto no que diz respeito à abordagem pedagógica quanto ao conteúdo, defendida por diversos pesquisadores, como Brockington e Pietrocola (2005), Ostermann e Moreira (2000), Sasseron (2008) e Studart (2019).

Então, a partir dessa SD, o professor poderá abordar de forma efetiva os conceitos essenciais da FMC relacionados ao Efeito Fotoelétrico, utilizando o funcionamento de dispositivos eletroeletrônicos do cotidiano dos alunos como fonte de motivação. Além disso, propõe-se a utilização das metodologias do EH, como a RE e a SAI, para favorecer a aprendizagem e a colaboração entre os estudantes durante atividades em grupo, reforçando o papel social da escola, que é prepará-los para a vida em sociedade.

## 2 Fundamentação teórica

No cenário educacional do Espírito Santo, o ensino de Física tem sido frequentemente caracterizado por uma abordagem centrada no professor, em que o docente assume o papel central de transmitir conhecimento, enquanto os alunos são esperados apenas para absorver informações e memorizar fórmulas. Moran *et al.* (2013, p. 66) aludem para isso ao dizer que “[...] predomina ainda, na maioria das instituições, a inércia de repetir ano após ano os mesmos modelos de organizar os processos acadêmicos, os currículos, a forma de dar aula, de avaliar”. Assim, abrir mão de uma metodologia aplicada há anos, buscando impactos positivos na aprendizagem de Física, não é uma tarefa simples e nos leva a vários pontos que devem ser considerados, tais como o currículo vigente, a compreensão dos processos de ensino e aprendizagem; as principais teorias pedagógicas que sustentam esta “nova” proposta de modalidade de ensino; a compreensão da importância sociocultural das TDICs e os aspectos mais relevantes do EH.

A escolha pelo EH se deve à sua exequibilidade, já que combina elementos da educação presencial e online, demandando o uso de TDICs. O acesso à internet tanto pela escola quanto pelos alunos torna essa modalidade viável e acessível. Além disso, é relevante considerar a variação no tempo de aprendizagem de cada aluno. Enquanto em sala todos têm um tempo limitado (geralmente cerca de 50 minutos) para assimilar o conteúdo, essa absorção ocorre de forma diversa. Assim, torna-se necessário ajustar o tempo de exposição ao assunto conforme as necessidades individuais de cada aluno, de modo a respeitar o seu ritmo de aprendizagem e possibilitar uma compreensão mais abrangente e satisfatória.

Essa intervenção, embasada nos conhecimentos prévios dos alunos, será enriquecida com o uso de ferramentas tecnológicas e metodologias ativas de ensino, como a RE e a SAI. A ideia é promover um processo de aprendizagem mais completo e significativo, intercalando essas abordagens ao longo da SD proposta. Com a RE, os alunos poderão participar de diferentes atividades em grupos, enquanto na SAI, terão a oportunidade de explorar o conteúdo de maneira mais autônoma, contando com o suporte do professor quando necessário.

### 2.1 A aprendizagem significativa de David Ausubel

A combinação do método de SAI com o modelo de RE, selecionados para serem integrados ao EH neste trabalho, busca promover a personalização do ensino. Embora essas abordagens incorporem princípios da TAS de David Ausubel, que será o foco nesse trabalho, elas também podem se beneficiar de outras teorias pedagógicas e práticas de ensino,

especialmente aquelas que reconhecem a importância do envolvimento ativo do aluno no processo de aprendizagem.

Nesta teoria, o aprendizado deve começar pelo aluno, que deve estar imerso de forma ativa junto com seu professor no processo de aprendizagem. Para isso, é essencial realizar a coleta dos conhecimentos prévios, pois, para Ausubel, esses conhecimentos servem como ponto de ancoragem para as novas informações. Assim, as ideias já existentes na estrutura mental do aluno podem passar por um processo de ampliação e reconfiguração. Neste sentido, Masini e Moreira (2006) discutem a ocorrência da aprendizagem significativa:

[...] uma nova informação ancora-se em subsunçores relevantes pré-existentes na estrutura cognitiva de quem aprende. Ausubel vê o armazenamento de informações na mente humana como sendo altamente organizado, formando uma hierarquia conceitual na quais elementos mais específicos de conhecimento são relacionados (e assimilados) a conceitos e proposições mais gerais, mais inclusivos (Masini e Moreira, 2006, p.17).

A citação destacada reforça a importância dos subsunçores na organização do conhecimento na mente do aprendiz, ressaltando como elementos específicos de conhecimento estão interligados a conceitos mais amplos, contribuindo para a compreensão e assimilação de novas informações.

Os conhecimentos prévios podem surgir como conceitos, hipóteses, ideias ou observações feitas pelo aluno ao longo de sua trajetória educacional antes da intervenção pedagógica. Esses elementos serão colocados pelos alunos em contexto educacional durante as atividades propostas na SAI e na RE. Durante a execução dessas metodologias, os alunos terão a oportunidade de relacionar suas experiências anteriores com os novos conteúdos, permitindo uma aprendizagem mais significativa e contextualizada.

Nesse contexto, a função dos organizadores prévios em ancorar a nova aprendizagem, conforme destacado por Moreira (1999), é:

[...] servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa, ou seja, organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como "pontes cognitivas" (Moreira, 1999, p.155).

Nesse sentido, ao proporcionar um ambiente de aprendizado que valoriza e incorpora os conhecimentos prévios dos alunos, as metodologias da SAI e da RE têm o potencial de criar uma conexão mais direta e relevante entre o que os alunos já sabem e o que estão aprendendo.

Essa integração entre experiências passadas e novos conteúdos não apenas fortalece o processo de assimilação de informações, mas também estimula a participação ativa dos

alunos, tornando a aprendizagem mais envolvente e significativa. Assim, os organizadores prévios funcionam como ferramentas essenciais para estabelecer essa ponte cognitiva entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento, contribuindo para uma educação mais eficaz e centrada no aluno.

No caso específico desta SD, alguns dos conceitos que os alunos já possuem relacionados à física clássica interagem com os novos conteúdos, o que serve de base para atribuir novos significados, tornando-se assim uma mudança progressiva. Essa mudança, denominada por Ausubel como diferenciação progressiva, aprimora um ou vários subsunçores, tornando-os mais elaborados e capazes de ancorar a aquisição de novos conhecimentos. No entanto, na FMC, os assuntos abordados podem estabelecer uma ruptura com a física clássica. Nesse caso, temos a chamada reconciliação integrativa, na qual conceitos estáveis e diferenciados são relacionados a outros conceitos, permitindo que o indivíduo adquira novos significados e promova uma reorganização de sua estrutura cognitiva.

Portanto, a TAS de David Ausubel torna-se importante nessa SD, pois oferece uma estrutura teórica sólida para o desenvolvimento de práticas de ensino que visam tornar os conteúdos mais significativos e contextualizados para os alunos. Isso implica na valorização dos conhecimentos prévios dos alunos, na construção de significados para uma compreensão mais profunda e duradoura dos conceitos de FMC, na possibilidade de os alunos construírem significados a partir de suas próprias experiências e conhecimentos prévios, e na ênfase dada à compreensão dos princípios fundamentais da física e sua aplicação no mundo real.

## **2.2 Fundamentação para o uso da estratégia de ensino**

Introduzir uma nova estratégia de ensino em sala de aula exige não apenas compreensão, mas também uma base sólida que justifique sua adoção. No entanto, frequentemente nos deparamos com desafios estruturais e culturais que dificultam a implementação eficaz de mudanças significativas no sistema educacional. Como mencionado por Moreira (2017), a formação de professores enfrenta obstáculos substanciais, com ênfase excessiva em publicações acadêmicas e métodos tradicionais de ensino, resultando em aprendizagem mecânica e altas taxas de reprovação. É evidente que essa abordagem está desatualizada e inadequada para atender às demandas do ensino contemporâneo, especialmente no que diz respeito a disciplinas complexas como a Física, onde a compreensão profunda e significativa dos conceitos é essencial.

Ao considerarmos a utilização da estratégia de EH, é crucial reconhecer a necessidade de uma abordagem mais completa e integrada na formação de professores. Isso implica que o

professor não deve apenas fornecer conhecimento teórico aos alunos, mas também desenvolver suas habilidades e promover uma compreensão mais aprofundada dos conteúdos, especialmente aqueles relacionados a tópicos de FMC.

Assim, ao adotarmos uma abordagem híbrida, que integre tanto elementos presenciais quanto virtuais, podemos criar um ambiente de aprendizagem dinâmico e interativo. Ao inserirmos elementos como TDICs, aspectos epistemológicos, históricos, sociais e culturais no ensino da Física, podemos proporcionar uma educação significativa e relevante, preparando os alunos para os desafios do mundo real e inspirando-os a explorar e compreender os fenômenos físicos ao seu redor. Neste contexto, Moran (2015) argumenta que:

O que a tecnologia traz hoje é a integração de todos os espaços e tempos. O ensinar e aprender acontece numa interligação simbiótica, profunda, constante entre o que chamamos mundo físico e mundo digital. Não são dois mundos ou espaços, mas um espaço estendido, uma sala de aula ampliada, que se mescla, hibridiza constantemente. Por isso a educação formal é cada vez mais *blended*, misturada, híbrida, porque não acontece só no espaço físico da sala de aula, mas nos múltiplos espaços do cotidiano, que incluem os digitais. O professor precisa seguir comunicando-se face a face com os alunos, mas também digitalmente, com as tecnologias móveis, equilibrando a interação com todos e com cada um (Moran, 2015, p. 16).

O EH representa uma alternativa ao ensino massificado, permitindo que os professores incorporem tecnologias digitais de forma personalizada, adaptando-se às necessidades individuais de cada aluno e ao seu ritmo de aprendizado.

Sendo assim, a seguir exploraremos os fundamentos que embasam a utilização da estratégia de EH.

### 2.2.1 Definindo o ensino híbrido

O ensino híbrido (EH) pode ser definido como uma combinação entre aulas expositivas tradicionais e atividades online, proporcionando aos alunos uma alternância de momentos em suas práticas escolares. Nesse modelo, o professor atua como tutor e orientador, equilibrando essa mistura e incentivando o protagonismo dos alunos em seu próprio processo de aprendizagem.

Neste sentido, Bacich *et al.* nos fazem compreender o EH como:

[...] uma abordagem pedagógica que combina atividades presenciais e atividades realizadas por meio das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs). Existem diferentes propostas de como combinar essas atividades, porém, na essência, a estratégia consiste em colocar o foco do processo de aprendizagem no aluno e não mais na transmissão de informação que o professor tradicionalmente realiza. De acordo com essa abordagem, o conteúdo e as instruções sobre um determinado assunto curricular não são transmitidos pelo professor em sala de aula.

O aluno estuda o material em diferentes situações e ambientes, e a sala de aula passa a ser o lugar de aprender ativamente, realizando atividades de resolução de problemas ou projeto, discussões, laboratórios, entre outros, com o apoio do professor e colaborativamente com os colegas (Bacich, Tanzi Neto e Trevisani, 2015, p. 14).

Essa metodologia tem como objetivo dinamizar as aulas, proporcionando aos alunos uma aprendizagem personalizada e motivadora por meio de mudanças em sua rotina de estudos.

Com uma abordagem semelhante, o *Christensen Institute*<sup>1</sup>, cuja a missão é aplicar as teorias de inovação disruptiva do professor Clayton M. Christensen da Harvard Business School, caracteriza o EH como um modelo educacional formal que integra dois ambientes distintos: a sala de aula convencional e um ambiente virtual que permite que os alunos progridam em seu próprio ritmo. No entanto, essa jornada em ambiente virtual é supervisionada e monitorada pelo professor.

Assim, durante os momentos presenciais, os alunos participam de atividades propostas pelo professor, promovendo interações interpessoais entre pares ou em grupos.

Por outro lado, nos momentos virtuais, utilizando recursos digitais, os alunos estudam de forma autônoma, escolhendo o melhor horário, ambiente e momento para realizar suas atividades escolares. Contudo, contam com a tutoria ou supervisão de um professor para orientação e esclarecimento de dúvidas que possam surgir durante esse processo.

A incorporação das tecnologias como recursos de ensino permanece em constante evolução e, em muitos casos, é subestimada ou ignorada pelas instituições educacionais. De acordo com Lima e Moura (2015), apesar da variedade de recursos multimídia disponíveis, houve poucas mudanças significativas nas metodologias utilizadas em sala de aula, avaliação e orientação no ensino ao longo das últimas décadas.

Bacich *et al.* (2015) observam que as tecnologias digitais estão cada vez mais presentes nas escolas e que há uma mudança perceptível na atitude dos professores. No entanto, os autores destacam a importância de desenvolver modelos de planejamento educacional integrados com as tecnologias atuais, que promovam a autonomia dos alunos e não se limitem apenas a fornecer acesso à informação.

Nesse contexto, Zaqueu *et al.* ressaltam que:

[...] devido às mudanças na sociedade, o ensino deve ir ao encontro delas e, ao mesmo tempo, os professores precisam buscar articulações que agreguem em suas práticas pedagógicas meios que potencializam a formação de um aluno

---

<sup>1</sup> *Christensen Institute*. Disponível em: <<https://www.christenseninstitute.org>>. Acesso em fev. 2024.

que busque conhecimento, compartilhe suas experiências e crie uma visão crítica do mundo que o cerca (Zaqueu, Daniel e Valério Netto, 2013, p. 271).

Em suma, o EH representa uma abordagem pedagógica que busca integrar atividades presenciais e online, colocando o aluno no centro do processo de aprendizagem. Através dessa metodologia, as aulas se tornam mais dinâmicas e personalizadas, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades autônomas e colaborativas. Tanto Zaqueu *et al.* (2013), Bacich *et al.* (2015) quanto o *Christensen Institute* destacam a importância de uma mudança na postura dos professores e na incorporação efetiva das tecnologias digitais no ambiente educacional, visando não apenas proporcionar acesso à informação, mas também promover a autonomia e o protagonismo dos estudantes em seu próprio desenvolvimento educacional.

### 2.2.2 Modelos de ensino híbrido

Através dos estudos desenvolvidos por Horn e Staker (2012) sobre o sistema de ensino K–12 americano, estes classificaram os modelos de EH que encontraram no referido sistema.

No primeiro modelo de trabalho híbrido, delineado pelos referidos autores, não há um afastamento total das práticas da sala de aula tradicional, sendo ele nomeado de Modelo de Rotação. Este é considerado um modelo sustentado, justamente por possuir várias características da educação tradicional e é composto por algumas subdivisões, sendo elas, descritas no Quadro 3.

Quadro 1 - Subdivisões que compõem o Modelo de Rotação no EH, segundo Horn e Staker (2015).

SUBDIVISÕES	DESCRIÇÃO
Rotação por Estações	O espaço escolar é dividido em estações e os alunos revezam/rotacionam, passando por cada uma delas.
Laboratório Rotacional	Os alunos rotacionam entre dois espaços, a sala de aula e um laboratório com equipamentos de informática para o ensino online.
Sala de Aula Invertida	Os alunos rotacionam entre a prática presencial na escola e momentos de aplicação de conteúdo e lições online pelo professor, que podem ser acessados fora do ambiente escolar.
Rotação Individual	Neste modelo de rotação cada aluno tem um roteiro individualizado, pensado nas suas dificuldades e necessidades, sendo assim, ele pode acabar não participando de todas as estações disponíveis.

Fonte: Horn e Staker (2015)

O segundo modelo de trabalho híbrido tem como característica principal o distanciamento das práticas tradicionais de ensino e da educação normativa, sendo chamado de modelo disruptivo. Ele foi delineado por Horn e Staker (2015) e apresenta diferentes variações, como os modelos Flex, À La Carte e Virtual Enriquecido, conforme indicado no Quadro 2.



Quadro 2 - Modelos de EH disruptivos, que se distanciam das práticas tradicionais de ensino, segundo Horn e Staker (2015).

MODELOS DE ENSINO HÍBRIDO DISRUPTIVOS	DESCRIÇÃO
Flex	Os alunos aprendem por meio de um cronograma ou roteiro personalizado entregue por uma plataforma de aprendizagem online. Eles realizam suas atividades individualmente, contando também com a disponibilidade de um professor ou tutor para auxiliá-los, caso necessário.
À la carte	Os alunos são responsáveis pela organização de seus estudos dentro da disciplina e realizam o curso inteiramente online. Eles também têm autonomia para escolher disciplinas eletivas de sua preferência, sem que isso interfira no andamento das disciplinas obrigatórias.
Virtual enriquecido	Os alunos devem participar de sessões de aprendizado presenciais obrigatórias, durante as quais serão realizados projetos, debates ou discussões sobre os assuntos estudados. No entanto, o restante do trabalho pode ser realizado online, de onde preferirem.

Fonte: Horn e Staker (2015)

Na Figura 1, apresentada abaixo, temos a representação esquemática que resume a organização estrutural dos modelos de EH, de acordo com os estudos de Horn e Staker.

Figura 1 - Representação esquemática dos modelos de EH descritos por Horn e Staker (2015).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).<sup>2</sup>

Em resumo, o EH surge como uma resposta dinâmica e adaptativa às demandas contemporâneas da educação. Por meio da combinação inteligente de atividades presenciais e online, esse modelo pedagógico busca promover uma aprendizagem mais personalizada e significativa para os alunos.

A diversidade de abordagens e modelos descritos por Bacich *et al.* e Horn e Staker oferece uma variedade de opções para educadores e instituições de ensino, permitindo a adaptação

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://abre.ai/iYcs>>. Acesso em fev. 2024.

do EH a diferentes contextos e necessidades educacionais. A compreensão desses modelos e sua aplicação prática podem contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do ensino e para o engajamento dos alunos no processo de aprendizagem.

Dessa forma, ao adotar uma abordagem híbrida, as instituições educacionais têm a oportunidade de criar ambientes de aprendizagem mais flexíveis, inclusivos e inovadores.

### 2.2.3 Metodologias ativas escolhidas

Analisando as metodologias ativas disponíveis na literatura, optou-se pela RE e SAI, as quais potencializam a pesquisa. Essas metodologias favorecem a aplicação do produto de forma simultânea no ambiente virtual e presencial, proporcionando maior interação entre alunos, professor e o conteúdo a ser trabalhado.

Assim, para estruturar as ações diante do cenário das escolas públicas no estado do Espírito Santo, foram listadas e descritas as duas metodologias ativas escolhidas para serem utilizadas simultaneamente na intervenção didática, a saber:

- a Rotação por Estações (RE), modelo de trabalho rotacional de EH trazido por Horn e Staker (2012);
- a Sala de Aula Invertida (SAI), que tem Bergmann e Sams (2012) como divulgadores importantes.

Na intervenção didática realizada, a adoção dessas metodologias ativas visa proporcionar não apenas uma experiência de aprendizado mais dinâmica e participativa, mas também enfrentar os desafios específicos do contexto das escolas públicas no estado do Espírito Santo. Como mencionado por Bacich *et al.* (2015), o espaço escolar historicamente moldou o tipo de ensino praticado, influenciando tanto as interações entre alunos, professor e conteúdo educacional quanto as práticas de avaliação e organização da sala de aula.

Além disso, segundo os referidos autores, a combinação da RE e da SAI permite atender às demandas do EH, promovendo uma maior interatividade entre alunos, professores e o conteúdo educacional.

Nesse sentido, espera-se que essa abordagem contribua não apenas para responder à pergunta de pesquisa, mas também para o avanço da prática pedagógica no contexto escolar. O uso dessas metodologias ativas não apenas representa uma inovação na abordagem de ensino, mas também visa preparar os alunos para os desafios do século XXI, onde a

capacidade de aprender de forma autônoma e colaborativa é fundamental. Como é colocado por Souza e Andrade (2016):

O aumento das oportunidades do professor de trabalhar com o ensino e aprendizado de grupos menores de estudantes; o aumento das oportunidades para que os professores forneçam feedbacks em tempo útil; oportunidade dos estudantes aprenderem tanto de forma individual quanto colaborativa; e, por fim, o acesso a diversos recursos tecnológicos que possam permitir, tanto para professores como para os alunos, novas formas de ensinar e aprender (Souza e Andrade, 2016, p. 8).

A partir deste momento, prosseguir-se-á com a descrição individual de cada uma das metodologias selecionadas.

#### 2.2.3.1 Rotação por estações

O modelo de Rotação por Estações (RE) é uma abordagem pedagógica que tem sido amplamente adotada por professores que buscam reestruturar a interação aluno-professor no ambiente escolar.

Neste modelo, os alunos são organizados em grupos e revezam a realização das atividades conforme os comandos e orientações atribuídas pelo professor. Bacich *et al.* (2015) ainda destacam que as atividades realizadas podem incluir momentos de discussão em grupo, leitura, produção textual, vídeos, entre outras. Um dos grupos deve estar envolvido com uma proposta de atividade online que independe do acompanhamento direto do professor, enquanto o outro grupo recebe a presença do professor, que acompanha e dá o suporte necessário aos alunos que necessitam de mais atenção no processo de aprendizagem.

Após decorrido o tempo estabelecido pelo professor, os alunos trocam de grupo, e esse revezamento se mantém até que todos os grupos passem por todas as atividades e estações propostas pelo professor.

Em suma, o modelo de RE oferece uma dinâmica de ensino que promove a participação ativa dos alunos e permite uma abordagem mais individualizada da aprendizagem. A alternância entre atividades online e presenciais, combinada com a orientação direta do professor, contribui para um ambiente de aprendizado mais rico e engajador, beneficiando o desenvolvimento acadêmico e pessoal dos estudantes.

#### 2.2.3.2 Sala de aula invertida

A Sala de aula Invertida (SAI), também conhecida como *Flipped Classroom*, é uma metodologia na qual o estudante aprende por meio da integração de momentos síncronos, em que as aulas ocorrem em tempo real, e assíncronos, em que as aulas são realizadas sem a necessidade de interação presencial.

Diferente do formato convencional de aulas, onde o conteúdo é apresentado em sala de aula, os estudantes têm acesso inicial ao material em casa por meio de vídeos, textos ou recursos online preparados e disponibilizados previamente pelo professor. Durante as aulas, “os alunos são incentivados a trabalhar colaborativamente entre si, contando com a ajuda do professor para realizar tarefas associadas à resolução de problemas, entre outras” (Oliveira, Araújo e Veit, 2016, p. 5).

Bacich *et al.* (2015) em seu livro afirmam que, para esse modelo:

[...] a teoria é estudada em casa, no formato on-line, e o espaço da sala de aula é utilizado para discussões, resolução de atividades, entre outras propostas. O que era feito em classe (explicação do conteúdo) agora é feito em casa, e o que era feito em casa (aplicação, atividades sobre o conteúdo) agora é feito em sala de aula (Bacich, Tanzi Neto e Trevisani, 2015, p. 79).

Portanto, compreende-se que haverá mais tempo livre em sala de aula, permitindo que o professor se concentre mais nas dúvidas dos alunos sobre os conceitos não compreendidos, promova discussões sobre o tema trabalhado, realize atividades práticas e busque promover o protagonismo dos alunos. Conforme destacado por Oliveira *et al.* (2016, p. 6), “o professor passa a se preocupar menos com a exposição do conteúdo e mais com as atividades que os alunos realizarão para construir seus conhecimentos”.

As tecnologias atuais permitem que o professor acompanhe remotamente os estudos realizados pelos alunos, o que possibilita o monitoramento e fornecimento de *feedbacks* para maximizar as vantagens da metodologia SAI. Essa orientação prévia e acompanhada capacita o educador a identificar as dificuldades individuais dos alunos durante as aulas, personalizar o conteúdo e desenvolver estratégias futuras para facilitar a aprendizagem. Dessa forma, ocorre uma mudança no foco do professor para o aluno e para o processo de aprendizagem, pois, como observado por Bergmann e Sams (2012, p. 6), “a inversão da sala de aula estabelece um referencial que oferece aos alunos uma educação personalizada, adaptada às suas necessidades individuais”.

Assim, na abordagem de Aprendizagem Invertida (SAI), o professor utiliza as informações coletadas a partir do monitoramento e avaliação das atividades online disponibilizados anteriormente para personalizar o conteúdo de suas aulas presenciais. Vale ressaltar que a implementação da SAI não segue um modelo único e pode ser adaptada de acordo com as

características específicas da instituição de ensino e da comunidade acadêmica (Bergmann e Sams, 2012). No entanto, é fundamental que os encontros presenciais sejam estruturados com base no estudo prévio realizado pelos alunos em casa, destacando a importância da preparação antecipada e da continuidade do aprendizado (Oliveira, Araujo e Veit, 2016).

Schmitz (2016) propõe um método estruturado para o planejamento da SAI, que se divide em três fases: antes, durante e após a aula presencial. Inicialmente, o professor prepara o material didático, que pode incluir textos, notas de aula, vídeos e outros recursos. Em seguida, esse material é compartilhado com os alunos, que são responsáveis por acessá-lo e realizar as leituras e análises necessárias. Durante as aulas presenciais, o foco está na realização de atividades práticas e na exploração mais aprofundada do conteúdo estudado. Por fim, o professor pode propor novas tarefas, revisar o material inicial ou sugerir atividades de revisão para serem realizadas após a aula.

De acordo com Bishop (2013), a metodologia SAI incorpora elementos do behaviorismo em momentos instrucionais que ocorrem fora da sala de aula, nos quais são exigidas habilidades cognitivas de menor complexidade. Durante as aulas presenciais, são abordados os níveis cognitivos mais complexos, seguindo abordagens construtivistas. Nesse contexto, é enfatizada a realização de atividades práticas que envolvam os alunos de forma ativa, como a resolução de questões, a condução de experimentos, discussões e aprofundamento do conteúdo.

Schmitz (2016) também enfatiza a possibilidade de integração da SAI com outras metodologias ativas, além de destacar a combinação dos momentos antes e durante a aula com o suporte das TDICs, o que dinamiza ainda mais o processo educacional.

Para concluir, vale ressaltar que a implementação da SAI não apenas reorganiza a dinâmica tradicional de ensino, mas também oferece oportunidades valiosas para o aprofundamento do aprendizado e o desenvolvimento de habilidades essenciais. Ao deslocar a transmissão de conteúdo para fora da sala de aula e reservar o tempo presencial para interações mais significativas, essa metodologia promove uma abordagem mais ativa e engajadora, favorecendo o crescimento acadêmico e pessoal dos alunos.



### 3 A sequência didática

A presente proposta de trabalho tem como objetivo o ensino do efeito fotoelétrico, utilizando o funcionamento de dispositivos eletrônicos como ferramenta motivadora. Para tanto, estruturou-se a construção dessa proposta com base nas orientações de Horn e Staker (2012) e Bergmann e Sams (2012). A ênfase do conteúdo recaiu na problematização do avanço das teorias sobre a luz, as quais foram influenciadas por diversos fatores históricos geralmente pouco discutidos em livros didáticos, os quais, muitas vezes, priorizam critérios meramente técnico-científicos. Com esse propósito, o produto pedagógico foi organizado em sete encontros, conforme o Quadro 3 apresentado abaixo.

Quadro 3 - Resumo das atividades da Sequência Didática sobre o efeito fotoelétrico e a natureza da luz.

ENCONTRO	TEMPO DE AULA (MIN)	DESCRIÇÃO/ OBJETIVOS	CONTEÚDO	ATIVIDADE E RECURSO
1	50	Apresentar as principais tecnologias baseadas no efeito fotoelétrico presentes no cotidiano do aluno.	Efeito fotoelétrico	Sala de aula invertida utilizando texto e questionário conceitual.
2	50	Compreender aspectos referentes à natureza da luz.	Natureza corpuscular da luz, tempo de retardo, limiar de frequência.	Atividades em grupo diversificadas/rotações por estações (leitura de texto, simulação computacional, atividade computacional com o ChatGPT e vídeo com questionário).
3	50	Compreender o espectro eletromagnético e introduzir a discussão do efeito fotoelétrico.	Espectro eletromagnético	Sala de aula invertida utilizando texto e questionário conceitual.
4	50	Determinar os fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico.	Potencial de corte, etc...	Atividades em grupo diversificadas/rotações por estações (leitura de textos, simulação computacional, atividade computacional com o ChatGPT e prática experimental roteirizada).
5	50	Determinar a relação entre luz incidente e a ocorrência do efeito fotoelétrico.	Equação de Einstein para o efeito fotoelétrico.	Sala de aula invertida utilizando texto e questionário conceitual.
6	50	Compreender o funcionamento dos aparelhos	Efeito fotoelétrico	Atividades em grupo diversificadas/rotações por estações (leitura de textos,

		apresentados anteriormente.		simulação computacional, atividade computacional com o ChatGPT e prática experimental roteirizada).
7	50	Ampliar a percepção dos alunos quanto a natureza quântica da luz.	O que é a luz afinal?	Sala de aula invertida utilizando texto e questionário conceitual.

Fonte: Autor (2024)

Em linhas gerais, o esquema acima ilustra a sequência programática da estratégia didática executada, a qual foi organizada conforme os protocolos discutidos na metodologia adotada. As atividades propostas foram numeradas no Quadro 3 para melhor delinear os objetivos de cada etapa da SD. É fundamental ressaltar que o professor deve criar um ambiente que estimule a participação dos alunos, permitindo que se sintam à vontade para discutir e formular hipóteses sem receio de cometer erros.

Essa SD pode ser aplicada em diferentes contextos escolares, contudo, é crucial adaptá-la à realidade de cada professor.

### 3.2 Encontro 1 – A influência do efeito fotoelétrico no nosso cotidiano

Este encontro tem como objetivo principal proporcionar uma introdução abrangente ao efeito fotoelétrico e verificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o funcionamento de dispositivos eletroeletrônicos que se baseiam nesse fenômeno. Além disso, busca-se estimular a reflexão dos alunos sobre a aplicação prática do efeito fotoelétrico em suas vidas cotidianas, incentivando a participação ativa dos estudantes na discussão e no processo de aprendizagem.

Para tanto, sugere-se que esse encontro seja desenvolvido por meio da metodologia ativa da SAI, envolvendo momentos assíncrono e síncrono.

Para o momento assíncrono, o professor deve disponibilizar aos alunos o texto abaixo por meio de alguma plataforma de aprendizagem online, como o Google Sala de Aula, o Moodle ou qualquer outra plataforma oferecida pela instituição de ensino.

É importante que o professor utilize a função de lembretes na plataforma para que os alunos sejam notificados da disponibilização e da pendência da tarefa, quando disponível pela plataforma de aprendizagem online escolhida.



Caso algum aluno não tenha acesso à plataforma de aprendizagem online fora do ambiente escolar, o professor poderá imprimir o material e entregá-lo para que o aluno possa realizar o momento assíncrono.

## Texto

### A Influência do Efeito Fotoelétrico no Nosso Cotidiano

Você já deve ter percebido que as luzes presentes nos postes de iluminação pública acendem ao anoitecer e apagam ao amanhecer de forma automática. Da mesma forma, quando você realiza suas compras em um supermercado, o atendente passa o código de barras dos produtos pelo leitor óptico presente no caixa, o que permite a identificação dos produtos. Além disso, ao se aproximar das portas do shopping, elas se abrem automaticamente, não é mesmo?

Esses são alguns exemplos simples do nosso cotidiano nos quais os processos e procedimentos são facilitados por meio da automação. São acontecimentos tão comuns em nosso dia a dia que acabam passando despercebidos. No entanto, você já parou para pensar no que está por trás disso? Quais são os fenômenos presentes nesses processos de automação? Qual é a física que sustenta os componentes responsáveis por possibilitar a automação desses processos?

O fenômeno que está presente nas situações citadas anteriormente, e que muitos desconhecem, é o efeito fotoelétrico. Essa descoberta, feita no século XIX, possui diversas aplicações e está presente até hoje em diversos equipamentos eletroeletrônicos e processos tecnológicos que proporcionam a comodidade que desfrutamos.

A primeira observação desse fenômeno foi feita pelo físico russo Alexander Stoletov em 1872. Ao retirar o ar de um pequeno frasco que continha duas placas metálicas, isoladas eletricamente uma da outra e ligadas a uma bateria, ele detectou o surgimento de uma pequena corrente elétrica quando uma das placas era atingida pela luz de uma lâmpada de mercúrio. Além disso, percebeu que essa corrente elétrica deixava de existir quando a placa não era mais iluminada pela luz de mercúrio.

Heinrich Hertz não poderia imaginar que constataria um efeito tão importante derivado da tentativa de demonstrar a existência das ondas eletromagnéticas, isso por volta de 1887. Durante suas experimentações, Hertz produzia descargas elétricas entre dois eletrodos. Foi nesse contexto que ele percebeu que, ao iluminar o cátodo, ele era capaz de produzir descargas elétricas mais intensas. Foi então que ele descobriu que certos metais emitiam elétrons quando expostos à luz, que é o efeito fotoelétrico.

Desde o século XIX até os dias atuais, diversos outros cientistas continuaram estudando o efeito fotoelétrico para compreendê-lo e torná-lo aplicável em diversos processos tecnológicos e de automação que temos hoje.

Agora é com você! Acesse o formulário que foi disponibilizado juntamente com este texto. Ele é composto por apenas duas questões curtas que têm como objetivo verificar se você, aluno, consegue identificar situações em que o efeito fotoelétrico está presente em seu dia a dia.

No momento assíncrono, além deste texto, o professor deve disponibilizar o questionário a seguir. Isso possibilitará a captura das informações pertinentes ao tema abordado no texto, que é o principal objetivo desta aula.

## Atividade

### A Influência do Efeito Fotoelétrico no Nosso Cotidiano

1 - Além das situações descritas no texto, em quais outras situações do seu cotidiano você acredita que o efeito fotoelétrico esteja presente?

Anote aqui a sua resposta:

2 - Levando em consideração os eletrodomésticos e as tecnologias presentes em sua residência, você acredita que o funcionamento de algum deles ocorre devido ao efeito fotoelétrico? Quais seriam esses equipamentos?

Anote aqui a sua resposta:

É imprescindível que o professor obtenha as respostas de todos os alunos dentro de um intervalo mínimo de 24 horas antes do encontro síncrono, o qual deve ser programado e comunicado aos alunos. Isso permitirá uma análise das respostas e facilitará o encontro síncrono.

Para o momento síncrono, sugere-se que o professor promova um diálogo com os alunos para compreender melhor se houve uma associação correta do efeito fotoelétrico com os dispositivos presentes em seu cotidiano e se eles conseguiram identificar em qual parte desses equipamentos esse fenômeno estava presente. Esse diálogo deve ser embasado nas respostas que os alunos forneceram ao questionário aplicado no momento assíncrono.

### 3.3 Encontro 2 – A natureza corpuscular da luz, tempo de retardo e limiar de frequência

Esse encontro tem como objetivo principal proporcionar aos alunos uma compreensão mais aprofundada dos conceitos relacionados à natureza corpuscular da luz, tempo de retardo e limiar de frequência.

Para isso, sugere-se que esse encontro seja desenvolvido por meio da utilização da metodologia de RE, que permite uma abordagem mais dinâmica e participativa. Nessa abordagem, os alunos têm a oportunidade de explorar diferentes aspectos dos conceitos abordados em cada estação.

A turma deve ser dividida em quatro grupos, os quais serão direcionados para cada uma das estações estabelecidas pelo professor. O professor deve deixar claro que cada grupo terá, em média, 20 minutos para realizar as atividades propostas em cada estação. Ao final desse tempo, os grupos devem rotacionar entre as estações.

Dessa forma, os alunos podem interagir ativamente com os materiais e atividades propostas, promovendo uma aprendizagem significativa e contextualizada.

A seguir, serão abordadas as propostas para cada uma das estações.

### 3.3.1 Estação 1 – Das antigas teorias gregas à revolução científica moderna

Nesta estação, os alunos serão apresentados a um texto para leitura, seguido de quatro perguntas conforme mostrado a seguir. O texto aborda a evolução do estudo da luz ao longo da história, desde a Grécia Clássica até os avanços científicos mais contemporâneos.

Ele destaca como o interesse pela natureza da luz foi influenciado por diversas correntes de pensamento, como a filosofia, a matemática e a física, mencionando figuras importantes nesse desenvolvimento, como Euclides de Alexandria, Isaac Newton, Christiaan Huygens e Albert Einstein.

Além disso, discute as diferentes teorias propostas sobre a natureza da luz, incluindo abordagens corpusculares e ondulatórias. O texto também explora experimentos-chave que ajudaram a moldar nossa compreensão atual da luz, como os realizados por Newton com prismas e por Einstein com o efeito fotoelétrico.

## Estação 1 – Natureza corpuscular da luz

### Desvendando a jornada da luz: das antigas teorias gregas à revolução científica moderna!

Na magnífica era da Grécia Clássica, o interesse pela natureza da luz não brilhava tão intensamente como o interesse pela matéria e sua composição. No entanto, a Óptica desse período emergiu da fusão de curiosidades diversas: a busca fisiológica, os enigmas físico-filosóficos e o encanto matemático.

Imagine a primeira semente da Oftalmologia nascendo. Naquela época, a cura da cegueira e das aflições oculares impulsionava a exploração da visão humana. Na busca de respostas, o interesse físico-filosófico mergulhava em questões epistemológicas e psicológicas, desvendando as raízes da visão. Por fim, o interesse matemático empregava a Geometria como ferramenta, desvendando os segredos da percepção espacial.

Viaje para o período pré-socrático, onde duas correntes dominavam. Os pitagóricos ousadamente afirmavam que os olhos lançavam um feixe de luz ou fogo nos objetos, uma ideia que ecoaria na teoria platônica. Os atomistas, por sua vez, viajavam na corrente oposta, alegando que os olhos acolhiam passivamente eflúvios ou imagens dos objetos. Empédocles, contudo, flertava com a ideia de luz como uma corrente contínua, e até os estóicos entoavam o cântico das ondas.

Enquanto a especulação filosófica brilhava, um nome se destacava: Euclides de Alexandria. Ele desceu à cena com uma primeira teoria matemática da visão, abraçando a tradição platônica e cunhando uma fundamentação geométrica na Óptica. Sem se distrair com a causa primordial ou a curiosidade fisiológica, ele destilou a essência observável em formas geométricas, como um alquimista da luz.

A marcha da Física geométrica floresceu com Euclides, indo além de Platão. Mais tarde, a contribuição de Descartes, Galileu e Newton marcaria páginas na história da geometrização física. A ascensão da teoria de Newton em relação à natureza material da luz, sustentada por sua estatura na comunidade científica, ecoaria por gerações.

A tapeçaria da Óptica se tecia: Huyghens e Newton competiam em seus modelos corpusculares e ondulatórios. Com base em suas heranças gregas, Newton lançava partículas de luz, enquanto Huyghens desenhava ondas de luminescência. Uma batalha de ideias iluminava o cenário científico do século XVII.

Neste cenário Newton propôs, de maneira implícita e argumentativa por meio de seus experimentos meticulosos, que a natureza física da luz era material, ou seja, a luz era constituída por partículas (ou corpúsculos) energéticas que emergiam de suas fontes luminosas. Seu modelo também considerava que a propagação da luz era retilínea, devido ao fato de as partículas que compõem a luz possuírem massa muito pequena e por se propagarem rapidamente. Sua teoria foi igualmente capaz de explicar diversos fenômenos ópticos, como a reflexão e a refração, que foram descobertos nessa época.

Adentremos no intrigante debate sobre a verdadeira essência da luz, um embate que percorreu os séculos e convocou para a arena mentes notáveis como Isaac Newton, Jean Baptiste Biot, Roger Joseph Boscovich e Laplace, defensores fervorosos da visão corpuscular, e aqueles que, de formas diversas, recusavam-se a abraçar o vácuo conceitual, como Robert Hooke, Christiaan Huygens, Thomas Young, Augustin Jean Fresnel, Armand Hyppolyte Louis Fizeau e Jean Baptiste Leon Foucault, proponentes entusiásticos da perspectiva ondulatória.

Apesar de Isaac Newton não ter lançado uma opinião definitiva sobre a natureza intrínseca da luz, e mesmo com todos os nomes citados compartilhando uma inclinação pelo mecanicismo, emerge como o confronto entre Newton e Huygens a batalha que ganhou renome. Nesse campo, entrelaçaram-se duas questões basilares. A primeira, de natureza metodológica, destaca o papel

preponderante da experimentação no paradigma newtoniano em contraste com a especulação científica de Huygens. A segunda indagava sobre a admissão ou não do vácuo e suas decorrências – como seria possível que interações à distância florescessem no vazio?

Além das grandiosas contribuições à Mecânica e à Gravitação, Newton também se ergue como figura chave no desenvolvimento experimental e teórico da Óptica. Suas habilidades singulares na confecção de instrumentos e anos de dedicação apaixonada à investigação dos fenômenos ópticos permearam sua jornada científica.

No ano de 1666, o jovem Newton engendrou um experimento de simplicidade eloquente, contudo portador de uma relevância transcendental para o entendimento da luz. Ele descreveu o procedimento nos seguintes termos: "À noite, ocupei meu quarto e, por meio de uma abertura reduzida na cortina, admiti um influxo solar suficiente. Coloquei, então, um prisma próximo à abertura, permitindo que a luz refratasse na parede oposta."

Os frutos desse experimento são hoje amplamente conhecidos: a luz solar se fragmenta em um arco-íris de cores. E, ao submeter a luz refratada a um segundo prisma, Newton foi capaz de restaurar o branco original. Sua interpretação desse fenômeno preconizou que a luz solar se constituía de diversas cores, cada qual exibindo um índice de refração peculiar. Nessa jornada, enquanto a luz sofre duas refrações (ar para vidro e vidro para ar), cada matiz passa por alterações de direção distintas, culminando em sua separação e na dança resplandecente do espectro do arco-íris. Em consonância com a teoria ondulatória do século XIX, esse fenômeno encontra explicação ao atribuir a cada cor um comprimento de onda característico, impactando o desvio angular de cada matiz ao atravessar o prisma. Quanto menor o comprimento de onda, maior a refração.

Outra percepção crucial sobre a natureza e a propagação da luz originou-se a partir da descoberta do fenômeno chamado difração, que envolve a projeção de luz em regiões sombrias. Francesco Maria Grimaldi, físico italiano, foi o precursor desse fenômeno e deu a ele o nome "difração".

Em 1670, Huygens resgatou a visão ondulatória que Hooke havia lançado sobre a luz, dela fazendo uso para explicar não apenas os fenômenos de reflexão, mas também os de refração. Essa abordagem, que enfatiza a natureza ondulatória da luz, harmonizava-se com o afastamento da noção de vácuo, visto que, inspirando-se nas ondas sonoras, que careciam de um meio para propagar-se, reintroduziu o conceito do éter como o campo para os fenômenos luminosos.

Todavia, diante da abordagem ondulatória que a luz assumiria, surgiu uma intrigante interrogação: por que a luz não se curvaria ao encontrar obstáculos, como as ondas tranquilas em um lago? Em outras palavras, por que o fenômeno da difração, em que a luz contornaria bordas, permanecia ausente? Esse questionamento, somado à sólida estatura científica de Newton, resultou na hesitação em abraçar prontamente a hipótese ondulatória. Somente mais tarde, por meio dos experimentos de Young e Fresnel sobre interferência e difração da luz, aliados a medições da velocidade de propagação da luz por Foucault em líquidos, entre outras contribuições, a concepção ondulatória da luz alcançou uma autoridade inabalável.

Apesar das nuances nas concepções do espaço e da luz, havia um consenso entre Newton, Huygens e seus contemporâneos: a busca pela explicação da propagação da luz deveria ser forjada através do molde mecânico.

Somente em 1905, Einstein trouxe uma inovação revolucionária ao falar sobre a luz. Segundo sua ideia, a luz de uma única cor era como uma sinfonia de pequenas unidades de energia, onde a quantidade de energia estava relacionada com a frequência da radiação emitida ou absorvida. Com ousadia, Einstein estabeleceu, pela primeira vez, a quantização da radiação do campo eletromagnético. Assim, Einstein reintroduziu a visão de que a luz consiste em minúsculas partículas, tornando-a reconhecida como um complexo feixe de partículas.

Com essa rede de conceitos, Einstein apresentou a noção de que a própria radiação consistia em pequenas unidades de energia chamadas fótons. Em outras palavras, ele descreveu a luz como tendo uma natureza composta. Foi então que Einstein desvendou os mistérios de propriedades peculiares dos metais sob a influência de luz visível e ultravioleta, como o notável efeito fotoelétrico.

O cenário do efeito fotoelétrico traz à cena elétrons que, após absorverem energia eletromagnética, emergem da superfície do metal, convertendo parte da energia radiante em um movimento cinético. Esse fenômeno foi meticulosamente explorado por Lenard em 1902 e por Millikan de 1906 a 1916.

A chave para a compreensão dessa dança eletrizante se revelou em 1899, quando Thomson, ao submeter uma superfície metálica à radiação ultravioleta dentro de um tubo de Crookes, conectou os pontos entre as partículas liberadas e os raios catódicos.

E assim, a saga da compreensão da luz transcorre, tecendo uma trama complexa de argumentos, experimentos e reviravoltas, moldando nossa visão do universo luminoso.

Além deste texto, o professor deve disponibilizar o questionário a seguir. Isso possibilitará a captura das informações pertinentes ao tema abordado no texto, que é o principal objetivo desta aula.

## Atividade

### Estação 1 – Questionário

1 - Como a compreensão da natureza da luz evoluiu ao longo do tempo, desde as teorias antigas dos gregos até a teoria quântica moderna, e quais foram os marcos cruciais nessa evolução?

Anote aqui a sua resposta:

2 - Qual foi o papel de Newton na formulação da teoria corpuscular da luz e como ele a desenvolveu por meio de experimentos específicos?

Anote aqui a sua resposta:

3 - Quais fenômenos ópticos foram abordados e explicados pela teoria corpuscular da luz de Newton, e como essa teoria proporcionou uma compreensão aprofundada desses fenômenos?

Anote aqui a sua resposta:

### 3.3.2 Estação 2 – Simulação Computacional – Natureza corpuscular da luz

Na presente estação, os alunos serão introduzidos a uma simulação computacional do “Efeito Fotoelétrico”, disponível no site PhET Colorado ([https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/)).

Essa atividade compreende instruções detalhadas para a utilização correta da simulação computacional, explorando a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz e a liberação de elétrons de uma placa metálica quando exposta à luz. Ademais, os estudantes serão incentivados a formular e verificar hipóteses durante o transcorrer da atividade.

#### Atividade

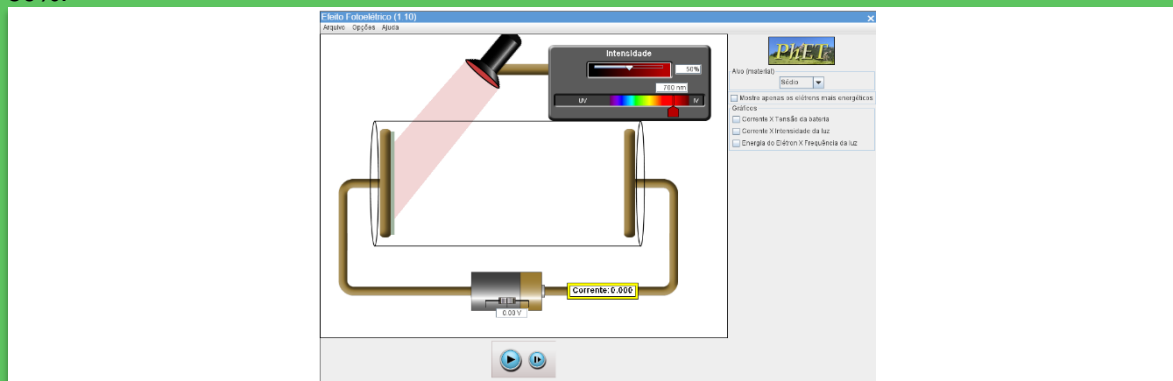
#### Estação 2 – Simulação Computacional – Natureza corpuscular da luz

Prezado aluno, nesta atividade, você utilizará a simulação “Efeito Fotoelétrico” do site PhET Colorado para compreender a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz e a liberação de elétrons de uma placa metálica quando exposta à luz. Dessa forma, será possível observar que a liberação dos elétrons não depende da intensidade da luz incidente, mas apenas da sua frequência.

#### Atividade

Inicialmente, escolha o sódio como material. Arraste o indicador da cor da luz para vermelho (700 nm) e aumente a intensidade da luz lentamente em direção a 50%. O simulador permite que nós alteremos a cor da luz incidente, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Layout da simulação computacional com luz vermelha (700 nm) e intensidade da luz em 50%.



Fonte: PhET – Physics Education Technology (2023).

1 - Formule uma hipótese sobre o que ocorrerá na situação em que o simulador está calibrado com intensidade 50% e comprimento de onda no vermelho (700 nm).

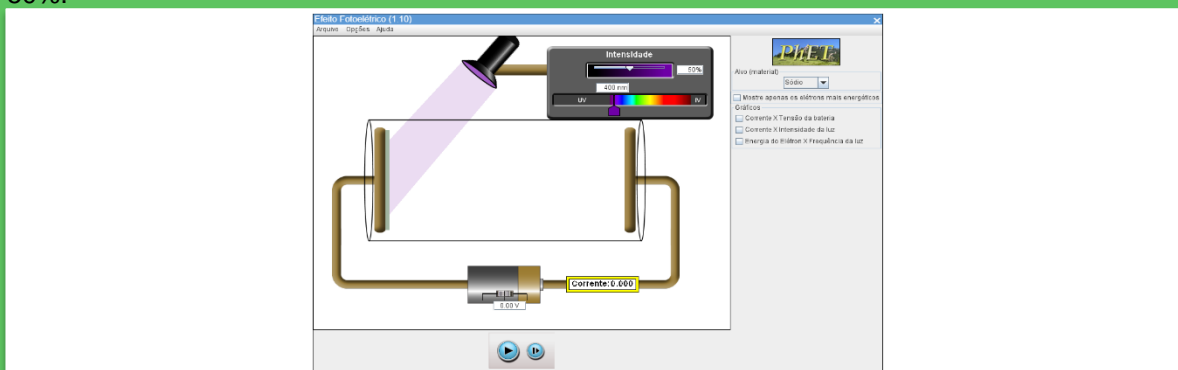
Anote aqui a sua hipótese:

2 - Agora, aperte o botão play e conte até 15 segundos. Escreva no espaço abaixo o que você está vendo. Sua hipótese foi confirmada? Caso contrário, revise sua hipótese.

Anote aqui a sua resposta:

Agora, mantendo o sódio como material. Arraste o indicador da cor da luz para ultravioleta (400 nm) e aumente a intensidade da luz lentamente em direção a 50%. O simulador permite que nós alteremos a cor da luz incidente, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Layout da simulação computacional com luz ultravioleta (400 nm) e intensidade da luz em 50%.



Fonte: PhET – Physics Education Technology (2023).

3 - Formule uma hipótese sobre o que ocorrerá na situação em que o simulador está calibrado com intensidade 50% e comprimento de onda no ultravioleta (400 nm).

Anote aqui a sua hipótese:

4 - Agora, aperte o botão play e conte até 15 segundos. Escreva no espaço abaixo o que você está vendo. Sua hipótese foi confirmada? Caso contrário, revise sua hipótese.

Anote aqui a sua resposta:

5 - Comparando as duas situações, você consegue identificar alguma diferença entre elas? Você consegue dizer quanto tempo durou entre apertar o play e o início da emissão de elétrons?

Anote aqui a sua resposta:



### 3.3.3 Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Natureza corpuscular da luz

Na presente estação, os alunos serão introduzidos a uma atividade computacional utilizando a ferramenta de inteligência artificial ChatGPT, desenvolvida pela OpenAI. O objetivo desta atividade, disponível no link <https://chat.openai.com/>, é explorar o tópico “Natureza Corpuscular da Luz” de forma interativa, estimulando a prática da pesquisa e a análise crítica. Além disso, ela permite que os alunos apliquem os conhecimentos adquiridos para responder a uma pergunta investigativa relacionada ao tema proposta na atividade.

É importante destacar que, em todas as atividades da disciplina em que a ferramenta ChatGPT da OpenAI foi utilizada, um prompt fornecido pelo professor foi construído de forma a garantir a disponibilização controlada das informações básicas necessárias para que os alunos pudessem utilizá-las como base e desenvolver a atividade proposta. Durante a criação desses prompts, foram realizados testes para verificar o desempenho da ferramenta.

Além disso, o uso do ChatGPT da OpenAI em uma das estações da RE tem como objetivo complementar as demais ferramentas utilizadas. Os alunos também terão acesso a outras estações, onde poderão comparar as respostas fornecidas pelo ChatGPT com conteúdos confiáveis e explorá-lo da melhor maneira possível. Cabe ao professor estimular os alunos a compararem as respostas fornecidas pelo ChatGPT com as informações contidas nas outras estações.

#### Atividade

##### Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Natureza corpuscular da luz

Prezados alunos, nesta atividade, vocês utilizarão o ChatGPT do site OpenAI para explorar o tópico “Natureza Corpuscular da Luz” de forma interativa. Isso estimulará a prática da pesquisa e a análise crítica, bem como permitirá que vocês apliquem os conhecimentos adquiridos para responder a uma pergunta investigativa relacionada ao tema. Além disso, essa atividade tem como objetivo incentivar vocês a compartilharem suas perspectivas e insights.

Vocês devem trabalhar em grupo para responder à pergunta investigativa proposta, que está relacionada à Natureza Corpuscular da Luz.

#### Atividade

1 - Inicialmente, acesse o site da OpenAI, faça o login e acesse o ChatGPT. Interaja com o ChatGPT escrevendo o seguinte prompt para obter informações:

*"Por favor, explique a natureza corpuscular da luz, desde Newton, Christiaan Huygens até Einstein, e forneça informações sobre como os cientistas descobriram essa característica da luz."*

Após isso, o ChatGPT irá fornecer uma resposta que você deverá apresentar no espaço abaixo.

Anote aqui a resposta fornecida pelo ChatGPT:

2 - Agora, vocês devem comparar e contrastar as informações fornecidas pelo ChatGPT com os conhecimentos que já possuem sobre o assunto e formular uma resposta para a seguinte pergunta:

Como as contribuições de Newton, Huygens e Einstein moldaram o entendimento moderno sobre a natureza da luz?

Anote aqui a sua resposta:

### 3.3.4 Estação 4 – Observação experimental do efeito fotoelétrico

Nesta estação, os alunos serão apresentados a uma atividade de observação experimental a partir de um trecho do vídeo intitulado “Experimento do Efeito Fotoelétrico”, no qual o Professor Claudio Hiroyuki Furukawa, da USP, demonstra o experimento sobre o Efeito Fotoelétrico.

O vídeo inclui alguns comandos ao longo de sua duração para orientar os alunos sobre o momento correto para formularem suas hipóteses e responderem às perguntas propostas.

O objetivo é demonstrar aos alunos a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz e a liberação de elétrons de uma placa metálica quando exposta à luz incandescente e ultravioleta.

#### Atividade

#### Estação 4 – Observação experimental

Prezado aluno, nesta atividade, você deve assistir ao vídeo “Experimento do Efeito Fotoelétrico”. Nele, o Professor Claudio Hiroyuki Furukawa, da USP, apresenta o experimento sobre o Efeito Fotoelétrico. O objetivo é compreender a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz e a liberação de elétrons de uma placa metálica quando exposta à luz. Dessa forma, será possível observar em que situação os elétrons são ejetados do material metálico.

#### Atividade

Inicialmente, abra o vídeo “[Experimento do Efeito Fotoelétrico](#)” e assista com bastante atenção. Pause o vídeo quando solicitado para responder às perguntas abaixo.

1 - Formule uma hipótese sobre o que ocorrerá na situação em que a lâmpada incandescente for acendida na frente da placa metálica carregada.

Anote aqui a sua hipótese:

Agora, retorne ao vídeo e aperte o botão play.

2 - Escreva no espaço abaixo o que você viu acontecer. Sua hipótese foi confirmada? Caso contrário, revise sua hipótese.

Anote aqui a sua resposta:

Agora, retorne ao vídeo e aperte o botão play.

3 - Formule uma hipótese sobre o que ocorrerá na situação em que a lâmpada ultravioleta for ligada na frente da placa metálica carregada.

Anote aqui a sua hipótese:

Agora, retorne ao vídeo e aperte o botão play.

4 - Escreva no espaço abaixo o que você viu acontecer. Sua hipótese foi confirmada? Caso contrário, revise sua hipótese.

Anote aqui a sua resposta:

Agora, retorne ao vídeo e aperte o botão play.

5 - Comparando as duas situações, você consegue identificar alguma diferença entre elas? Você consegue dizer quanto tempo durou entre o acendimento da lâmpada e o início da emissão de elétrons?

Anote aqui a sua resposta:

### 3.4 Encontro 3 – O espectro eletromagnético

Esse encontro tem como objetivo principal proporcionar um aprofundamento na compreensão dos alunos em relação aos conceitos do espectro eletromagnético, desde sua descoberta até suas aplicações na sociedade moderna. Para isso, sugere-se que esse encontro seja desenvolvido por meio da metodologia ativa da SAI, contando com um momento assíncrono e síncrono.

Para o momento assíncrono, o professor deve disponibilizar aos alunos o texto abaixo por meio de alguma plataforma de aprendizagem online, como o Google Sala de Aula, o Moodle ou qualquer outra plataforma oferecida pela instituição de ensino.

É importante que o professor utilize a função de lembretes na plataforma para que os alunos sejam notificados da disponibilização e pendência da tarefa, quando disponível pela plataforma de aprendizagem online escolhida.

Caso algum aluno não tenha acesso à plataforma de aprendizagem online fora do ambiente escolar, o professor poderá imprimir o material e entregá-lo para que o aluno possa realizar o momento assíncrono.

#### Texto

##### **A fascinante revelação do espectro eletromagnético: uma janela para o universo e a tecnologia**

O espectro eletromagnético, um dos pilares fundamentais da física, é uma fascinante janela para o universo que nos rodeia. Imagine um mundo onde a luz visível e outras formas de radiação são representadas por ondas que viajam pelo espaço à velocidade da luz, independentemente de um meio material. Este é o mundo das ondas eletromagnéticas.

Durante muito tempo, a luz visível era o único ator nesse espetáculo. No entanto, o primeiro vislumbre do vasto espectro ocorreu em 1800, quando William Herschel, um observador noturno incansável, realizou um experimento simples, mas revolucionário. Ele dividiu a luz solar em suas cores componentes usando um prisma e, com um termômetro cuidadosamente posicionado, descobriu algo extraordinário: uma região antes do vermelho, invisível aos nossos olhos, onde a temperatura era a mais alta. Assim nasceu o infravermelho, uma forma de radiação que se manifesta como energia térmica.

Logo após, Johann Wilhelm Ritter explorou a outra extremidade do espectro. Ele descobriu o que chamou de "raios químicos", que mais tarde seriam conhecidos como radiação ultravioleta. Esses raios compartilhavam comportamentos com os raios violeta visíveis, mas estavam além deles no espectro, escondidos aos nossos olhos, com frequências maiores. Por isso, esse componente do espectro eletromagnético passou a ser chamado de radiação ultravioleta.

A relação entre eletricidade e magnetismo, descoberta por Michael Faraday, deu uma pista importante. Faraday percebeu que a direção da polarização da luz mudava quando esta passava por um campo magnético, um fenômeno que ficou conhecido como o Efeito Faraday. Logo após, James Maxwell escreveu as famosas equações de Maxwell, que descreviam a propagação das ondas

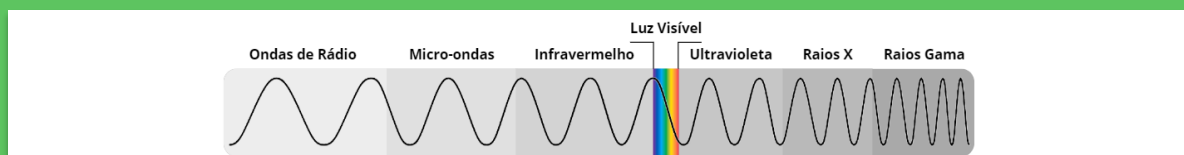
eletromagnéticas e prediziam a existência de ondas com velocidade igual à da luz. Maxwell, com sua genialidade, concluiu que a luz era apenas uma parte desse vasto espectro, composto por uma infinidade de frequências.

A busca por essas novas radiações levou Heinrich Hertz a criar um aparelho para gerar e detectar ondas de rádio em 1886, provando que essas ondas podiam ser refletidas e refratadas, como a luz. Surgia a era da comunicação sem fio.

Em 1895, Wilhelm Röntgen fez uma descoberta que revolucionária a medicina: os raios-X, capazes de penetrar o corpo humano e revelar seus segredos internos. O século 20 testemunhou a explosão de tecnologias baseadas em radiações eletromagnéticas, de raios-X a micro-ondas.

Finalmente, a descoberta dos raios gama em 1900 por Paul Villard completou o espectro eletromagnético. Inicialmente confundidos com partículas, eles foram revelados como radiação eletromagnética por William Henry Bragg em 1910. Os raios gama, devido à sua incrível frequência e energia, desempenham um papel fundamental em nosso entendimento da física dos constituintes do núcleo atômico.

Hoje, sabemos que o espectro eletromagnético é uma complexa rede de radiações, dividida em regiões que representam cada uma delas, em ordem crescente de frequência e decrescente de comprimento de onda, como pode ser visto na imagem abaixo:



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Cada uma dessas regiões possui suas próprias características e aplicações. Essas regiões incluem:

1. Ondas de Rádio: Estas ondas possuem frequências mais baixas, inferiores a  $3,0 \times 10^9$  Hz, e comprimentos de onda geralmente variando de 1000 quilômetros a 1 milímetro. São utilizadas para a transmissão de sinais de rádio e televisão.
2. Micro-ondas: Com frequências ligeiramente mais elevadas, variando de  $3,0 \times 10^9$  Hz a  $3,0 \times 10^{12}$  Hz, e comprimentos de onda geralmente na faixa de 1 metro a 1 milímetro, são empregadas em aparelhos de cozinha, como micro-ondas, e também em comunicações via satélite.
3. Infravermelho: Apresentando frequências variando de  $3 \times 10^{12}$  Hz a  $4,3 \times 10^{14}$  Hz e comprimentos de onda geralmente variando de 1 milímetro a 700 nanômetros, essas ondas são emitidas como calor por objetos quentes e encontram aplicações em sensores de movimento e comunicações infravermelhas.
4. Luz Visível: Com frequências entre  $4,3 \times 10^{14}$  Hz e  $7,5 \times 10^{14}$  Hz, e comprimentos de onda geralmente variando de 700 nanômetros a 400 nanômetros, a faixa de frequência da luz visível é aquela que os seres humanos podem perceber com os olhos. Essa faixa abrange desde o violeta até o vermelho, incluindo todas as cores do arco-íris.
5. Ultravioleta (UV): Possuindo frequências mais elevadas que a luz visível, variando de  $7,5 \times 10^{14}$  Hz a  $3,0 \times 10^{17}$  Hz, e comprimentos de onda variando de 400 nanômetros a 10 nanômetros, é conhecida por ser prejudicial à pele humana quando em excesso. Também é utilizada em processos de esterilização e análises químicas.
6. Raios-X: Com frequências variando de  $3 \times 10^{17}$  Hz a  $3,0 \times 10^{19}$  Hz e comprimentos de onda na faixa de 10 nanômetros a 0,01 nanômetros, os raios-X são empregados na medicina para imagens internas do corpo e em aplicações de controle de qualidade na indústria.

7. Raios Gama: Apresentando a frequência mais alta, superior a  $3,0 \times 10^{19}$  Hz, e comprimentos de onda inferiores a 0,01 nanômetros, esses raios são produzidos por reações nucleares, sendo utilizados em medicina nuclear e estudos de partículas subatômicas.

Assim, ao longo de séculos de exploração científica e inovação tecnológica, o espectro eletromagnético se revela como uma ferramenta excepcional para a realização de diversos tipos de estudos, permitindo-nos desenvolver recursos tecnológicos que nos possibilitam observar e compreender o universo de maneiras que nossos antepassados nem poderiam imaginar.

Agora é com você! Acesse o formulário que foi disponibilizado juntamente com este texto. Ele é composto por apenas três questões curtas que têm como objetivo avaliar a sua compreensão do espectro eletromagnético, seu papel no avanço tecnológico e suas aplicações modernas.

A representação gráfica do espectro eletromagnético utilizada no texto acima é interativa e foi elaborado utilizando a plataforma Genially, visando aprimorar a apresentação do conteúdo durante a atividade assíncrona. Essa imagem possui elementos interativos, como botões, animações e imagens, tornando o aprendizado mais dinâmico e envolvente. O recurso está disponível através do seguinte endereço: <https://view.genial.ly/652c5fc7727cbb0011e216bc>.

A decisão sobre a utilização desta imagem interativa fica a critério do professor, considerando também a disponibilidade da plataforma de aprendizagem para suportá-la.

Ainda no momento assíncrono, junto com este texto, o professor deve disponibilizar o questionário a seguir. Isso possibilitará a captura das informações pertinentes ao tema abordado no texto, que é o principal objetivo desta aula.

É fundamental que o professor obtenha as respostas de todos os alunos dentro de um intervalo mínimo de 24 horas antes do encontro síncrono, que deve ser programado e comunicado aos alunos. Isso permitirá uma análise das respostas e facilitará o encontro síncrono.

No momento síncrono, sugere-se que o professor promova um diálogo com os alunos para que possam compartilhar o conhecimento adquirido anteriormente no momento assíncrono. Isso possibilitará que o professor aprofunde os conceitos relacionados ao espectro eletromagnético em sala de aula. O diálogo deve ser embasado nas respostas dos alunos ao questionário aplicado durante o momento assíncrono.

## Questionário

### A Fascinante Revelação do Espectro Eletromagnético: Uma Janela para o Universo e a Tecnologia

1 - Como as equações de Maxwell descrevem a propagação das ondas eletromagnéticas e qual foi seu papel na compreensão do espectro eletromagnético?

Anote aqui a sua resposta:

2 - Como o espectro eletromagnético desempenhou um papel crucial no desenvolvimento de tecnologias que revolucionaram a sociedade ao longo dos séculos?

Anote aqui a sua resposta:

3 - Como a descoberta do ultravioleta tem sido aplicada nas tecnologias contemporâneas?

Anote aqui a sua resposta:

## 3.5 Encontro 4 – os fatores responsáveis pelo efeito fotoelétrico

Esse encontro tem como objetivo principal proporcionar aos alunos uma compreensão mais aprofundada sobre os fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico.

Para isso, sugere-se que esse encontro seja desenvolvido por meio da utilização da metodologia de RE, que permite uma abordagem mais dinâmica e participativa. Nessa abordagem, os alunos têm a oportunidade de explorar diferentes aspectos dos conceitos abordados em cada estação.

A turma deve ser dividida em quatro grupos, os quais serão direcionados para cada uma das estações estabelecidas pelo professor. O professor deve deixar claro que cada grupo terá, em média, 20 minutos para realizar as atividades propostas em cada estação. Ao final desse tempo, os grupos devem rotacionar entre as estações.

Dessa forma, os alunos podem interagir ativamente com os materiais e atividades propostas, promovendo uma aprendizagem significativa e contextualizada.

A seguir, serão abordadas as propostas para cada uma das estações.

### 3.5.1 Estação 1 – Leitura de Texto – Do tempo de retardo à função trabalho: Os principais detalhes da ocorrência do efeito fotoelétrico

Nesta estação, os alunos serão apresentados a um texto para leitura, seguido de três perguntas conforme mostrado a seguir. O texto aborda a visão histórica e científica sobre a compreensão da luz, desde a concepção inicial como onda eletromagnética até a compreensão moderna da dualidade onda-partícula.

Ele destaca o papel de James Clerk Maxwell na unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos, seguido pelos experimentos de Heinrich Hertz que confirmaram a existência das ondas eletromagnéticas.

Além disso, aborda a revolução promovida por Albert Einstein ao propor que a luz excitadora é constituída de quanta de energia ( $h\nu$ ), permitindo conceber a produção de raios catódicos [elétrons] pela luz.

#### Texto

##### **Estação 1 – Fatores responsáveis pela ocorrência do Efeito Fotoelétrico**

##### **Do tempo de retardo à função trabalho: Os principais detalhes da ocorrência do efeito fotoelétrico**

A busca para compreender a luz como uma onda eletromagnética começou a se consolidar no final do século XIX, marcada por um dos marcos iniciais: a descoberta das ondas eletromagnéticas por James Clerk Maxwell. Suas equações fundamentais unificaram os fenômenos elétricos e magnéticos, prevendo a existência das ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade da luz. Esse avanço teórico lançou as bases para entender a luz como uma forma de energia que se propaga por meio de vibrações dos campos elétricos e magnéticos.

Contudo, como ocorre no avanço da ciência, a confirmação prática veio tempos depois. Na década de 1880, Heinrich Hertz realizou uma série de experimentos para detectar e medir as ondas de Maxwell. Foi então que Hertz conseguiu gerar e detectar ondas eletromagnéticas em laboratório, demonstrando experimentalmente a existência desse tipo de radiação que Maxwell previu.

O enredo se intensifica com a participação de Albert Einstein em 1905, protagonizando uma revolução quântica na compreensão da luz e do intrigante efeito fotoelétrico. Einstein nos desafia a ver a luz não apenas como uma onda, mas também como partículas discretas chamadas fótons. Essa teoria quântica da luz explicava o efeito fotoelétrico de uma maneira que as teorias puramente ondulatórias não conseguiam.



Antes mesmo de Einstein roubar os holofotes, outros cientistas estavam nos bastidores, mergulhados no intrigante mundo do efeito fotoelétrico. Philipp Lenard, um físico alemão, foi o primeiro a investigar detalhadamente o tempo de retardo, ou seja, o pequeno lapso de tempo que se esperava existir entre a luz atingir o metal e os elétrons começarem a ser ejetados do material metálico. No entanto, seus experimentos revelaram que os elétrons eram emitidos instantaneamente assim que a luz atingia o material.

Ah, mas tem mais! O limiar de frequência, a frequência mínima necessária para desencadear o efeito fotoelétrico, é outra peça crucial desse quebra-cabeça científico. Em 1905, Einstein, apresentou a hipótese dos fótons. Ele propôs que a luz é composta por partículas discretas chamadas fótons, e a energia desses fótons é proporcional à sua frequência. Somente os fótons com energia acima de um determinado limiar poderiam libertar elétrons do material.

E para complementar este raciocínio, destaca-se a função trabalho. Essa é a energia necessária para fazer o elétron se libertar do material. Einstein lançou essa ideia incrível, e o Físico Robert Millikan, entre 1910 e 1915, conduziu experimentos que refinaram e confirmaram essa teoria extraordinária.

A história da busca pelo entendimento do efeito fotoelétrico é repleta de grandes cientistas que desafiaram as dificuldades da época. Hoje, temos acesso aos seus legados, o que nos possibilita entender melhor os fenômenos que nos rodeiam.

Agora é com você! Acesse o formulário que foi disponibilizado juntamente com este texto. Ele é composto por apenas três questões curtas que têm como objetivo avaliar a sua compreensão em relação aos fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico.

**Com base no texto acima, responda às seguintes perguntas:**

1 - Quais explicações Albert Einstein apresentou sobre o efeito fotoelétrico que foram mais abrangentes do que as teorias puramente ondulatórias?

Anote aqui a sua resposta:

2 - Quais são as relações entre a função trabalho, proposta por Albert Einstein, e a liberação de elétrons no efeito fotoelétrico?

Anote aqui a sua resposta:

3 - Quais foram os aspectos fundamentais relacionados ao tempo de retardo no efeito fotoelétrico, investigados por Philipp Lenard, e como esses fatores contribuíram para a ampliação do entendimento desse fenômeno?

Anote aqui a sua resposta:

### 3.5.2 Estação 2 – Simulação Computacional – Fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico

Nesta estação, os alunos serão apresentados a uma simulação computacional do “Efeito Fotoelétrico” disponível no site PhET Colorado.

A atividade inclui instruções para que os alunos utilizem a simulação computacional corretamente e analisem aspectos como comprimento de onda, limiar de frequência e a energia necessária para liberar elétrons de diferentes materiais metálicos. Eles deverão extrair valores e calcular a função trabalho para esses materiais, comparando os resultados obtidos com os valores normalmente fornecidos nos livros didáticos.

#### Atividade

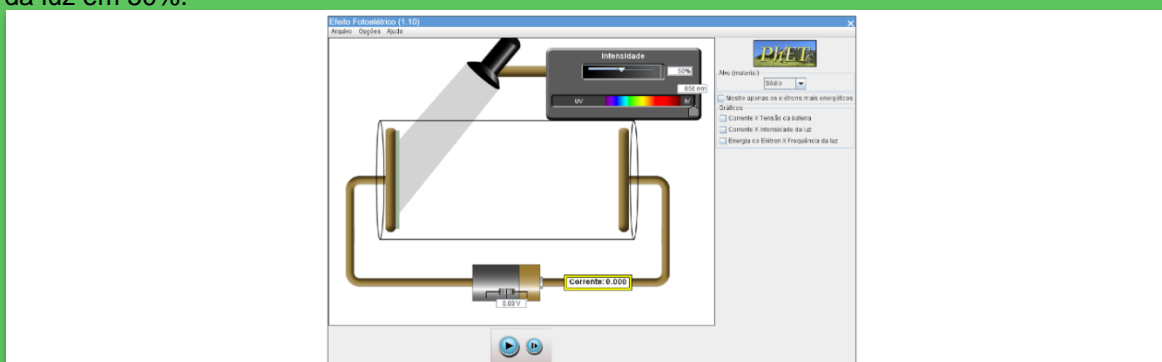
#### Estação 2 – Simulação Computacional – Fatores responsáveis pela ocorrência do Efeito Fotoelétrico

Prezado aluno, nesta atividade, você utilizará a simulação "Efeito Fotoelétrico" disponível no site PhET Colorado para investigar os fatores que influenciam a ocorrência do efeito fotoelétrico. Durante a atividade, você examinará aspectos como comprimento de onda, limiar de frequência e a energia necessária para liberar elétrons de diferentes materiais metálicos. Essa análise permitirá identificar alguns dos fatores determinantes para a ocorrência do efeito fotoelétrico.

#### Atividade

Inicialmente, escolha o sódio como material. Ajuste o controle deslizante do comprimento de onda para o valor mais alto e aumente a intensidade da luz lentamente em direção a 50%. O simulador permite que realizemos ajustes no comprimento de onda e na intensidade da luz, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Layout da simulação computacional com o comprimento de onda mais longo e intensidade da luz em 50%.



Fonte: PhET – Physics Education Technology (2023).

1 - Agora, mova o controle deslizante do comprimento de onda lentamente para a esquerda até que o primeiro elétron seja emitido. Este será o comprimento de onda para a emissão de elétrons no sódio. Adicione esse valor à tabela abaixo, no espaço correspondente ao sódio. Repita o mesmo procedimento para obter os valores dos outros materiais.

<b>Metal</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
Sódio	
Zinco	
Cobre	
Platina	
Cálcio	
Magnésio	

3 - Max Planck demonstrou a existência de uma relação entre a energia e a frequência de uma determinada radiação eletromagnética, o que levou à formulação da equação de Planck. Essa equação é de fundamental importância na física quântica e descreve como a energia de um fóton está diretamente relacionada à sua frequência, sendo expressa pela fórmula:

$$E = h \cdot f$$

Onde:  $E$  = energia liberada (J)  
 $h$  = constante de Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s)  
 $f$  = frequência luz (Hz)

Como a luz é uma forma de energia que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas, ela possui características típicas de uma onda, como comprimento de onda, frequência, amplitude e velocidade de propagação. A luz é regida pela equação fundamental da ondulatória:

$$c = \lambda \cdot f$$

Onde:  $c$  = velocidade da luz =  $3,0 \times 10^8$  m/s  
 $\lambda$  = comprimento de onda (nm)

Então, associando as duas equações mencionadas anteriormente, obtemos a equação a seguir para a energia de um fóton.

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Como o comprimento de onda que será inserido na equação está associado a liberação de elétron do material metálico utilizado na simulação, a energia que será calculada é a energia característica de cada metal, denominada de função trabalho ( $\phi$ ), fazendo com que a equação fique da seguinte forma:

$$\phi = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Com isso, será possível determinar a energia necessária para liberar um elétron de cada um dos materiais metálicos, denominada de função trabalho, e completar a tabela a seguir.

<b>Metal</b>	<b>Energia (J)</b>
Sódio	
Zinco	
Cobre	
Platina	
Cálcio	
Magnésio	

4 - O elétron-volt (eV) é uma unidade de energia amplamente utilizada na física quântica, especialmente em contextos que envolvem partículas subatômicas. Ele representa a quantidade de energia que um elétron adquire ou perde ao ser acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt.

Essa unidade é conveniente para descrever as energias envolvidas em interações subatômicas, pois está na escala apropriada para esses fenômenos.

Sabe-se que 1 eV equivale a  $1,602 \times 10^{-19}$  J de energia. Dessa forma, é possível realizar a conversão de Joules para eV e preencher a tabela a seguir.

<b>Metal</b>	<b>Energia (eV)</b>
Sódio	
Zinco	
Cobre	
Platina	
Cálcio	
Magnésio	

5 - Agora, compare os valores que foram obtidos através de seus cálculos com os valores descritos na tabela abaixo, que são normalmente encontrados nos livros didáticos. Escreva no espaço abaixo uma hipótese para explicar a possível diferença entre os valores?

<b>Metal</b>	<b>Energia (eV)</b>
Sódio	2,28
Zinco	4,31
Cobre	4,70
Platina	6,35
Cálcio	2,90
Magnésio	3,68

Fonte: Handbook of Chemistry and Physics 95th Edition (2014).

Anote aqui a sua resposta:

### 3.5.3 Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico

Nesta estação, os alunos serão apresentados a uma atividade computacional utilizando a ferramenta de inteligência artificial ChatGPT, desenvolvida pela OpenAI.

O objetivo desta atividade é explorar o tópico dos "fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico", para que os alunos possam aplicar os conhecimentos adquiridos e responder a uma pergunta investigativa relacionada ao tema proposto na atividade.

## Atividade

### Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Fatores Responsáveis pela Ocorrência do Efeito Fotoelétrico

Prezados alunos, nesta atividade, vocês utilizarão o ChatGPT do site OpenAI para explorar o tópico "Fatores Responsáveis pela Ocorrência do Efeito Fotoelétrico" de forma interativa. Isso estimulará a prática da pesquisa e a análise crítica, bem como permitirá que vocês apliquem os conhecimentos adquiridos para responder a uma pergunta investigativa relacionada ao tema. Além disso, essa atividade tem como objetivo incentivar vocês a compartilharem suas perspectivas e insights.

Vocês devem trabalhar em grupo para responder à pergunta investigativa proposta, que está relacionada ao Fatores Responsáveis pela Ocorrência do Efeito Fotoelétrico.

#### Atividade

1 - Inicialmente, acesse o site da OpenAI, faça o login e acesse o ChatGPT. Interaja com o ChatGPT escrevendo o seguinte prompt para obter informações:

*" Por favor, explique de forma detalhada os principais fatores responsáveis pela ocorrência do efeito fotoelétrico, incluindo o tempo de retardo, o limiar de frequência e o potencial de corte. Descreva como esses fatores afetam a liberação de elétrons quando a luz incide em um material metálico."*

Após isso, o ChatGPT irá fornecer uma resposta que você deverá apresentar no espaço abaixo.

Anote aqui a resposta fornecida pelo ChatGPT:

2 - Agora, vocês devem comparar e contrastar as informações fornecidas pelo ChatGPT com os conhecimentos que já possuem sobre o assunto e formular uma resposta para as seguintes perguntas:

a) Existe uma relação entre a velocidade dos elétrons ejetados no efeito fotoelétrico e a intensidade da luz incidente?

Anote aqui a sua resposta:

b) Como a teoria do efeito fotoelétrico, incluindo os fatores do limiar de frequência e o potencial de corte, contribui para o desenvolvimento de tecnologias de detecção de luz, como fotodiodos e câmeras digitais?

Anote aqui a sua resposta:

### 3.5.4 Estação 4 – Atividade experimental

Nesta estação, os alunos serão apresentados a uma atividade experimental roteirizada cujo objetivo é determinar o valor experimental da constante de Planck, relacionada, no efeito fotoelétrico, à energia quantizada de um fóton com a frequência da luz.

Para isso, os alunos deverão montar o circuito do experimento proposto, utilizando LEDs de cores diferentes, um potenciômetro, um voltímetro e uma bateria, seguindo os procedimentos descritos na atividade abaixo.

#### Atividade

#### Estação 4 – Atividade experimental

Prezados alunos, nesta atividade, vocês devem montar o experimento proposto e realizar os procedimentos descritos. O objetivo é encontrar o valor experimental da constante de Planck, a qual está relacionada, no efeito fotoelétrico, à energia quantizada de um fóton com a frequência da luz.

Para que você faça essa atividade, será preciso ver algumas informações e relações importantes.

A primeira informação importante é que um LED (Diodo Emissor de Luz) é um dispositivo eletrônico semiconductor que converte energia elétrica diretamente em luz visível. Sua estrutura é composta por dois semicondutores, um tipo p (positivo) e outro tipo n (negativo), que são unidos para formar uma junção p-n. Quando uma tensão elétrica é aplicada à junção, elétrons da camada n ganham energia suficiente para saltar para a camada p, liberando energia na forma de fótons de luz. Esse processo é altamente eficiente, pois a energia não é dissipada na forma de calor, como ocorre em lâmpadas incandescentes.

Outra informação importante é que a energia do fóton liberado é equivalente a  $h \cdot f$ , ou seja, o produto entre a constante de Planck e a frequência da luz emitida. Cada material diferente que constitui o LED resulta em uma cor diferente, sendo necessário um potencial elétrico específico para que o elétron adquira a energia necessária para saltar de camada e liberar o fóton de luz.

Podemos relacionar a energia  $h \cdot f$  do fóton liberado com a energia de gap, que se refere à diferença de energia entre o estado fundamental (ou nível de energia mais baixo) e o primeiro estado excitado em um material semiconductor, pois ambas são equivalentes. Sendo assim, considerando que a energia de gap é  $e \cdot V_{min}$ , temos que:

$$e \cdot V_{min} = h \cdot f$$

Onde:  $e$  = carga elementar do elétron =  $1,6 \times 10^{-19}$  C

$V_{min}$  = potencial de corte

$h$  = constante de Planck

$f$  = frequência da luz

Como a luz é uma forma de energia que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas, ela possui características típicas de uma onda, como comprimento de onda, frequência, amplitude e velocidade de propagação. A luz é regida pela equação fundamental da ondulatória:

$$c = \lambda \cdot f$$

Onde:  $c$  = velocidade da luz =  $3,0 \times 10^8$  m/s  
 $\lambda$  = comprimento de onda (nm)

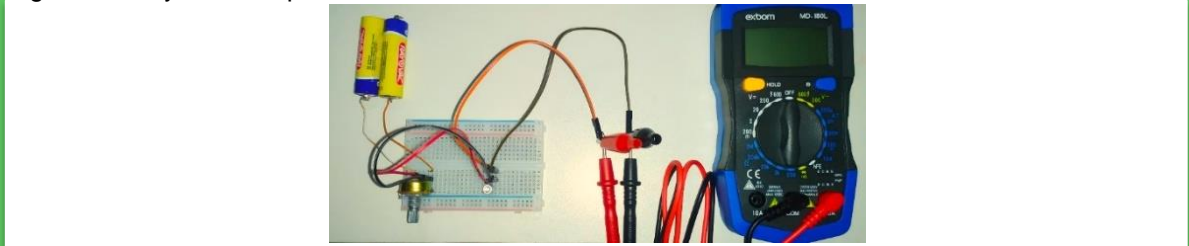
Essa última relação é muito importante, pois a partir dela, vocês obterão a frequência da luz do LED.

Agora é com vocês! Acessem o formulário que foi disponibilizado juntamente com este texto. Nele vocês terão acesso a todas as informações necessárias para a realização desta atividade. Bons estudos!

### Atividade

Este experimento consiste na montagem de um circuito elétrico conforme a imagem abaixo:

Figura 1 – Layout do experimento montado.



Fonte: Acervo do autor (2023).

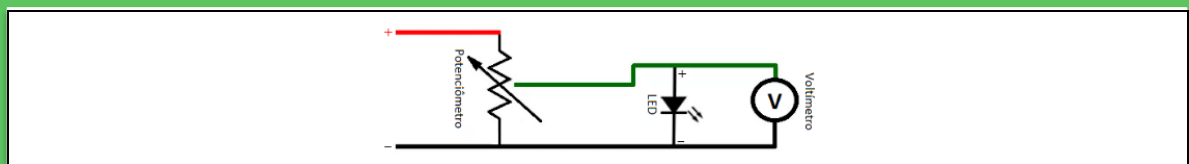
Para isso siga os passos a seguir.

1 - Inicialmente, confira o material. Se algum componente estiver ausente, solicite ao professor.

Lista de componentes:

- Bateria 3 V;
- Fios para conexão;
- LEDs Violeta (410nm), Azul (465nm), e Vermelho (625nm);
- Potenciômetro de 20 k $\Omega$ ;
- Protoboard;
- Voltímetro.

2 - Monte o circuito conforme mostrado no esquema a seguir:



Observe que, no circuito, há apenas um LED inserido. Isso ocorre porque se deve utilizar apenas um LED de cada vez. Além disso, a luz ambiente pode influenciar indiretamente os resultados, devido à necessidade de realizar uma leitura visual do LED. Portanto, recomenda-se realizar o experimento em um ambiente escuro ou, pelo menos, escurecer a região onde o LED se encontra, a fim de facilitar a leitura e melhorar os resultados obtidos.

**Atenção!** Vocês só poderão conectar a bateria ao circuito após a verificação e autorização do professor.

3 - Após a autorização do professor, conecte a bateria ao circuito e ajuste o potenciômetro até que o LED comece a acender. Isso corresponde à tensão mínima necessária para o funcionamento do LED, também conhecida como potencial de corte. Observe o valor potencial de corte mostrado no voltímetro e anote-o na tabela abaixo, preenchendo também as demais informações solicitadas.

Vocês devem repetir esse procedimento para os outros LEDs. Para isso, basta retirar o LED utilizado e inserir o outro no mesmo local. Prestem bastante atenção ao realizar esse procedimento!

Cor do LED	Potencial de Corte (V)	Frequência da Luz ( $\times 10^{14}$ Hz)

4 - Os valores obtidos para os três LEDs podem ser utilizados como coordenadas cartesianas para construir um gráfico de tensão de corte em função da frequência. Nele, vocês devem encontrar o coeficiente angular da reta média desses valores.

Para auxiliar nesse processo, vocês podem utilizar a [calculadora de coeficiente angular](#). Ressalto que essa calculadora é específica para este exercício.

Anote aqui o valor obtido para o coeficiente angular:

5 - Como mencionado anteriormente, o potencial de corte está relacionado à constante de Planck e à frequência da luz, como pode ser visto na equação abaixo.

$$V_{min} = \frac{h}{e} \cdot f$$

Substituindo o coeficiente angular da reta média na equação anterior, obteremos a seguinte expressão:

$$\alpha = \frac{h}{e}$$

Onde:  $\alpha$  = coeficiente angular

$h$  = constante de Planck

$e$  = carga elementar do elétron =  $1,6 \times 10^{-19}$  C

Agora, basta substituir os valores obtidos anteriormente na expressão acima para encontrar o valor experimental da constante de Planck.

Anote aqui o valor encontrado:

6 - Agora, comparem o valor obtido por meio de seus cálculos e observações experimentais com o valor da constante de Planck descrito abaixo, comumente encontrado em livros didáticos. Escrevam no espaço abaixo uma hipótese para explicar a possível diferença entre os valores.

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$



Anote aqui a sua hipótese:

7 - Pensando no experimento realizado para determinar a constante de Planck, identifique e descreva possíveis melhorias que poderiam ser implementadas para aproximar os resultados obtidos experimentalmente dos valores tabelados da constante de Planck.

Anote aqui a sua resposta:

### **3.6 Encontro 5 – A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico**

Este encontro tem como objetivo principal proporcionar um aprofundamento na compreensão dos alunos em relação aos conceitos históricos e físicos que levaram à formulação da equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, e avaliar se os alunos conseguiram estabelecer uma conexão entre a luz incidente e a ocorrência do efeito fotoelétrico.

Para isso, sugere-se que esse encontro seja desenvolvido por meio da metodologia ativa da SAI, contando com um momento assíncrono e síncrono.

Para o momento assíncrono, o professor deve disponibilizar aos alunos o texto abaixo por meio de alguma plataforma de aprendizagem online, como o Google Sala de Aula, o Moodle ou qualquer outra plataforma oferecida pela instituição de ensino.

É importante que o professor utilize a função de lembretes na plataforma para que os alunos sejam notificados da disponibilização e pendência da tarefa, quando disponível pela plataforma de aprendizagem online escolhida.

Caso algum aluno não tenha acesso à plataforma de aprendizagem online fora do ambiente escolar, o professor poderá imprimir o material e entregá-lo para que o aluno possa realizar o momento assíncrono.

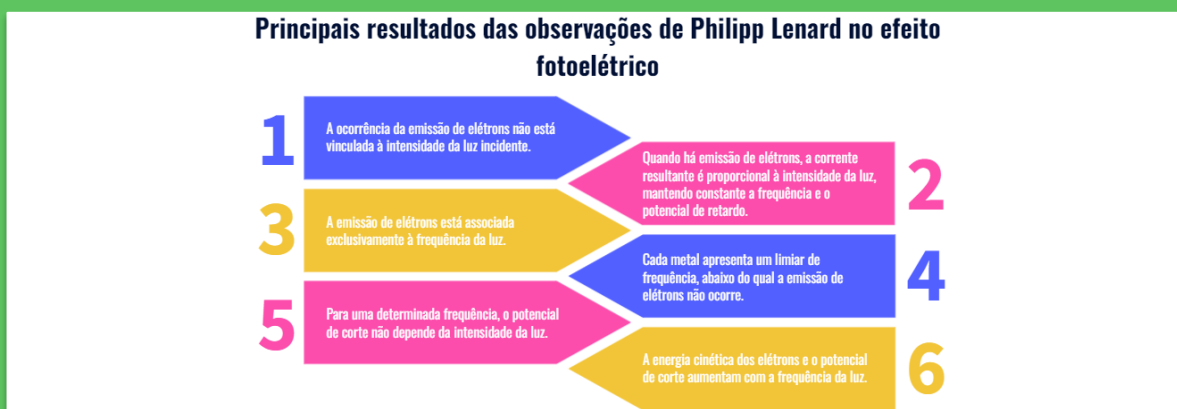
## Texto

### A revolução da luz: a equação de Einstein e o efeito fotoelétrico

No final do século XIX, com a revolucionária descoberta das ondas eletromagnéticas por Maxwell, abriu-se um vasto campo de investigação que não apenas transformou nossa compreensão da natureza da luz, mas também propiciou uma série de descobertas interligadas. Os estudos sobre as ondas eletromagnéticas não apenas contribuíram para consolidar a teoria eletromagnética da luz, mas também pavimentaram o caminho para inovações subsequentes, que, por sua vez, impulsionaram o desenvolvimento de tecnologias fundamentais, como a comunicação sem fio e a radiodifusão. A interconexão entre as descobertas relacionadas às ondas eletromagnéticas e à luz, no final do século XIX, representou um marco significativo na história da ciência, desencadeando uma era de progresso tecnológico e compreensão mais profunda do mundo que nos cerca.

Neste mesmo contexto de exploração científica e como uma continuação dos estudos de Hertz após seu falecimento em 1894, seu assistente Lenard conduziu uma série de experimentos relacionados ao efeito fotoelétrico. Durante essas investigações, Lenard observou que a intensidade das faíscas e a descarga de elétrons aumentavam na presença de luz ultravioleta. Lenard dedicou anos a essa pesquisa metódica, registrando e catalogando diversos resultados relacionados à interação entre as faíscas e a luz ultravioleta.

Os principais resultados provenientes das observações de Lenard podem ser resumidos conforme a imagem abaixo:



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Mas em 1905, algo incrível aconteceu no mundo da física. Albert Einstein introduziu uma teoria notavelmente simples que revolucionou nossa compreensão sobre o fenômeno descoberto por Hertz e vastamente estudado por Lenard, o efeito fotoelétrico. Ele desafiou a crença predominante na época de que a luz se comportava puramente como uma onda e, em vez disso, propôs uma ideia audaciosa. Einstein argumentou que a luz consistia em minúsculas partículas chamadas fótons.

Essa ideia não era nova. Na verdade, Isaac Newton já a havia levantado, mas ela havia sido deixada de lado após o famoso experimento de Young. No entanto, Einstein ressuscitou essa teoria e a elevou a um novo patamar.

De acordo com a visão de Einstein, cada um desses fótons, essencialmente "pacotes" de luz, carrega consigo uma quantidade específica de energia. Essa energia é determinada pelo produto da constante de Planck com a frequência da luz, expresso como " $hf$ ". O aspecto mais surpreendente é que, quando um fóton atinge um elétron, ele transfere toda a sua energia para esse elétron individual, mesmo que haja outros fótons ao redor. Assim, a intensidade da luz incidente, ou seja, o número de fótons que atingem a superfície em um determinado período, não afeta a quantidade de energia absorvida pelo elétron.

Tendo isso em mente, Einstein não parou por aí. Ele formulou uma equação intrigante que conecta a energia do elétron liberado da superfície, a frequência da luz que o atingiu e a energia necessária para libertar esse elétron do material metálico. Essa energia é conhecida como “função trabalho”. O resultado dessa equação é um dos pilares da física moderna, a famosa equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, também conhecida como a lei do efeito fotoelétrico:

$$E = hf - \phi$$

Einstein estava prestes a receber o reconhecimento que merecia. O ano era 1921, e por suas notáveis contribuições à Física Teórica, ele foi agraciado com o Prêmio Nobel da Física. A causa desse reconhecimento estava enraizada na sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico. Mas a história não para por aí. Antes disso, em 1912, Hughes já havia dado o primeiro passo ao comprovar a equação de Einstein com resultados empolgantes de seus experimentos. Logo depois, Millikan também se juntou à confirmação, publicando, em 1916, um extenso trabalho que detalhava os resultados brilhantemente obtidos em seus próprios experimentos.

O Prêmio Nobel de 1921 foi apenas um reconhecimento do que a humanidade ganhou com essas descobertas – um entendimento mais profundo da natureza da luz e da matéria, uma base sólida para muitas tecnologias modernas.

Agora é com você! Acesse o formulário que foi disponibilizado juntamente com este texto. Ele contém apenas três questões curtas, com o objetivo de avaliar sua compreensão da relação entre a luz incidente e a ocorrência do efeito fotoelétrico.

O diagrama utilizado no texto acima foi elaborado utilizando a plataforma Genially, com o intuito de aprimorar a apresentação do conteúdo durante a atividade assíncrona. Este recurso está acessível através do seguinte endereço: <https://view.genial.ly/656672a95096700014062585>.

No momento assíncrono, juntamente com este texto, o professor deve disponibilizar o questionário a seguir. Isso possibilitará a coleta das informações relevantes sobre o tema abordado no texto, que é o principal objetivo desta aula.

### Questionário

#### A revolução da luz: a equação de Einstein e o efeito fotoelétrico

1 - Quais foram as conclusões a respeito da ocorrência do efeito fotoelétrico às quais Lenard chegou ao examinar a incidência de luz com diferentes intensidades e frequências?

Anote aqui a sua resposta:

2 - Quais foram as conclusões a respeito da quantidade de energia absorvida por um elétron, no efeito fotoelétrico, às quais Einstein chegou ao examinar os resultados dos experimentos de Lenard?

Anote aqui a sua resposta:

3 - Qual é a importância da equação de Einstein para o efeito fotoelétrico e como ela influenciou a física moderna?

Anote aqui a sua resposta:

É crucial que o professor obtenha as respostas de todos os alunos dentro de um intervalo mínimo de 24 horas antes do encontro síncrono, o qual deve ser previamente agendado e comunicado aos alunos. Isso permitirá uma análise das respostas e facilitará o encontro síncrono.

Durante o momento síncrono, sugere-se que o professor promova um diálogo com os alunos para que estes possam compartilhar o conhecimento adquirido anteriormente no momento assíncrono. Isso possibilitará que o professor realize uma exploração mais aprofundada sobre a importância da Equação de Einstein para o efeito fotoelétrico e seu impacto na física moderna. O diálogo deve ser embasado nas respostas dos alunos ao questionário aplicado durante o momento assíncrono.

### **3.7 Encontro 6 – O efeito fotoelétrico**

Este encontro tem como objetivo principal proporcionar aos alunos uma compreensão mais aprofundada do funcionamento dos dispositivos com base no efeito fotoelétrico e apresentar algumas de suas aplicações presentes em nosso cotidiano.

Para isso, sugere-se que esse encontro seja desenvolvido por meio da utilização da metodologia de RE, que permite uma abordagem mais dinâmica e participativa. Nessa abordagem, os alunos têm a oportunidade de explorar diferentes aspectos dos conceitos abordados em cada estação.

A turma deve ser dividida em quatro grupos, os quais serão direcionados para cada uma das estações estabelecidas pelo professor. É importante ressaltar que cada grupo terá, em média,

20 minutos para realizar as atividades propostas em cada estação. Ao final desse tempo, os grupos devem rotacionar entre as estações.

Dessa forma, os alunos podem interagir ativamente com os materiais e atividades propostas, promovendo uma aprendizagem significativa e contextualizada.

A seguir, serão abordadas as propostas para cada uma das estações.

### 3.7.1 Estação 1 – Leitura de Texto – Explorando as aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico

Nesta estação, os alunos serão apresentados a um texto para leitura, seguido de três perguntas conforme mostrado a seguir. O texto aborda as aplicações práticas do efeito fotoelétrico em diversas áreas do cotidiano, destacando exemplos como as células fotoelétricas, sensores de portas, iluminação urbana, visão noturna, cinema e controle remoto infravermelho.

Vale ressaltar que o princípio de funcionamento do controle remoto infravermelho é semelhante ao do efeito fotoelétrico. No entanto, o circuito é composto por um sensor constituído de um material cuja função trabalho é baixa, possibilitando seu funcionamento na faixa do infravermelho.

Além disso, diferencia o efeito fotoelétrico do efeito fotovoltaico, explicando suas características e aplicações.

#### Texto

##### **Estação 1 – Compreender o funcionamento dos aparelhos com o Efeito Fotoelétrico**

##### **Explorando as Aplicações Tecnológicas do Efeito Fotoelétrico**

Embora a maioria das pessoas não saiba, o efeito fotoelétrico está presente em nosso cotidiano por meio de várias aplicações, como as células fotoelétricas ou fotocélulas, como a célula fotoemissiva e a célula fotocondutiva, por exemplo.

Essas células têm a capacidade de converter energia luminosa, seja ela proveniente do Sol ou de qualquer outra fonte, em energia elétrica. Além disso, atuam como sensores, capazes de medir a intensidade luminosa, como nos sensores de portas de shoppings.

No efeito fotoelétrico, os elétrons são liberados da superfície de um material após exposição à radiação com energia suficiente, sem seguir uma direção específica para serem coletados.

Podemos afirmar que a existência de uma frequência mínima no efeito fotoelétrico, abaixo da qual o efeito não ocorre, é uma de suas principais características. De acordo com grande parte da literatura, essa frequência mínima define o efeito fotoelétrico como um fenômeno externo que arranca elétrons

do material.

### **Alguns exemplos do uso dessas células e do efeito fotoelétrico são:**

#### **1 - Controle Remoto Infravermelho**

Os controles remotos de infravermelho, cada vez mais presentes na nossa era digital em dispositivos como televisores, aparelhos musicais ou videogames, baseiam seu funcionamento no efeito fotoelétrico. Para operar, emitem um feixe de luz de uma frequência específica que ativa o dispositivo fotossensível nos aparelhos controlados por eles.

#### **2 - Cinema**

O cinema falado tornou-se possível graças ao uso de células fotoelétricas, permitindo a reprodução dos sons registrados nas películas do cinematógrafo, sendo as mesmas utilizadas na transmissão de imagens animadas na televisão.

#### **3 - Visão Noturna**

Equipamentos modernos de visão noturna são confeccionados com tubos intensificadores de imagem, os quais operam com base no efeito fotoelétrico.

#### **4 - Processo Industrial**

O emprego de aparelhos fotoelétricos possibilitou a construção de maquinarias capazes de produzir peças com altíssima precisão, sem necessitar de intervenção humana.

#### **5 - Iluminação Urbana**

Os sensores fotoemissivos são usados na iluminação urbana, permitindo a passagem da corrente elétrica que acende a lâmpada quando a intensidade da luz captada pela célula diminui. Ou, alternativamente, eles fecham o circuito elétrico quando a intensidade luminosa é suficiente para iluminar o ambiente.

#### **6 - Portas Automáticas e Alarmes**

Os sensores de presença, utilizando uma combinação de célula fotocondutiva com um interruptor eletromecânico, possibilitam que portas se abram e fechem, ativados, por exemplo, apenas com a aproximação de uma pessoa no sensor.

### **O Efeito Fotoelétrico e o Efeito Fotovoltaico**

O efeito fotovoltaico, descoberto por Becquerel em 1839 na oficina de seu pai quando ainda era jovem, marcou o início do primeiro componente eletrônico da história. Inicialmente confundido com o efeito fotoelétrico devido à similaridade, o efeito fotovoltaico é definido pela geração de tensão elétrica em um material semicondutor quando exposto à luz visível. Embora ambos os processos estejam relacionados à emissão de elétrons pela absorção de fótons de luz, eles diferem em seus princípios fundamentais.

No efeito fotoelétrico, elétrons são liberados da superfície do material após exposição à radiação com energia suficiente, porém sem uma direção específica para serem coletados. Em contrapartida, no efeito fotovoltaico, os elétrons liberados são direcionados da banda de valência para a banda de condução, gerando, assim, a tensão elétrica necessária. É importante ressaltar que o efeito fotovoltaico é um fenômeno inteiramente interno ao material semicondutor, ao contrário do efeito fotoelétrico descrito por Albert Einstein em 1905.

A existência de uma frequência mínima no efeito fotoelétrico, abaixo da qual o efeito não ocorre, é uma de suas características fundamentais. Segundo a literatura, essa frequência mínima é um determinante crucial do fenômeno, caracterizando-o como a remoção externa de elétrons do material. Por outro lado, o efeito fotovoltaico ocorre na faixa da luz visível, tornando-o viável para a geração de energia elétrica por meio de painéis solares, que utilizam principalmente a luz solar como radiação. Assim, as células fotovoltaicas usadas nessas aplicações são comumente denominadas células solares.

Agora é com você! Acesse o formulário que foi disponibilizado juntamente com este texto. Ele contém

apenas três questões curtas, com o propósito de avaliar o seu entendimento sobre as aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico em nosso cotidiano.

**Com base no texto acima, responda às seguintes perguntas:**

1 - De que maneira os controles remotos de infravermelho utilizam o efeito fotoelétrico em seu funcionamento?

Anote aqui a sua resposta:

2 - Qual é a função das células fotoemissivas na iluminação urbana?

Anote aqui a sua resposta:

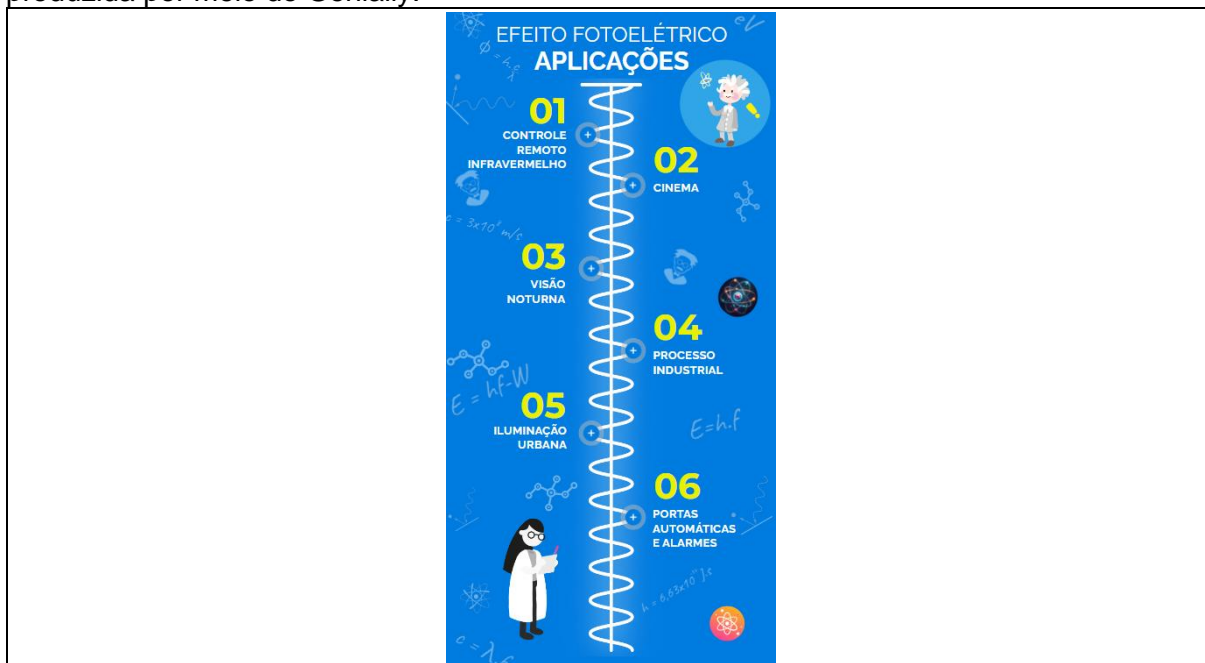
3 - Como o efeito fotovoltaico foi inicialmente confundido com o efeito fotoelétrico e como eles se diferenciam?

Anote aqui a sua resposta:

Na estação em questão, foi disponibilizada uma imagem interativa elaborada por meio da plataforma Genially. Essa ferramenta visa aprimorar a apresentação do conteúdo e exemplificar algumas aplicações do fenômeno do efeito fotoelétrico, como ilustrado na Figura 2.

Assim, cabe ao professor decidir se deseja utilizar esta imagem interativa, levando em consideração a disponibilidade da plataforma de aprendizagem para suportá-la.

Figura 2 - Imagem interativa com algumas das aplicações do fenômeno do efeito fotoelétrico produzida por meio do Genially.



Fonte: Autor (2024).<sup>3</sup>

### 3.7.2 Estação 2 – Simulação Computacional – Investigando a influência da intensidade da luz na liberação de elétrons

Nesta estação, os alunos serão apresentados a uma simulação computacional do “Efeito Fotoelétrico” disponível no site PhET Colorado.

A atividade inclui instruções para que os alunos utilizem a simulação computacional corretamente, a fim de investigar e compreender a relação entre a intensidade da luz e a corrente elétrica, bem como a liberação de elétrons de uma placa metálica quando exposta à luz. Eles deverão extrair valores da fotocorrente para diversos valores de intensidade de luz, formular hipóteses e responder às perguntas, conforme descrito na atividade.

#### Atividade

##### **Estação 2 – Simulação Computacional – Investigando a influência da Intensidade da luz na liberação de elétrons**

Prezado aluno, nesta atividade, você utilizará a simulação “Efeito Fotoelétrico” do site PhET Colorado para compreender a relação entre a intensidade da luz e a corrente elétrica, bem como a liberação de elétrons de uma placa metálica quando exposta à luz. Observaremos que o número de elétrons liberados (corrente) aumenta com o aumento da intensidade da luz.

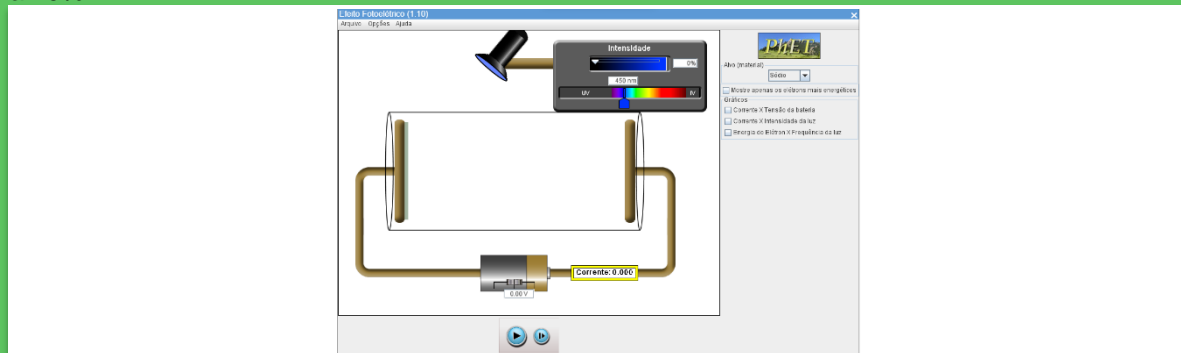
<sup>3</sup> Disponível em: <<https://view.genial.ly/656a774cf2dc110013d328f6>>. Acesso em fev. 2024.



## Atividade

Inicialmente, selecione o sódio como material. mova o indicador da cor da luz para azul (450 nm) e aumente gradualmente a intensidade da luz até atingir 10%. O simulador oferece a possibilidade de ajustar o comprimento de onda e a intensidade da luz, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema da simulação computacional usando luz azul (450 nm) com intensidade de luz a 10%.



Fonte: PhET – Physics Education Technology (2023).

1 - Aumente gradativamente a intensidade, acrescentando 10% a cada vez, e registre a fotocorrente exibida no indicador de corrente na tabela abaixo.

Intensidade da luz (%)	Fotocorrente ( $\mu\text{A}$ )
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

2 - Com base nos valores obtidos anteriormente e nos seus conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico, elabore uma hipótese indicando a relação entre a intensidade da luz e a fotocorrente.

Anote aqui a sua hipótese:

3 - O que você observou sobre a liberação de elétrons quando a intensidade da luz foi aumentada? Houve um padrão identificável?

Anote aqui a sua resposta:

4 - Como essa atividade prática com a simulação pode ser aplicada ou relacionada a aplicações do efeito fotoelétrico na vida cotidiana?

Anote aqui a sua resposta:

### 3.7.3 Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT – Aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico

Nesta estação, os alunos serão apresentados a uma atividade computacional utilizando a ferramenta de inteligência artificial ChatGPT, desenvolvida pela OpenAI.

O objetivo desta atividade é explorar o tópico “Aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico”, para que os alunos possam aplicar os conhecimentos adquiridos e responder a uma pergunta investigativa relacionada ao tema proposto na atividade.

#### Atividade

#### Estação 3 – Atividade Computacional com o ChatGPT Aplicações tecnológicas do Efeito Fotoelétrico

Prezados alunos, nesta atividade, vocês utilizarão o ChatGPT do site OpenAI para explorar o tópico “Aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico” de forma interativa. Isso estimulará a prática da pesquisa e a análise crítica, bem como permitirá que vocês apliquem os conhecimentos adquiridos para responder a uma pergunta investigativa relacionada ao tema. Além disso, essa atividade tem como objetivo incentivar vocês a compartilharem suas perspectivas e insights.

Vocês devem trabalhar em grupo para responder à pergunta investigativa proposta, que está relacionada as Aplicações Tecnológicas do Efeito Fotoelétrico.

#### Atividade

1 - Inicialmente, acesse o site da OpenAI, faça o login e acesse o ChatGPT. Interaja com o ChatGPT escrevendo o seguinte prompt para obter informações:

*“Por favor, explique de forma detalhada o funcionamento dos principais equipamentos tecnológicos que têm o efeito fotoelétrico como base. Cite pelo menos 10 aplicações, excluindo equipamentos fotovoltaicos.”*

Após isso, o ChatGPT irá fornecer uma resposta que você deverá apresentar no espaço abaixo.

Anote aqui a resposta fornecida pelo ChatGPT:

2 - Agora, vocês devem comparar e contrastar as informações fornecidas pelo ChatGPT com os conhecimentos que já possuem sobre o assunto e formular uma resposta para as seguintes perguntas:

a) Como as tecnologias fotossensíveis empregadas nas células fotoelétricas e nos fotoresistores, presentes nos sensores de iluminação automática, reagem à luz?

Anote aqui a sua resposta:

b) Como os dispositivos eletrônicos interpretam e respondem aos sinais infravermelhos emitidos pelos controles remotos?

Anote aqui a sua resposta:

c) De que forma os sensores de proximidade se adaptam a ambientes com diversas condições de iluminação e como essas variações impactam a precisão do sensor?

Anote aqui a sua resposta:

#### 3.7.4 Estação 4 – Atividade experimental

Nesta estação, os alunos serão apresentados a uma atividade experimental roteirizada cujo objetivo é permitir que eles formulem hipóteses e respondam às perguntas propostas relacionadas a uma aplicação tecnológica do efeito fotoelétrico, o funcionamento da célula fotoelétrica.

Para isso, os alunos deverão montar o circuito do experimento proposto, utilizando uma célula fotoelétrica, fios para conexão, lâmpada LED e bocal, seguindo os procedimentos descritos na atividade fornecida.

Vale ressaltar que a célula fotoelétrica é composta por um LDR, um componente fotossensível no qual ocorre o chamado efeito fotoelétrico interno. Esse fenômeno envolve a quebra de ligações covalentes em semicondutores devido à ação dos fótons. Amplamente utilizado na literatura, esse dispositivo é empregado como aparato para simular o efeito fotoelétrico em experimentos.

## Atividade

### Estação 4 – Atividade experimental

Prezados alunos, nesta prática, vocês terão a oportunidade de realizar um experimento envolvendo uma aplicação tecnológica do efeito fotoelétrico. Durante esta atividade, o objetivo principal será testar e analisar o funcionamento de uma célula fotoelétrica, comumente utilizada no acendimento automático de luzes.

Certifiquem-se de seguir atentamente as etapas descritas e estejam preparados para analisar os resultados obtidos durante a prática. Boa experimentação a todos!

## Atividade

Este experimento consiste na montagem de um circuito elétrico conforme a imagem abaixo:

Imagem 1 – Layout do experimento montado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

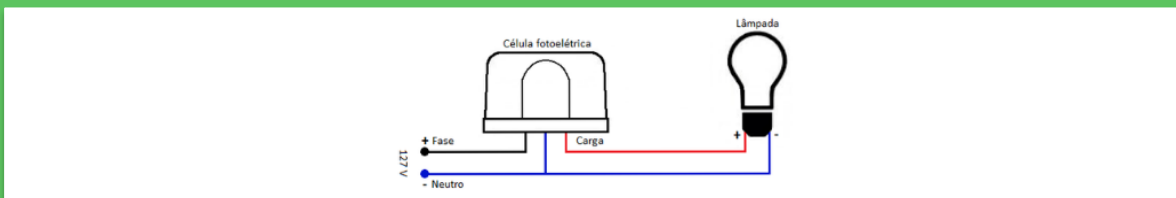
Para isso siga os passos a seguir.

1 - Inicialmente, confira o material. Se algum componente estiver ausente, solicite ao professor.

Lista de componentes:

- Célula fotoelétrica;
- Fios para conexão;
- Lâmpada LED 4W;
- Bocal;
- Plugue macho 10A;

2 - Montem o circuito conforme mostrado no esquema a seguir:



**Atenção!** Vocês só poderão conectar o circuito à tomada após a verificação e autorização do professor.

3 - Com base nos conhecimentos que vocês já possuem sobre o assunto, elaborem uma hipótese sobre o que ocorrerá após ligar o circuito à tomada.

Anotem aqui a hipótese:

4 - Agora, com a devida liberação do professor, conectem o circuito à tomada. Escrevam no espaço abaixo o que estão observando. Sua hipótese foi confirmada? Caso contrário, revisem sua hipótese.

Anotem aqui a resposta:

5 - Agora, elaborem uma hipótese sobre o que deve ser feito para que ocorra uma mudança de estado no circuito.

Anotem aqui a hipótese:

6 - Agora, testem a hipótese elaborada. Ela foi confirmada? Caso contrário, revisem a sua hipótese.

Anotem aqui a resposta:

7 - Pensando no experimento realizado, como a variação na intensidade da luz ambiente pode afetar o funcionamento da célula fotoelétrica? Explique.

Anotem aqui a resposta:

8 - Considerando a aplicação da célula fotoelétrica no acendimento automático de luzes, descrevam possíveis vantagens e desvantagens desse sistema.

Anotem aqui a resposta:

### 3.8 Encontro 7 – O que é a luz afinal?

Este encontro tem como objetivo principal proporcionar um aprofundamento na compreensão dos alunos em relação aos conceitos relacionados à natureza quântica da luz, abordando temas como os processos de interação dos fótons com a matéria, os processos físicos envolvidos na absorção de fótons, a criação de pares elétron-pósitron, o efeito Compton e os fundamentos da teoria corpuscular da luz em contraste com a teoria ondulatória.

Para tanto, sugere-se que esse encontro seja desenvolvido por meio da metodologia ativa da SAI, contando com um momento assíncrono e síncrono.

No momento assíncrono, o professor deve disponibilizar aos alunos o texto por meio de alguma plataforma de aprendizagem online, como o Google Sala de Aula, o Moodle ou qualquer outra plataforma oferecida pela instituição de ensino. É importante que o professor utilize a função de lembretes na plataforma para que os alunos sejam notificados da disponibilização e pendência da tarefa.

Caso algum aluno não tenha acesso à plataforma de aprendizagem online fora do ambiente escolar, o professor poderá imprimir o material e entregá-lo para que o aluno possa realizar o momento assíncrono.

#### Texto

##### **Afinal, o que é a luz? Uma onda ou uma partícula?**

Robert Hooke (1635-1703) foi o primeiro cientista a propor um modelo ondulatório da luz no final do século XVII. Hooke era contemporâneo de Newton, com quem teve debates acalorados sobre diversos temas relacionados à ciência, incluindo a natureza da luz. A teoria de Isaac Newton, de forma implícita e argumentativa através de experimentos, afirmava que a natureza física da luz era material; ou seja, a luz consistia em um fluxo de partículas microscópicas propagadas por fontes luminosas. Devido à sua popularidade, sua ideia ganhou grande força, sendo capaz de explicar diferentes fenômenos ópticos, como a reflexão e a refração, descobertos nessa mesma época.

O modelo de Hooke não conseguiu se sustentar diante da teoria corpuscular de Newton. No entanto, a natureza da luz passou a ser estudada por outros cientistas, sendo um deles Christiaan Huygens (1629 - 1695). Com base numa formulação matemática simples, Huygens sustentou que uma fonte luminosa pontual gera uma onda esférica, num processo que depois se reproduz em todos os pontos do espaço atingidos por essa onda. Cada ponto do espaço percorrido pela onda mãe vai, por sua vez, gerar ondas esféricas filhas que se somam umas às outras, construindo, por interferência e superposição, uma onda total que se propaga pelo espaço. Com esse esquema, Huygens conseguiu explicar o fenômeno de difração da luz por aberturas pequenas, descoberto em 1665 pelo jesuíta italiano Francesco Grimaldi, e mais tarde por Hooke. Esse fenômeno consiste em manchas luminosas dentro da sombra criada por objetos opacos.

A teoria corpuscular só foi invalidada após 100 anos de experiências mal sucedidas que tentavam decifrar os fenômenos de difração, interferência e polarização da luz, posteriormente explicados pela teoria ondulatória de Huygens. No século XIX, a pesquisa de Huygens foi aperfeiçoada por Thomas

Young e Augustin Fresnel, rejeitando de vez a teoria corpuscular. Por onda, estamos nos referindo a uma dupla oscilação, no espaço e no tempo.

Outro personagem importante para o entendimento da natureza da luz foi James Clerk Maxwell (1831-1879). A pesquisa de Maxwell sobre o eletromagnetismo iniciou-se por meio da comparação do escoamento de fluidos incompressíveis com os campos observados por Michael Faraday (1791-1867). Em seguida, ele desenvolveu um modelo dos fenômenos eletromagnéticos utilizando o conceito de campo e o de vórtices análogos aos observados nos fluidos, representando a intensidade magnética e a corrente elétrica. Depois, introduziu a elasticidade no fenômeno e demonstrou que ondas transversais se propagariam em termos das conhecidas constantes fundamentais do eletromagnetismo. Maxwell calculou que as ondas se propagariam a velocidades muito próximas à da velocidade da luz. A partir disso, ele inferiu que a luz poderia ser compreendida como ondas eletromagnéticas transversais. Dessa forma, Maxwell conseguiu oferecer uma grande contribuição para o entendimento da natureza da luz.

A respeito das propriedades das ondas eletromagnéticas de Maxwell, Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894) passou a estudá-las, descobrindo que sua velocidade de propagação é igual à velocidade da luz no vácuo, comportando-se de maneira semelhante à luz, e que oscilam num plano que contém a direção de propagação. Ele também demonstrou a refração, reflexão e polarização das ondas. Em 1888, apresentou os resultados de suas experiências à comunidade científica, alcançando o merecido sucesso. Nesse mesmo período, Hertz (1887) observou que quando a luz incidia no centelhador do receptor, a produção de centelhas era facilitada, ou seja, um número maior de elétrons era ejetado. Esse fenômeno já havia sido observado por A. E. Becquerel em 1839.

Após a morte de Hertz, seu assistente, Philipp Eduard Anton von Lenard (1862 - 1947), continuou a investigar o fenômeno e observou que a corrente máxima no tubo de raios catódicos era proporcional à intensidade da luz, o que era esperado. No entanto, não havia uma intensidade mínima para que a corrente fosse nula, gerando conflito com a teoria ondulatória.

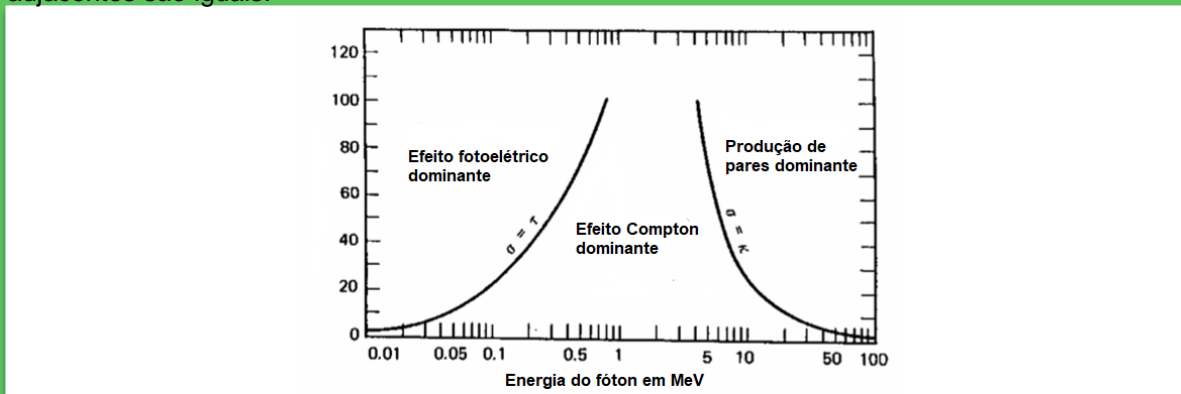
Embora os dados iniciais fossem limitados, a relação entre a voltagem crítica e o comprimento de onda da luz se destacou o suficiente para influenciar o jovem Albert Einstein (1879 - 1955), que na época trabalhava como examinador de patentes no escritório de patentes da Suíça em 1905. Ele conectou esse efeito com a recente teoria introduzida por Planck em 1900, que sugeriu que a matéria emite sua energia em unidades discretas de energia  $h\nu$ . Einstein postulou que a luz transfere sua energia para um absorvedor em pacotes ou quanta de energia  $h\nu$ . O Prêmio Nobel de 1921 foi concedido a Albert Einstein por sua descoberta da "lei do efeito fotoelétrico".

Em meados de 1920, Arthur Holly Compton (1892 - 1962) conduzia experimentos de espalhamento com raios-X monocromáticos em diferentes materiais. Observou-se que, após o espalhamento, a energia dos raios-X se alterava, sempre decrescendo. Compton fez incidir um feixe de raios-X com comprimento de onda  $\lambda$  sobre um alvo de grafite. Mediu-se a intensidade dos raios-X espalhados em função do comprimento de onda para vários ângulos de espalhamento. Da perspectiva da teoria eletromagnética clássica (ondulatória), não é possível explicar a redução na energia dos raios-X. No entanto, ao considerarmos que a radiação incidente é composta por um feixe de fótons, devemos levar em conta apenas a energia do fóton ( $E=h\nu$ ). De acordo com a conservação do momento, a energia após o espalhamento será  $E'=h\nu' < E$ , concordando com os resultados dos experimentos de Compton. A partir desses resultados, Compton concluiu que o espalhamento poderia ser interpretado como uma colisão entre um fóton de raio X e um elétron do material do alvo, mantendo a conservação da energia e do momento linear durante a colisão. Em razão de sua contribuição para a compreensão do espalhamento de fótons por elétrons livres, o fenômeno é denominado efeito Compton em homenagem a Compton, que realizou experimentos com espalhamento de raios X e gama na década de 1920. Ele concluiu que era possível interpretar o espalhamento da radiação eletromagnética como resultado da colisão de um único fóton com um único elétron livre (ou com energia de ligação desprezível).

Hoje sabemos que os fótons não possuem carga elétrica e são capazes de atravessar porções consideráveis de matéria sem sofrer interações. A absorção e a detecção de fótons de alta energia, como os raios gama, pela matéria, ocorrem através de um dos seguintes processos, indicados na Figura 1:

1. Efeito fotoelétrico: quando praticamente toda a energia do fóton é transferida para um elétron do material.
2. Espalhamento Compton: parte da energia do fóton é transferida para um elétron e o restante é “espalhado” na forma de outro fóton.
3. Criação de pares elétrons-pósitrons: quando a energia do fóton se transforma em um pósitron e um elétron (com massa total equivalente a duas vezes a massa do elétron) e a energia restante é convertida em energia cinética do par.

Figura 1 – Regiões de predominância das três formas de interação dos fótons. As curvas indicam valores de números atômicos e energias dos fótons para os quais as probabilidades dos processos adjacentes são iguais.



Fonte: The Atomic Nucleus, R. D. Evans – McGraw-Hill 1955.

A probabilidade relativa de ocorrência desses três processos depende da energia do fóton e do número atômico  $Z$  do material absorvente (Figura 1). O efeito fotoelétrico predomina para fótons de baixa energia e alto número atômico; a criação de pares predomina para altas energias e também alto  $Z$ ; e o efeito Compton predomina para energias intermediárias e baixo  $Z$ . Em uma porção extensa de matéria, é possível a ocorrência simultânea de mais de um desses processos.

<p><b>Efeito fotoelétrico</b></p> <p>Ponor, CC BY-SA 4.0 &lt;<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/</a>&gt;, via Wikimedia Commons</p>	<p><b>Efeito Compton</b></p> <p>Jkrieger, Public domain, via Wikimedia Commons</p>	<p><b>Produção de elétron-pósitrons</b></p> <p><a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pairproduction-pt.png#/media/Ficheiro:Pairproduction-pt.png">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pairproduction-pt.png#/media/Ficheiro:Pairproduction-pt.png</a></p>
---	--	--

Diante dos avanços na compreensão da natureza da luz, evidenciados pela trajetória de estudos e experimentos desde Robert Hooke e Isaac Newton até as descobertas de Albert Einstein, Arthur Holly Compton e outros cientistas, torna-se claro que a investigação sobre os fótons, suas interações e propriedades tem sido uma jornada fascinante na história da ciência. A evolução do entendimento sobre os fenômenos fotônicos, desde os debates sobre a natureza da luz até a compreensão dos processos de interação com a matéria, ilustra o dinamismo e a complexidade do conhecimento científico. A exploração contínua desses fenômenos promete novas descobertas e aplicações,



mostrando o potencial transformador das investigações sobre a luz e os fótons para as ciências e a sociedade.

Agora é com você! Acesse o formulário que foi disponibilizado juntamente com este texto. Ele contém apenas quatro questões curtas, com o objetivo de avaliar sua compreensão sobre a natureza quântica da luz.

Ainda no momento assíncrono, juntamente com o texto, o professor deve disponibilizar o questionário a seguir. Isso possibilitará a captura das informações pertinentes ao tema abordado no texto, que constitui o principal objetivo desta aula.

### Questionário

#### Afinal, o que é a luz? Uma onda ou uma partícula?

1 - Qual contribuição significativa Robert Hooke ofereceu na discussão sobre a natureza da luz no século XVII, e de que maneira sua proposta de um modelo ondulatório contrastou com a teoria corpuscular de Isaac Newton?

Anote aqui a sua resposta:

2 - Quais são os diferentes processos pelos quais os fótons podem interagir com a matéria, e em que situações a criação de pares elétrons-pósitrons se destaca?

Anote aqui a sua resposta:

3 - Qual é a explicação do efeito Compton em termos da teoria corpuscular da luz, e como essa explicação contrasta com a teoria ondulatória?

Anote aqui a sua resposta:

4 - Como os estudos sobre a natureza da luz influenciaram o desenvolvimento científico ao longo da história e quais são as perspectivas futuras dessas pesquisas?

Anote aqui a sua resposta:

É crucial que o professor obtenha as respostas de todos os alunos dentro de um intervalo mínimo de 24 horas antes do encontro síncrono, que deve ser programado e comunicado aos alunos. Isso permitirá uma análise das respostas e facilitará o encontro síncrono.

No momento síncrono, sugere-se que o professor promova um diálogo com os alunos para que estes possam compartilhar o conhecimento adquirido anteriormente no momento assíncrono. Isso possibilitará que o professor realize um aprofundamento relacionado aos diferentes processos de interação da luz com a matéria, tais como o efeito fotoelétrico, o espalhamento Compton e a criação de pares elétron-pósitron, proporcionando uma visão abrangente da física moderna relacionada à luz e aos fótons. O diálogo deve ser embasado nas respostas dos alunos ao questionário aplicado durante o momento assíncrono.

## 4 Orientações finais

Considerando as informações apresentadas, o produto educacional desenvolvido consiste em um guia didático para aulas de FMC. Este guia aborda conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico, contextualizando-os com dispositivos eletroeletrônicos presentes no cotidiano dos alunos.

Ao aplicar a SD, sugere-se que o professor busque estimular a participação ativa dos alunos, incentivando-os por meio de diálogos a compartilhar o conhecimento adquirido previamente durante o momento assíncrono. Além disso, é fundamental que o professor aprofunde esses assuntos durante os momentos síncronos da SAI.

No contexto da RE, é essencial que o professor prepare previamente materiais para cada estação e forneça instruções claras sobre as atividades a serem desenvolvidas, além de definir o tempo que os alunos passarão em cada uma delas.

Destaca-se também a importância de o professor monitorar o progresso dos alunos e estar disponível para responder a dúvidas e fornecer suporte conforme necessário durante todo o período de aplicação da SD, tanto durante a RE quanto na SAI.

Recomenda-se, portanto, que o professor aplique todas as atividades desta SD na íntegra e na sequência apresentada. No entanto, caso opte por aplicar apenas uma ou algumas delas, é importante que esteja atento para realizar as adaptações necessárias sem comprometer os objetivos a serem alcançados em cada atividade.

## Referências

- BACICH, Lilian; TANZI NETO, Adolfo; TREVISANI, Fernando de Mello (org). **Ensino Híbrido: personalização e Tecnologia na Educação**. Porto Alegre: Penso. 2015.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Flip your classroom: Reach every student in every class every day**. International society for technology in education. 2012. 124p.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem**. Rio de Janeiro: LTC, v. 114, 2016.
- BISHOP, Jacob L. **A controlled study of the flipped classroom with numerical methods for engineers**. UTAH State University, 2013.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>> Acesso em 29 Jul. 2022.
- BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna?. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.
- DE SOUZA, Pricila Rodrigues; DE ANDRADE, Maria do Carmo Ferreira. Modelos de rotação do ensino híbrido: estações de trabalho e sala de aula invertida. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838**, v. 9, n. 1, p. 03-16, 2016.
- HORN, Michael B.; STAKER, Heather. **Blended: Using Disruptive Innovation to Improve Schools**. Jossey-Bass, 2015.
- LIMA, Leandro Holanda F. de; MOURA, Flávia Ribeiro de. O professor no ensino híbrido. **Ensino híbrido: personalização e tecnologia na educação**. Porto Alegre: Penso, v. 1, p. 89-102, 2015.
- MASINI, Elcie F. Salzano; MOREIRA, Marco A. **Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel**. São Paulo: Centauro Editora. 2ª edição, 2006.
- MORAN, José M. *et al.* Mudando a educação com metodologias ativas. **Coleção mídias contemporâneas. Convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens**, v. 2, n. 1, p. 15-33, 2015.
- MORAN, José M. *et al.* **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 21. ed. rev. e atual. Campinas, São Paulo: Papirus, 2013. Coleção Papirus Educação. 171 p.
- MOREIRA, Marco Antonio. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do professor de física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: EPU. 1ª edição, 1999.
- OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Sala de aula invertida (Flipped classroom): inovando as aulas de física. **Física na escola**. São Paulo. Vol. 14, n. 2 (out. 2016), p. 4-13, 2016.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

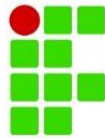
SASSERON, Lúcia Helena. **Alfabetização científica no ensino fundamental: estrutura e indicadores deste processo em sala de aula**. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2008. 265 p. Tese (Doutorado) — Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo (FEUSP), Doutorado em Educação, São Paulo, 2016.

SCHMITZ, Elieser Xisto da Silva. **Sala de aula invertida: uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem**. 2016. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Mestrado em Tecnologias Educacionais em Rede, Santa Maria, 2016.

STAKER, Heather; HORN, Michael B. **Classifying K-12 blended learning**. Mountain View, CA: Innosight Institute, Inc. 2012. Disponível em: <<http://www.christenseninstitute.org/wp-content/uploads/2013/04/Classifying-K-12-blended-learning.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2024.

STUDART, Nelson. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. 3, p. 1-24, 2019.

ZAQUEU, Ana Cláudia Molina; RAMOS, Daniel Costa; NETTO, Antonio Valério. Curumim: A Robótica Educacional como Proposta Metodológica para o Ensino. In: **Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação**. 2013.



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Espírito Santo

---

Campus  
Cariacica

ISBN 9788582639122