ABORDAGEM TEÓRICA EXPERIMENTAL SOBRE EFEITO FOTOELÉTRICO NO INSTITUTO FEDERAL EM XAPURI-AC

Isaías Fernandes Gomes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação na Universidade Federal do Acre (UFAC) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora
Profa. Dra. Bianca Martins Santos

Rio Branco - AC
Outubro - 2021

ABORDAGEM TEÓRICA EXPERIMENTAL SOBRE EFEITO FOTOELÉTRICO NO INSTITUTO FEDERAL EM XAPURI-AC

Isaías Fernandes Gomes

Orientadora
Profa. Dra. Bianca Martins Santos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação na Universidade Federal do Acre (UFAC) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

_____
Profa. Dra. Bianca Martins Santos

_____
Prof. Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

_____
Profa. Dra. Gahelyka Aghta Pantano Souza

Rio Branco
Outubro - 2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

G633a Gomes, Isaías Fernandes, 1987- .
Abordagem teórica experimental sobre efeito fotoelétrico no Instituto Federal em Xapuri / Isaías Fernandes Gomes. – 2021.
149f. : il. ; 30cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Acre. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Rio Branco, Acre, 2021.
Orientadora: Profa. Dra. Bianca Martins Santos.
Inclui referências e apêndice.

1. Física - estudo e ensino. 2. Física moderna. 3. Efeito fotoelétrico. 4. Experimentação em física. I. Santos, Bianca Martins (orientadora) II. Universidade Federal do Acre. MNPEF. III. Título

CDD: 530

Bbliotecária Kezia Santos CRB-11/508

Dedico esta Dissertação a Deus, minha esposa Evelin Torres e meu filho Caleb Gomes que compreenderam a minha ausência nesse período de pós-graduação.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me ajudar a superar todas as dificuldades que enfrentei durante essa caminhada.

Aos meus pais Venderlei e Geralda, meus irmãos Vanessa, Gisele, Fabrício, Fábio e Felipe, a minha esposa Evelin e meu filho Caleb que estão ao meu lado me apoiando nessa jornada pelo conhecimento.

A todos os professores e colegas do programa.

Às instituições que me apoiaram durante esta pesquisa: Instituto Federal do Acre de Educação Ciência e Tecnologia do Acre Campus Xapuri – IFAC; e Universidade Federal do Acre – UFAC;

Ao Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física (MNEPF), pela responsabilidade de conduzir uma área de tão grande importância neste polo de ensino.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), por continuar abraçando a educação brasileira com tanta dedicação.

Por fim, a minha orientadora Bianca, que me deu toda sua confiança e paciência, me ensinando a ser um professor ainda melhor e ajudando a contribuir para o ensino de Física.

A todos vocês o meu muito obrigado.

RESUMO

ABORDAGEM TEÓRICA EXPERIMENTAL SOBRE EFEITO FOTOELÉTRICO NO INSTITUTO FEDERAL EM XAPURI-AC

O ensino de Física nas escolas de Ensino Médio precisa ser vinculado com a sociedade moderna, que acompanhe os avanços tecnológicos presentes no cotidiano dos alunos. Neste sentido, o presente trabalho está fundamentado nos avanços em Ciência e Tecnologia, em particular no fenômeno do efeito fotoelétrico. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma sequência de atividades didáticas, utilizando os três Momentos Pedagógicos que abordam o estudo da Física Moderna para o último ciclo do Ensino Médio. Mesmo diante da importância do ensino de Física Moderna, seu conteúdo, formação de habilidades, competências e valores apresentam uma desconexão com as vivências da sociedade atual. Como proposta de ensino, adaptado à vida do século XXI, foi desenhado e aplicado em sala de aula o estudo do efeito fotoelétrico e sua utilidade observada no dia a dia na forma de inovações tecnológicas, por exemplo, para acionamento de portas, torneiras, iluminação pública e demais aplicações fundamentadas na teoria de Einstein do efeito fotoelétrico. Como resultados, foram observados que os alunos reconheceram a importância do efeito fotoelétrico, bem como sua aplicabilidade no dia a dia. São discutidos aspectos importantes sobre o ensino do tema com outros autores com base nos resultados. E ao final, conclusões sobre o relato de experiência são apresentadas, destacando que no decorrer da implementação da sequência didática, foi possível verificar a participação, o entusiasmo e o envolvimento dos alunos nas discussões sobre o tema abordado.

Palavras-chave: Ensino de Física, Física Moderna, Efeito Fotoelétrico, Experimentação em Física.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL THEORETICAL APPROACH ON PHOTOELECTRIC EFFECT IN THE FEDERAL INSTITUTE IN XAPURI-AC

The teaching of Physics in high schools needs to be linked to modern society, which keeps up with the technological advances present in the daily lives of students. In this sense, the present work is based on advances in Science and Technology, in particular on the phenomenon of the photoelectric effect. This work aims to develop a sequence of didactic activities, using the three Pedagogical Moments that address the study of Modern Physics for the last cycle of High School. Even given the importance of teaching Modern Physics, its content, formation of skills, competences and values are disconnected from the experiences of current society. As a teaching proposal, adapted to the life of the 21st century, the study of the photoelectric effect was designed and applied in the classroom and its usefulness observed in everyday life in the form of technological innovations, for example, for operating doors, faucets, lighting public and other applications based on Einstein's theory of the photoelectric effect. As a result, it was observed that students recognized the importance of the photoelectric effect, as well as its applicability in everyday life. Important aspects of teaching the subject are discussed with other authors based on the results. And at the end, conclusions about the experience report are presented, highlighting that during the implementation of the didactic sequence, it was possible to verify the participation, enthusiasm and involvement of students in discussions on the topic addressed.

Keywords: Teaching Physics, Modern Physics, Photoelectric Effect, Experimentation in Physics

Lista de Quadros

Quadro 1: Da descoberta do efeito fotoelétrico até a teoria fotônica. 15
Quadro 2: Demétrio Delizoicov Neto..... 18
Quadro 3: José André Angotti 19
Quadro 4: Marta Maria Castanho Almeida Pernambuco 19
Quadro 5: Síntese das etapas dos Três Momentos Pedagógicos da Sequência didática proposta 31
Quadro 6: Alguns exemplos citados pelos alunos de respostas do problema 39
Quadro 7: Explicações citados pelos alunos sobre o funcionamento das portas automáticas 40
Quadro 8: Respostas sobre o funcionamento do efeito fotoelétrico, e por ele não pode ser explicado pela física clássica 44

Lista de Figuras

Figura 1 – Representação de um corpo negro. Emissão e absorção de radiação térmica por todos os pontos da cavidade. Em azul, um sensor de radiação. 7
Figura 2 - Radiância de um corpo negro em função da frequência. 7
Figura 3 - Lei do deslocamento de Wien..... 8
Figura 4 - Distribuição espectral da radiação térmica. 9
Figura 5 - Representação do experimento de Hertz para detectar as ondas eletromagnéticas. 11
Figura 6 - Representação do arranjo experimental utilizado por Lenard. 12
Figura 7 - Albert Einstein 13
Figura 8 - Energia cinética máxima dos fotoelétrons em função da frequência do fóton 14
Figura 9 - Gráfico da frequência de corte de três metais..... 15
Figura 10 - Espiral de Bruner 24
Figura 11 - Montagem experimental para acendimento de lâmpada com o uso de relé fotoelétrico..... 34
Figura 12 - Montagem do circuito com Relé fotoelétrico em uma rede de 220 V..... 34
Figura 13 - Tela principal do Simulador do efeito fotoelétrico..... 36
Figura 14 - Resultados do questionário avaliativo com índice de acertos e erros..... 46

Sumário

Introdução 1
Capítulo 1 – Efeito fotoelétrico 6
1.1 Conceitos físicos envolvidos 6
1.1.1 A Teoria de Planck 6
1.1.2 O Efeito Fotoelétrico 10
1.1.3 Teoria de Einstein do Efeito Fotoelétrico 13
1.2 Ensino de efeito fotoelétrico 16
Capítulo 2 – Fundamentação teórica 18
2.1. Três Momentos Pedagógicos (3MPs) 18
2.1.1 Primeiro Momento: a problematização inicial 20
2.1.2 Segundo Momento: Organização do Conhecimento 22
2.1.3 Terceiro Momento: Aplicação do Conhecimento 23
2.2 Teoria de Aprendizagem de Bruner 24
2.3 Experimentação no ensino de física 26
Capítulo 3 – Procedimentos metodológicos 28
3.1 Delineamento do trabalho 28
3.2 Público alvo 29
3.3 Sequência didática proposta e aplicada 30
3.3.1 Problematização inicial 32
3.3.2 Problematização através de leitura investigativa 32
3.3.3 Organização do conhecimento: Sistematização do conhecimento feita pelo professor 33
3.3.4 Organização do conhecimento: Demonstração experimental com Relé Fotoelétrico 34
3.3.5 Organização do conhecimento: Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano 35
3.3.6 Organização do conhecimento: Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico 35
3.3.7 Aplicação do Conhecimento 36
Capítulo 4 – Resultados e discussões 37
4.1 Problematização Inicial 38
4.2 Organização do Conhecimento 42
4.3 Aplicação do Conhecimento 45
Considerações finais 47
Referências 49
Apêndice – Produto Educacional 54

Introdução

Entre os séculos XVII e XIX as contribuições das ciências e das artes revolucionaram o desenvolvimento da sociedade como nunca. Na Física, os estudos sobre Mecânica, Eletromagnetismo e Termodinâmica sustentam as bases para o entendimento de interessantes fenômenos naturais e de aplicações importantes para a economia, transporte, comunicações, energia etc. A Física, apoiada nessas bases, hoje, chama-se de Física Clássica.

Desde a última década do século XIX até as primeiras décadas do século XX nascia a Física Moderna, um novo modelo fundamentado na Mecânica Quântica e na Teoria da Relatividade. No Ensino Médio, em particular nos Institutos Federais, a Física Moderna deve possibilitar o entendimento de diversas situações vivenciadas pelos estudantes no seu cotidiano. O funcionamento automático de uma porta, de uma lâmpada de iluminação pública ou de uma torneira, são aplicações, por exemplo, da Física Moderna, em particular do efeito fotoelétrico.

De acordo com Valadares e Moreira (1998) é indispensável que o aluno do Ensino Médio conheça os fundamentos das tecnologias, pois isso contribui no seu desenvolvimento intelectual e, possivelmente, no seu futuro profissional. Daí a importância de atender as orientações metodológicas para o ensino da Física Moderna nas escolas de nível médio, como nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (BRASIL, 2000), PCN+ (BRASIL, 2002), Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) (BRASIL, 2012; BRASIL, 2018) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018), que reforçam a necessidade da inserção de abordagens teóricas e experimentais no ensino (BRASIL, 2014).

Segundo Studart (2003) o ensino de Física para o Ensino Médio, tem-se limitado à Física Clássica: Mecânica, Calor, Ondas, Óptica, Eletricidade e Eletromagnetismo, embora temas de Física Moderna estejam contemplados nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006) e PCN+ (BRASIL, 2002); e haja consenso entre os pesquisadores e docentes acerca da importância e a necessidade da inserção da Física Moderna no Ensino Médio (MONTEIRO; NARDI, 2007).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, expressa que:

> No Ensino Médio, a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias oportuniza o aprofundamento e a ampliação dos conhecimentos explorados na etapa anterior. Trata a investigação como forma de engajamento dos estudantes na aprendizagem de processos, práticas e procedimentos científicos e tecnológicos, e promove o domínio de linguagens específicas, o que permite aos estudantes analisar fenômenos e processos, utilizando modelos e fazendo previsões. (BRASIL, 2018, p. 472)

No Brasil, segundo a Lei de Diretrizes Básicas da Educação (LDB) em seu artigo 35º, o Ensino Médio tem as seguintes finalidades:

> I - a consolidação e o *aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental*, possibilitando o prosseguimento de estudos;
> II - *a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando*, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;
> III - o *aprimoramento do educando como pessoa humana*, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico; (BRASIL, 1996, p. 13)

Melhorato e Nicoli (2012) defendem que para alcançar os objetivos reais do Ensino Médio, torna-se importante discutir as possibilidades de realizar abordagens mais dinâmicas e interativas com os conteúdos, que facilitem a compreensão e tornem o ensino da Física Moderna mais atrativo aos estudantes. E nesta direção, os materiais didáticos são ferramentas importantes para o processo de ensino-aprendizagem, como por exemplo, as aulas experimentais que facilitam a interação com outras ideias que compõem as representações mentais do aluno (AUSUBEL, 1963).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) indicam o ensino experimental como uma metodologia eficaz para estimular os estudantes a aprender mais sobre o conteúdo:

> É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física [...]. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. (BRASIL, 2002, p. 84).

Em consonância com a BNCC e os PCNs, destaca-se que as atividades experimentais no ensino de ciências fazem parte da formação de conceitos científicos (ZANON, 2007). As atividades experimentais podem desenvolver o interesse para o estudo, ao estimular distintos canais cognitivos através de meios, questionamentos, erros, observações, expressões e comunicações orais e escritas, verificação de hipóteses,

e de outras motivações individuais e coletivas. (ARAÚJO; ABIB, 2003; CARVALHO, 2010; GASPAR, 2014).

Embora estejam presentes no cotidiano das vivências ou das informações, o conteúdo de Física Moderna raramente é abordado ou nem chegam a serem vistos no Ensino Médio. Isto não poderia ser justificado por falta de tempo ou porque tal conteúdo só aparece nos livros didáticos já nos capítulos finais ou ainda pela falta de capacitação dos docentes (KOPP; DE ALMEIDA, 2019; BONFIM; COSTA; NASCIMENTO, 2019). Essas "justificativas" não são aceitáveis, pois ferem as orientações metodológicas para o Ensino Médio. Outro problema do processo de ensino-aprendizagem da Física Moderna pode estar relacionado a uma franca contradição entre a dotação experimental existente, que atende as necessidades do planejamento educacional, mediante o aparelhamento de laboratórios com adequados equipamentos, por um lado, e o seu desuso e obsolescência (ROCHA; RICARDO, 2014; PEREIRA; DUARTE, 2016).

Além disso, quanto ao ensino do efeito fotoelétrico no ensino médio, tema de estudo da presente dissertação, a situação tem sido alarmante, uma vez que essa disciplina é pouco atraente para a maioria dos alunos, devido à forma como ela é apresentada aos discentes, distanciando a teoria da prática (RICARDO; FREIRE, 2007). Outro fator considerado, diz respeito aos profissionais sem formação específica na área de Física, que atuam como professores da componente curricular de física. Da Rosa, Cótica e Henrique (2016) afirmam que a forma como o ensino da física vem sendo apresentada nos livros de textos, e em sala de aula, está distanciada e distorcida do seu real propósito.

Em relação ao ensino de Física no Brasil, Rosa (2005) relata que do ponto de vista concreto, ou seja, o que é estudado em sala de aula, não houve alterações fundamentais no ensino de Ciências, permanecendo um ensino preso a modelos tradicionais. Em particular, o Ensino de Física não consegue alcançar os níveis desejados, sendo praticado sem relação com a Sociedade, a Tecnologia e as Ciências, mantendo-se voltado apenas à informação, sem qualquer vínculo com as concepções modernas da educação.

A abordagem do Ensino de Física nas escolas no Brasil ainda é semelhante ao que se praticava a há anos:

> ".... no início do século XXI, mais de cem anos de história se passaram desde a introdução da Física nas escolas no Brasil, mas sua abordagem continua

> fortemente identificada com aquela praticada a cem anos atrás: ensino voltado para a transmissão de informações através de aulas expositivas utilizando metodologias voltadas para resolução de exercícios algébricos. Questões voltadas para o processo de formação dos indivíduos dentro de uma perspectiva mais histórica, social, ética, cultural, permanecem afastadas do cotidiano escolar, sendo encontradas apenas nos textos de periódicos relacionados ao ensino de Física, não apresentando um elo com o ambiente escolar." (ROSA, 2005, p. 04)

Como proposta de melhoria da qualidade de ensino da Física para o Ensino Médio, Gonçalves, De Andrade e Oliveira (2017) sugerem um ensino de forma sistemática e experimental, promovendo uma reflexão entre os fatos e suas explicações por meio de conceitos aprendidos em sala de aula.

De acordo com Rosa (2005) a Física enquanto uma ciência que estuda a natureza tem na experimentação um forte aliado, visto que através da experimentação a teoria ganha compreensão pela significação dos conceitos. De acordo com BNCC (BRASIL, 2018) o Ensino de Física deve ser organizado através da integração entre os processos de práticas de investigação, ou seja, requer a assimilação de um conjunto de procedimentos, métodos e técnicas de investigação, de natureza teórica e experimental.

No estado do Acre, local onde a presente pesquisa foi desenvolvida, mais especificamente na cidade de Xapuri, há relatos na literatura sobre as condições dos laboratórios das escolas de ensino médio. Segundo pesquisa realizada por Pereira e Duarte (2016) a maioria dos laboratórios de Ciências estão abandonados e é possível perceber a ausência da experimentação em muitas escolas. Os autores revelam que em 15 municípios do Acre onde foi observada a estrutura dos laboratórios de Física (de Ciências), o resultado da observação demonstrou que de 47 escolas, quase 90% desses laboratórios estavam em situação ruim ou péssima, indicando a ausência da experimentação no currículo.

Neste contexto, o presente trabalho percorre o seguinte problema de pesquisa: O uso de experimentação e exemplos de situações do cotidiano para abordagem do tema "Efeito fotoelétrico", podem contribuir para a compreensão do assunto em aulas de física? Com base neste problema de pesquisa, foram propostos os seguintes objetivos gerais: Desenvolver e aplicar uma sequência didática de atividades experimentais sobre o efeito fotoelétrico para o último ciclo do Ensino Médio; e Relatar a experiência didática vivenciada nas aulas.

Como objetivos específicos para desenvolvimento da aula e elaboração do produto educacional, foram propostos: Descrever os fundamentos quânticos da Física

Moderna; Compreender a teoria de Einstein do efeito fotoelétrico; e Relacionar tópicos da Física Moderna com o cotidiano. Como objetivos específicos de pesquisa, foram propostos: Fazer um estudo sobre o Efeito fotoelétrico na teoria e sobre o aspecto de abordagens metodológicas; Desenvolver a sequência didática com uso de experimentação e situações do cotidiano; Relatar a experiência didática sobre a sequência didática aplicada; e Disponibilizar gratuitamente a sequência didática via plataforma da EduCapes.

Para isso, a dissertação está organizada da seguinte forma. No capítulo 1 é apresentado os conceitos físicos da teoria de Planck e o Efeito fotoelétrico. Finaliza-se este capítulo com a apresentação de como o ensino de efeito fotoelétrico tem sido trabalhado no ensino médio. No capítulo 2 é apresentado a fundamentação teórica, no qual abordam-se os três momentos pedagógicos e pontos da teoria de aprendizagem de Bruner utilizada no trabalho. Ainda na fundamentação teórica é tratado sobre o uso da experimentação no ensino de física. No capítulo 3 é tratado sobre os procedimentos metodológicos da pesquisa bem como a aplicação do produto educacional. No capítulo 4, são apresentados os resultados e discussões. E ao final são apontadas as principais conclusões sobre o trabalho. Acrescenta-se ainda no apêndice o Produto Educacional desenvolvido.

Capítulo 1 – Efeito fotoelétrico

O presente capítulo tem como finalidade apresentar conceitos físicos referentes aos temas introdutórios de física moderna, trabalhados na sequência didática proposta. Ao final apresenta-se uma seção sobre como o Efeito Fotoelétrico tem sido trabalhado no ensino médio.

1.1 Conceitos físicos envolvidos

Abordam-se na presente seção alguns fatos históricos relacionados ao surgimento da física moderna, como o desenvolvimento da teoria de Planck e os passos seguintes até a explicação física para o efeito fotoelétrico.

1.1.1 A Teoria de Planck

O surgimento da Física Moderna se dá com as ideias que já vinham sendo formuladas no final do século XIX, em particular, em relação ao fenômeno da distribuição espectral da radiação térmica.

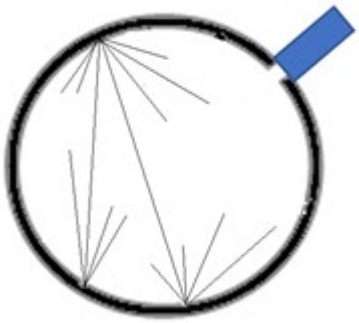
O espectro da radiação emitida por um corpo aquecido depende da temperatura e das propriedades desse corpo. Por exemplo, a observação no interior de um forno a uma certa temperatura T, permite detectar a irradiação de calor correspondente a essa temperatura. Trata-se da radiação térmica, quer dizer, radiação eletromagnética de espectro contínuo, que pode ser determinado experimentalmente mediante um pirômetro (NUSSENZVEIG, 2014).

Sabe-se pela experiência que, à medida que a temperatura de um corpo se eleva, a intensidade da radiação aumenta e a frequência correspondente ao máximo da intensidade da radiação também aumenta. Todo corpo emite e absorve radiação térmica, de todas as frequências e, com o aumento da temperatura, mais radiação é emitida.

Para o estudo da radiação térmica foi idealizado o corpo negro: um modelo de corpo em equilíbrio térmico à temperatura T. Os pontos do corpo emitem toda a radiação que absorvem. A representação do corpo negro está mostrada na figura 1: uma cavidade tridimensional coberta de negro-de-fumo, dotada de um minúsculo orifício de

observação fechado por um sensor de radiação. As linhas incidentes e emergentes representam absorção e emissão da radiação em três dos infinitos pontos do corpo.

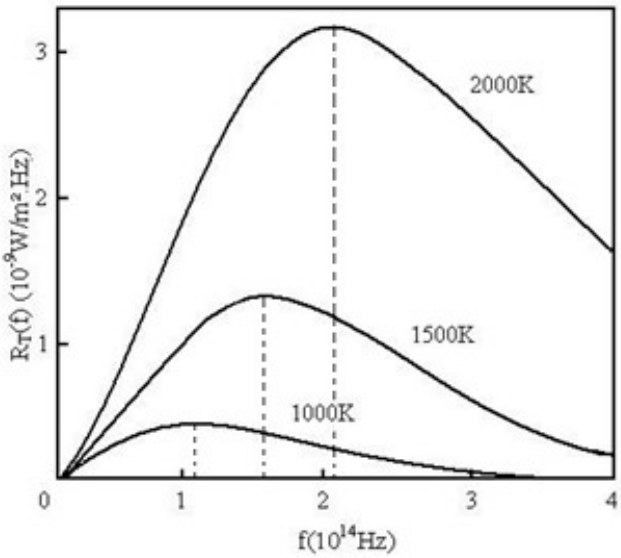
Figura 1 – Representação de um corpo negro. Emissão e absorção de radiação térmica por todos os pontos da cavidade. Em azul, um sensor de radiação.



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Eisberg; Resnick (1979)

A distribuição espectral da radiação do corpo negro obedece a relação entre a radiância e a frequência da radiação $R_{T,df}(f)$: intensidade de radiação emitida por intervalo de frequência df, a uma temperatura T, para diferentes valores de frequência. Como mostrado na figura 2.

Figura 2 - Radiância de um corpo negro em função da frequência.



Fonte: Eisberg; Resnick (1979).

Como pode ser observada na figura 2, a frequência na qual a radiância é máxima (linha pontilhada), aumenta linearmente com a temperatura. A radiância integral R_T (área sob a curva) aumenta (muito rapidamente) com a quarta potência da temperatura, segundo a lei de Stefan-Boltzman

$$R_T = \sigma . T^4 \quad (1)$$

Onde:

R_T = Radiância integral da radiação do corpo negro (W/m²);

T = Temperatura do corpo negro (K);

$\sigma = 5{,}67 \,.\, 10^{-8}\ W/m^2K^4$, constante de Stefan-Boltzmann.

A figura 2 também mostra que o espectro desloca-se para maiores frequências à medida que a temperatura T aumenta. Este resultado é chamado de *Lei do Deslocamento de Wien*.

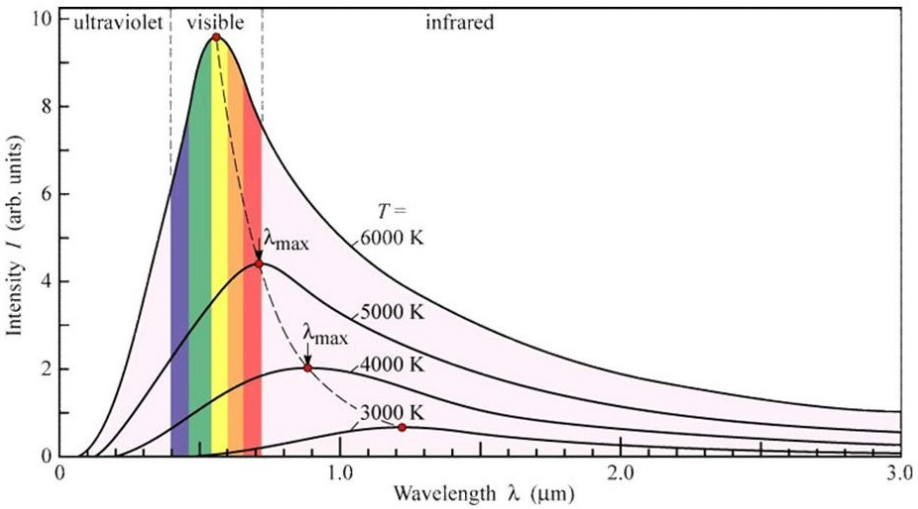
$$\frac{f_{Máx}}{T} = constante \quad (2)$$

Wien propôs um modelo que descrevia bem a relação experimental entre o comprimento de onda correspondente ao máximo da curva ($\lambda_{Máx}$) e a temperatura do corpo negro (figura 3), e tem a forma: $\lambda_{Máx} \,.\, T = constante$. Onde: o valor determinado experimentalmente para a constante de Wien é de $2{,}898 \,.\, 10^{-3}\ m.K$.

A Lei do deslocamento de Wien pode ser expressa através da equação 3:

$$\lambda_{Máx} \,.\, T = 2{,}898 \,.\, 10^{-3}\ m.K \quad (3)$$

Figura 3 - Lei do deslocamento de Wien



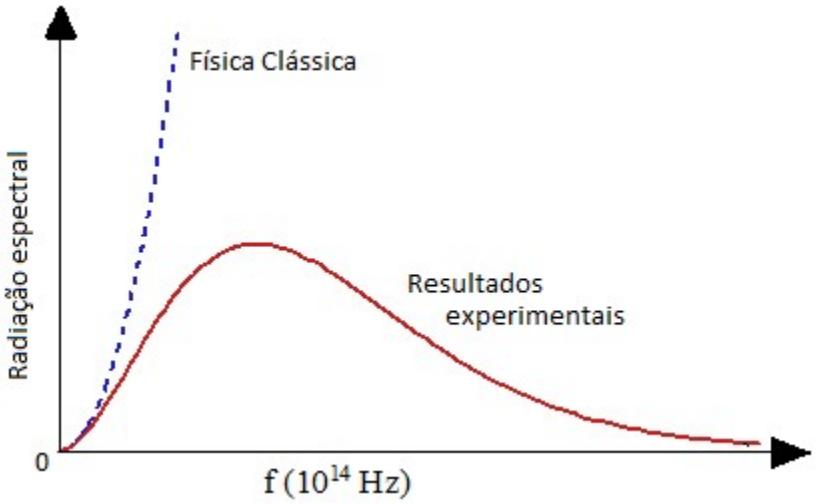
Fonte: http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/?author=1&paged=2

Ao explicar por meio da teoria clássica os resultados experimentais obtidos, observou-se que, para grandes comprimentos de onda (menores frequências), havia certa concordância com os resultados experimentais. Entretanto, para comprimentos de

onda menores (grandes frequências) havia grande discordância entre a teoria e a experiência, como demonstrado na figura 4. O comportamento discrepante da teoria clássica para altas frequências é conhecido como a "catástrofe do ultravioleta".

O termo sugere e enfatiza a não validade da Física Clássica para a explicação do espectro de radiação do corpo negro. Esse problema foi resolvido por Planck e outros pesquisadores.

Figura 4 - Distribuição espectral da radiação térmica.



Fonte: Eisberg; Resnick (1979).

Em 1879, Max Planck apresentou em Munique, na Alemanha, sua tese de doutorado sobre Termodinâmica. Dez anos mais tarde, ele assumiu uma cátedra na Universidade de Berlim, Alemanha, e passou a se dedicar ao estudo da radiação do corpo negro. Em 19 de outubro de 1900, Planck estabeleceu um marco na Física ao apresentar seu trabalho na Sociedade de Física de Berlim, e a publicação foi efetuada em 14 de dezembro de 1900, dando início ao que se popularizou como Física Quântica e Física Moderna. Pelo seu trabalho, Planck recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1918.

Para explicar a distribuição espectral da radiação térmica, Planck introduziu a revolucionária ideia, que conduziram a uma equação que concordava com os dados experimentais da radiação do corpo negro em todos os comprimentos de onda (ou frequências). Como na agitação molecular ocorrem oscilações dos portadores de carga elétrica e emissão de ondas eletromagnéticas, Planck associou osciladores harmônicos na superfície do corpo às cargas elétricas dentro das moléculas e obteve resultado de acordo com a experiência, Planck postulou que um oscilador de frequência f só poderia emitir ou absorver energia em múltiplos inteiros de um "quantum de energia".

A quantidade mínima de energia emitida, ou seja, o *quantum,* seria um pacote *hf*, de energia, em que *h* é uma constante que posteriormente foi denominada constante de Planck, ou seja, a energia do quanto seria:

$$E = hf \tag{4}$$

Em que:

- ***f*** é a frequência da radiação
- ***h*** constante de Planck, cujo valor no SI é 6,6261 x 10^{-34} J.s

Planck, apesar de ter encontrado a solução do problema, relutou em publicá-la, pois seu resultado divergia dos seus princípios fundamentados na Física Clássica. Destaca-se que:

> Planck confessou, mais tarde que só foi levado a formular esse postulado por "um ato de desespero", dizendo: "era uma hipótese puramente formal, e não lhe dei muita atenção, adotando-a porque era preciso, a qualquer preço, encontrar a explicação teórica. (NUSSENZVEIG, 2014, p. 205)

Contudo, seu resultado foi publicado em 1900 e marcou o nascimento da Física Quântica. A ideia de quantização da energia viria ser utilizada para resolver outros problemas da época, e a constante de Planck passaria a ser a marca da Física Moderna.

1.1.2 O Efeito Fotoelétrico

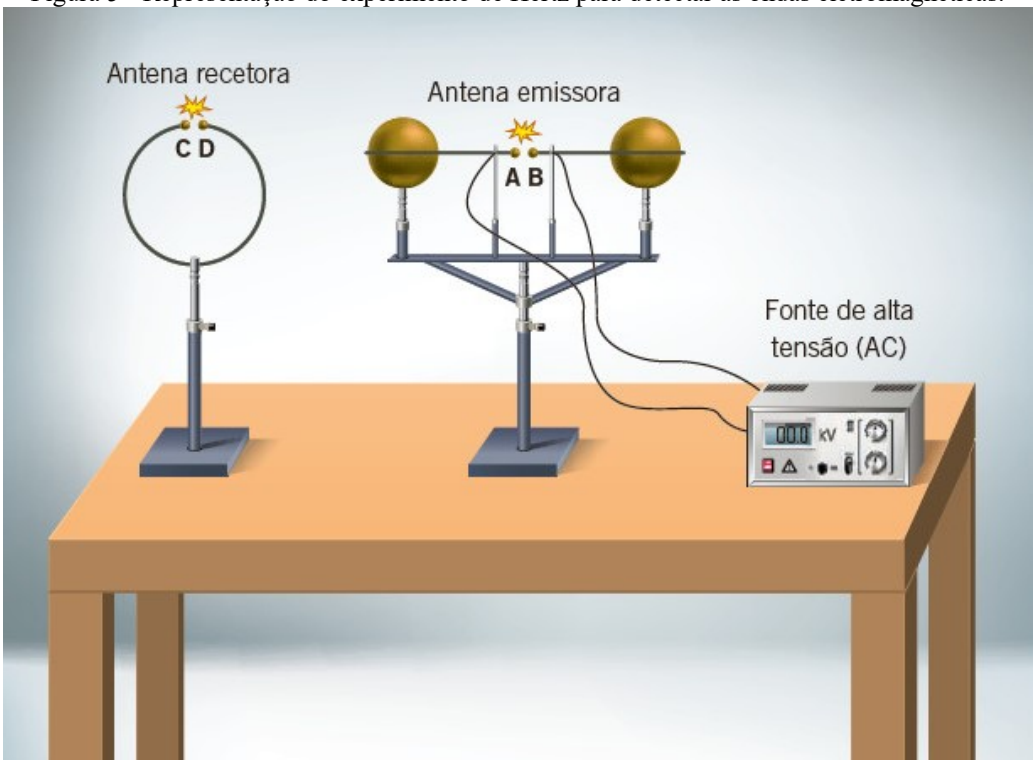
Outro problema que as leis da Física Clássica não conseguiam explicar era o efeito fotoelétrico, que foi descrito em 1887 pelo físico Heinrich Hertz (1857-1894), que percebeu que quando uma superfície metálica era iluminada por uma determinada frequência de radiação eletromagnética, elétrons eram ejetados desse metal. O problema consistia em explicar o porquê a energia cinética dos elétrons ejetados da superfície metálica não dependia da intensidade da luz incidente.

Com suas experiências, Hertz confirmou a existências das ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz. Paradoxalmente, ao comprovar a teoria de Maxwell, coroamento da Física Clássica, Hertz estava assim observando o efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização (EISBERG; RESNICK, 1979).

Em seus experimentos, ilustrados na figura 5, Hertz produzia uma descarga oscilante, fazendo saltar centelhas (faíscas) entre os eletrodos, para gerar ondas, e

detectava-as usando uma antena ressonante, onde a detecção também era acompanhada de centelhas entre os eletrodos. Ele observou que o comprimento da centelha causada pela descarga elétrica entre duas esferas metálicas diminuía quando se escurecia a sala do laboratório e tornava-se maior quando a sala era iluminada. Estudos mais detalhados do fenômeno de Hertz revelaram que, quando havia uma incidência de radiação ultravioleta na superfície de bronze da esfera polida ligada ao terminal negativo da fonte, a centelha realmente tornava-se maior.

Figura 5 - Representação do experimento de Hertz para detectar as ondas eletromagnéticas.



Fonte: https://www.santillana.pt/files/DNLCNT/Priv//_11809_c.book/282/index.html#/pag/215

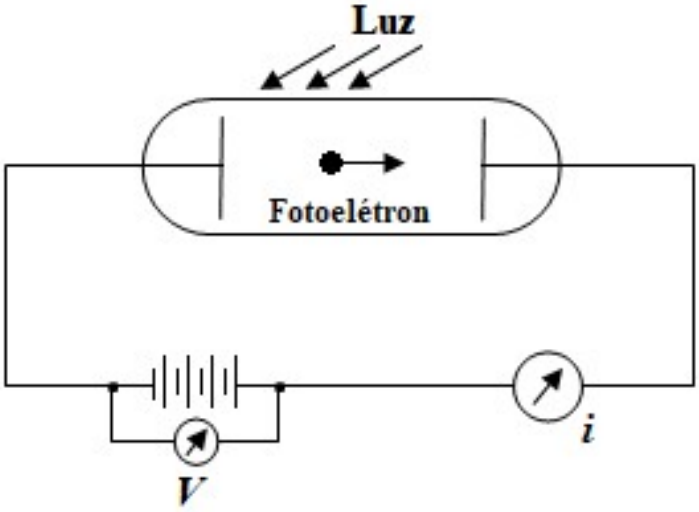
Logo, verificou-se que o aumento da descarga era uma indicação de emissão de partículas eletrizadas, provenientes da esfera, estimuladas pela incidência de radiação. Esse fenômeno foi denominado fotoeletricidade (posteriormente, efeito fotoelétrico). Nessa época, o elétron ainda era desconhecido, pois essa partícula só foi descoberta em 1897 pelo físico Joseph John Tomson (1856-1940). Foi nesse ano que as cargas elétricas emitidas pela superfície metálica no efeito fotoelétrico passaram a ser identificadas como elétrons.

As investigações posteriormente feitas sobre o efeito fotoelétrico, realizadas principalmente pelo físico alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947),

revelaram uma série de características intrigantes e contraditórias segundo o esperado com base na Física Clássica.

Num experimento típico, como ilustrado na figura 6, os eletrodos estão dentro de uma ampola de quartzo a vácuo (transparente à luz ultravioleta), e se estabelece entre eles uma diferença de potencial V, iluminando depois o catodo com luz de frequência f e intensidade I_0. Com o auxílio de um amperímetro, mede-se a intensidade i da corrente elétrica gerada.

Figura 6 - Representação do arranjo experimental utilizado por Lenard.



Fonte: (NUSSENZVEIG, 2014).

Em seus experimentos sobre efeito fotoelétrico, Lenard verificou que:

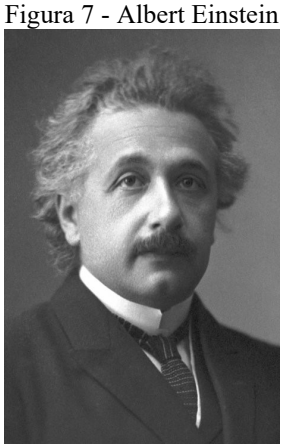
- A emissão de elétrons ocorre somente a partir de uma determinada frequência, que depende da substância sobre a qual incide a radiação. Essa frequência é denominada frequência de corte.
- Para a maioria dos metais, a frequência de corte pertence à região da radiação ultravioleta; entretanto, para óxido de césio e potássio, essa frequência pertence ao espectro visível.
- Para frequências inferiores à de corte, o efeito não ocorre, mesmo que a intensidade da radiação incidente seja aumentada.
- Quando a emissão ocorre, o número de elétrons emitidos é diretamente proporcional à intensidade da luz monocromática incidente.

A Física Clássica não conseguia explicar o fato de que a emissão dos elétrons dependia da frequência da radiação e não de sua intensidade. Isso era estranho, pois, segundo a teoria ondulatória da luz, quanto maior a intensidade, maior é a amplitude da onda e, portanto, maior é a quantidade de energia que ela transporta. Em outras palavras, segundo a teoria ondulatória da luz, para uma intensidade "suficientemente" grande, qualquer que fosse a frequência da onda incidente na superfície do metal, deveria-se "arrancar" elétrons, mas não era o que as experiências demonstravam.

1.1.3 Teoria de Einstein do Efeito Fotoelétrico

Como visto na seção anterior, a Física Clássica esbarrava em alguns pontos na tentativa de explicar o efeito fotoelétrico utilizando o caráter ondulatório da luz. A explicação compatível com os fatos experimentais foi dada por Albert Einstein (1879-1955) num trabalho publicado em 1905, intitulado "Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz", Einstein propôs uma audaciosa teoria do efeito fotoelétrico baseada numa extensão das ideias de Planck sobre a quantização da energia. (NUSSENZVEIG, 2014). O Prêmio Nobel de Física de 1921 foi concedido a Albert Einstein, (figura 7), pela sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.

Figura 7 - Albert Einstein



Fonte: https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/summary/.

De acordo com Eisberg e Resnick (1979), Einstein citou o efeito fotoelétrico como aplicação que poderia testar qual teoria estava correta, a sua ou a teoria clássica da luz. Isso aconteceu vários anos antes do trabalho de Millikan, mas Einstein foi influenciado pela experiência de Leonard. Como mencionado na *seção* 1.1, Planck originalmente restringiu seu conceito de quantização de energia aos elétrons nas paredes

de um corpo negro. Planck acreditava que a energia eletromagnética, quando irradiada, se espalhava pelo espaço. Por outro lado, Einstein propôs que a energia radiante está quantizada em pacotes concentrados, que vieram a ser chamados de fótons.

No seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico, Einstein não concentrou sua atenção na teoria ondulatória da luz, mas na sua teoria corpuscular (fotônica). Ele relacionou a energia E do fóton com sua frequência f conforme a equação (1), onde h é a constante de Planck.

$$E = hf \tag{1}$$

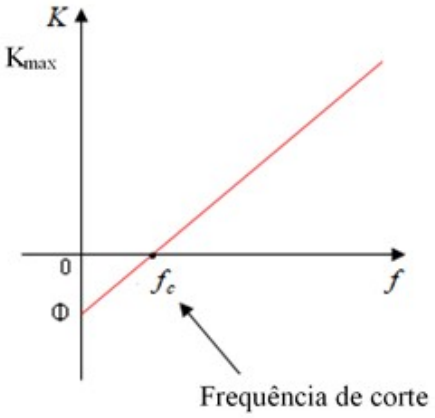
Einstein supôs que no processo fotoelétrico um fóton, $n = 1$, é completamente absorvido por um único elétron. Para uma maior quantidade de fótons incidentes, $n > 1$, a corrente fotoelétrica aumenta, correspondentemente. A expressão (2) é a equação de Einstein do efeito fotoelétrico, significa que a energia cinética máxima $K_{máx}$ do fotoelétron:

$$K_{máx} = hf - \Phi \tag{2}$$

corresponde à diferença entre a energia do fóton hf e a energia Φ necessária para que o elétron seja ejetado da superfície do metal (estado de máxima energia). Essa energia é conhecida como função trabalho ou trabalho de extração, igual a hf_c, onde f_c recebe o nome de frequência de corte.

A figura 8 mostra a representação gráfica da energia cinética máxima do fotoelétron em função da frequência do fóton incidente no metal.

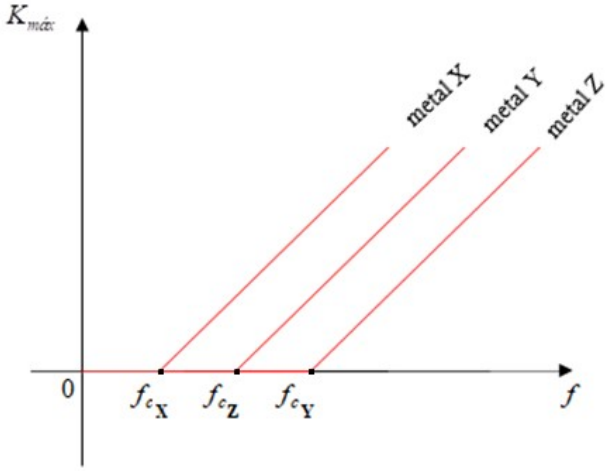
Figura 8 - Energia cinética máxima dos fotoelétrons em função da frequência do fóton



Fonte: Adaptado de Nussenzveig (2014).

Da figura 9 conclui-se que $K_{máx} = hf - \Phi$, sendo $f \geq f_c$. O coeficiente angular da reta é a constante de Planck h. Como exemplo, a figura 9 exibe a representação para três metais diferentes X, Y, Z.

Figura 9 - Gráfico da frequência de corte de três metais



Fonte: Adaptado de Nussenzveig (2014).

Esse gráfico foi confirmado experimentalmente pelo físico Robert Andrews Millikan (1868-1953), em 1916. O valor do coeficiente angular corresponde de fato à constante de Planck. Neste contexto, o Quadro 1 mostra resumidamente os fatos entre a ocorrência da descoberta do efeito fotoelétrico até a teoria do fóton.

Quadro 1: Da descoberta do efeito fotoelétrico até a teoria fotônica.

Ano	Cientista	Cronologia
1887	Hertz	Observação do efeito fotoelétrico
1897	J. J. Tomson	Descoberta do elétron
1899	P. Lenard	Contradições experimentais com base na Física Clássica
1900	Planck	Lei da radiação de Planck e quantização de energia
1905	Einstein	Equação de Einstein do efeito fotoelétrico, teoria fotônica

Fonte: Elaborada pelo autor.

Traçando um paralelo entre os pontos da teoria apresentados aqui e que serão utilizados na sequência didática (SD), pretende-se fazer o estudo da radiação térmica e o corpo negro abordando a Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei do deslocamento de Wien. Em seguida, será abordado o trabalho de Planck sobre a quantização da energia, e por fim destacamos o efeito fotoelétrico e suas aplicações. Para isso, inicialmente serão apresentadas algumas das inúmeras aplicações do efeito fotoelétrico para problematização, como por exemplo, na contagem do número de pessoas que passam

em um determinado local, na abertura e no fechamento automático de portas, nos dispositivos que ligam e desligam automaticamente sistemas de iluminação e em sistemas de alarmes.

1.2 Ensino de efeito fotoelétrico

A presente seção apresenta alguns trabalhos encontrados na literatura que trabalham o tema do efeito fotoelétrico no ensino médio. Para isso, o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes[1]) foi consultado. Utilizou-se como tema de busca central: "efeito fotoelétrico", com o filtro temporal entre 2017 e 2021, sendo feita esta consulta em agosto de 2021. Além disso, foi selecionado o refinamento disponível no Portal "Periódico revisado por pares". Com o resultado dessa busca, foram selecionados alguns trabalhos que são citados na presente seção.

De acordo com Da Rosa, Biazus e Darroz (2020) a inclusão da física moderna e contemporânea (FMC) no currículo do ensino médio deve permitir que os alunos dominem os princípios científicos e tecnológicos da produção moderna, e um dos tópicos da FMC que podemos trabalhar nas aulas de física é o conteúdo do efeito fotoelétrico, pois conforme é enfatizado por Marlim et al. (2017), o efeito fotoelétrico além do seu caráter simbólico para a história da física moderna, tem-se também a relação conceitual do tema e as aplicações cotidianas advindas desse estudo.

Segundo Da Silva Júnior e Coelho (2020) o ensino por investigação tem sido utilizado como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico. Como fica destacado pelos autores, no qual citam que a perspectiva investigativa de ensino pode potencializar não somente a dimensão conceitual da aprendizagem, mas também as dimensões: procedimental e atitudinal. Através da realização de demonstrações investigativas, como por exemplo utilizando um relé fotoelétrico, muito comum em sistemas de iluminação pública, sendo feita relação entre o desenvolvimento dos conceitos científicos com os conceitos cotidianos.

Outra abordagem importante para o ensino do fenômeno do efeito fotoelétrico é através de atividades experimentais. De acordo com Eberhardt, D. et al (2017) as alternativas experimentais usuais para o ensino do efeito fotoelétrico podem ser

[1]Encontrado no site: https://www.periodicos.capes.gov.br/

relativamente problemáticas, seja pelo preço proibitivos dos conjuntos prontos comercializados pelas indústrias de equipamentos didáticos, seja pelos riscos das montagens que utilizam lâmpadas que emitem altas intensidades de luz ultravioleta, diante disso se faz necessário que professores de física possam contar com mais opções experimentais através de equipamentos de baixa complexidade, alto potencial para contextualização e de baixo custo para o ensino desse conteúdo. Para isso os autores relatam uma montagem experimental que utiliza LEDs de diversos comprimentos de ondas como fontes de luz para a excitação da lâmpada de néon, utilizada para a determinação aproximada da frequência de corte do metal dos eletrodos da lâmpada, do sentido da corrente fotoelétrica e da dependência desta em relação a intensidade da luz incidente.

Além da utilização de experimentos de baixo custo para o ensino do efeito fotoelétrico, outro método que tem sido discutida nas últimas décadas por pesquisadores e professores (OSTERMANN; RICCI, 2005; SILVA, 2012; OLIVEIRA CARDOSO; DICKMAN, 2012) é sobre a utilização de recursos computacionais instrutivos, que permitem certo grau de interatividades do aluno com a dinâmica do fenômeno. Sendo que ambos, tanto um experimento concreto, assim como um virtual contribuem para que os estudantes construam significados quanto ao fenômeno estudado.

Relacionando as propostas de ensino encontradas na literatura e aqui apresentadas, com a proposta de atividades que compõem a sequência didática (SD) do produto educacional desenvolvido; verificam-se algumas semelhanças sobre o que já tem sido aplicado para o ensino do efeito fotoelétrico. O diferencial da SD proposta e da qual faz o relato de experiência na presente dissertação, refere-se ao uso da problematização inicial a partir de reportagens que envolvem situações reais da sociedade; acrescentadas das atividades experimentais, uma real no qual os alunos podem manusear e outra virtual pelo qual o fenômeno é exemplificado; além das discussões promovidas ao longo das aulas.

Capítulo 2 – Fundamentação teórica

O presente capítulo tem como finalidade apresentar o embasamento teórico sobre modelo didático-pedagógico, conhecido como os "Três Momentos Pedagógicos", denominados por: Problematização inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. Além disso, abordam-se conceitos básicos da teoria de aprendizagem de Bruner utilizados na dissertação. E por fim, abre-se uma seção para fundamentação teoria sobre o uso de experimentos reais e virtuais para o ensino de física.

2.1. Três Momentos Pedagógicos (3MPs)

Na presente seção são apresentados os principais conceitos do modelo didático-pedagógico, conhecida como os "Três Momentos Pedagógicos" – 3MPs (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002), abordada inicialmente por Delizoicov (1982) ao promover a transposição da concepção de educação de Paulo Freire para o espaço da educação formal. A formação dos autores do modelo dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs) estão resumidamente apresentados nos Quadros 2, 3 e 4, construídos a partir das informações retiradas da Plataforma Lattes.

Quadro 2: Demétrio Delizoicov Neto

 Demétrio Delizoicov Neto	Possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo (1973) e doutorado em Educação pela Universidade de São Paulo (1991). Atualmente é professor associado 4 da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Ensino-Aprendizagem.

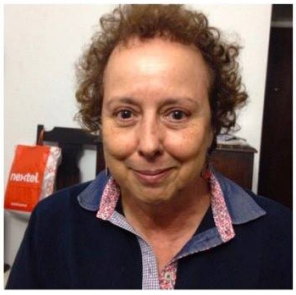
Fonte: http://lattes.cnpq.br/9060725690210755

Quadro 3: José André Angotti

 José André Angotti	Graduação em Física/Licenciatura (1972), mestrado (1981) e doutorado em Ensino de Ciências/Física - Instituto de Física-IFUSP e Faculdade de Educação - FEUSP da Universidade de São Paulo (1991). Professor titular de Metodologia e Prática de Ensino de Física e do Programa de PG em Educação Científica e Tecnológica, cursos de Mestrado e Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, aposentado desde março de 2016.

Fonte: http://lattes.cnpq.br/0380382997835517

Quadro 4: Marta Maria Castanho Almeida Pernambuco

 **Marta Maria Castanho Almeida Pernambuco**	Graduação em Licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo (1972), mestrado em Ensino de Ciências (Modalidades Física, Química e Biologia) pela Universidade de São Paulo (1982) e doutorado em Educação pela Universidade de São Paulo (1994). Integrou, de 1989 a 1992, a equipe de assessores do Movimento de Reorientação Curricular concebido durante a gestão de Paulo Freire na Secretaria Municipal de Educação de São Paulo, mantendo posteriormente assessorias a várias administrações populares, municipais e estaduais, em processos de reorientação curricular via tema gerador. Faleceu em 14 de maio de 2018, na cidade de São Paulo.

Fonte: http://lattes.cnpq.br/9060725690210755

A dinâmica conhecida como Três Momentos Pedagógicos passou a ser difundida por meio dos livros: “Metodologia do Ensino de Ciências” (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1989) e “Física” (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1990), que tratam sobre o tema. Contribuíram também para divulgação dos 3MPs a distribuição destes livros nas escolas públicas de nível médio do Brasil, além de passarem a constar nas referências bibliográficas de curso de licenciatura da área de Ciências, programas de pós graduação, cursos de formação continuada de docentes e em concursos públicos para a carreira de magistério. Os 3MPs são denominados: **Problematização inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento.**

De acordo com Delizoicov e Angotti (1990), os Três Momentos Pedagógicos, podem ser assim caracterizados:

> **Problematização Inicial:** apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre

> as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. Para os autores, a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão, e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém.
> **Organização do Conhecimento:** momento em que, sob a orientação do professor, os conhecimentos de física necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são estudados.
> **Aplicação do Conhecimento:** momento que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento." (DELIZOICOV E ANGOTTI, 1990, p. 29)

Para Delizoicov (1991):

> "As ciências naturais, e a Física em particular, enquanto áreas de conhecimento construídas, têm uma história e uma estrutura que, uma vez apreendidas, permitem a compreensão da natureza e dos processos tecnológicos que permeiam a sociedade. Qualquer cidadão que detenha um mínimo de conhecimento científico pode ter condições de utilizá-lo para suas interpretações de situações e relevância social, reais, concretas vividas, bem como aplicá-lo nessas e em outras situações". (DELIZOICOV, 1991, p. 130)

Portanto o emprego dos 3MPs no trabalho didático-pedagógico em sala de aula busca subsidiar tanto na apreensão dos conceitos, leis, relações da Física e a sua utilização, assim como na aproximação com os fenômenos ligados à situações vividas pelos alunos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990).

Em concordância com este direcionamento, Terraazzan et. al. (2003) afirmam:

> "Acreditamos que, ao utilizar a abordagem metodológica dos três Momentos Pedagógicos pontuamos novas possibilidades de trabalho com textos em sala de aula. Esta abordagem, além de privilegiar o diálogo, possibilita às alunas explicitarem suas concepções próprias sobre o assunto que está sendo abordado." (Terrazzan et al., 2003 b)

Através da abordagem metodológica dos 3MPs, busca-se no presente trabalho um meio de contribuir com o diálogo entre professor e estudante, estimando as concepções espontâneas dos estudantes, problematizando e contextualizando situações com objetivo de ampliar sua visão do mundo através de alguns conceitos da Física Moderna, em destaque o Efeito Fotoelétrico.

2.1.1 Primeiro Momento: a problematização inicial

Uma das metodologias de ensino que podem ser empregadas nas aulas de Ciências para a Alfabetização Científica (CARVALHO, 2013; SASSERON, 2015) é a

utilização da problematização por meio de atividades investigativas. Sendo que, a problematização envolve a construção do conhecimento com a motivação nos problemas, ou seja, problematizar consiste em abordar questões relevantes à realidade social no qual o estudante está inserido. Vale ressaltar que para o presente trabalho, entende-se que a Alfabetização Científica deve promover condições para que temas e situações envolvendo ciência sejam analisados à luz dos conhecimentos científicos.

O ensino de Física trabalhado através de metodologias de ensino por investigação (SASSERON; MACHADO, 2017) consiste na utilização da problematização de questões conflitantes da vida e do meio cotidiano do estudante, pode levar assim um melhor entendimento da situação, de forma que possibilite uma análise crítica, reflexiva e participativa no pensar sobre o problema, na elaboração de hipóteses, na construção de justificativas e na argumentação como capacidade de expressão.

De acordo com Muenchen (2010):

> "A problematização apresenta a possibilidade de cada sujeito dizer a sua palavra. A ação dialógica, no âmbito educativo, se define a partir da problematização da realidade vivencial. Assim, as situações codificadas desvelam-se, a partir da problematização, na atividade descodificadora". (MUENCHEN, 2010, p. 241.)

Para que ocorram investigações em aulas de Ciências é necessário que os alunos estejam motivados na resolução do problema para que possam desenhar seus próprios planos de ações. Isso requer que o professor proporcione aos alunos a oportunidade de atuarem na solução dos problemas por meio da investigação, na busca por novas informações e que seja possível estabelecer um julgamento da situação estudada. Conforme afirma Delizoicov (2004, p. 166): "o professor de ciências é um dos mediadores no processo educativo escolar da apropriação pelos seus alunos dos estilos de pensamentos produzidos pelos coletivos de cientistas".

Nas aulas investigativas se destacam dois aspectos de suma importância: a pergunta faz parte essencial da investigação, como forma de expressar o problema. E a argumentação que propicia condições de criticidade e reflexão sobre os problemas de seu dia a dia. Sendo assim, as perguntas, os argumentos e os discursos em sala de aula são feitos no decorrer das atividades investigativas realizadas e devem ser analisadas como forma de compreender o desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem.

Na SD proposta sobre Efeito fotoelétrico, este primeiro momento pedagógico é caracterizado pelo uso de problemas, que serão apresentados em forma de situações

reais, que eles tenham conhecimento. Para isso, o professor deve instigar os alunos a exporem o que sabem sobre a situação apresentada. Além disso, também durante essa etapa serão utilizados textos que tratem sobre o assunto para que através de uma leitura investigativa possam debater ainda mais o tema.

2.1.2 Segundo Momento: Organização do Conhecimento

Os autores Delizoicov e Angotti (1990) relatam em seu trabalho sobre a metodologia dos 3MPs que, no segundo momento, os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema e da problematização inicial serão sistematicamente estudados sob orientação do professor. Com relação ao núcleo do conteúdo específico de cada tópico. No qual afirmam que:

> Será preparado e desenvolvido, durante o número de aulas necessárias, em função dos objetivos definidos e do livro didático ou outro recurso pelo qual o professor tenha optado para o seu curso. Serão ressaltados pontos importantes e sugeridas atividades, com as quais se poderá trabalhar para organizar a aprendizagem. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990, p. 31)

De acordo com Albuquerque, Santos e Ferreira (2015) esse é o momento em que os conhecimentos científicos passam a ser incorporados nas discussões. Os alunos começam a desenvolver uma compreensão a respeito da problematização ou situação inicial. Entretanto, para que isso ocorra, materiais devem ser consultados e atividades devem ser sugeridas para complementar as discussões, no sentido de incentivar e melhorar a sistematização dos conhecimentos.

Do ponto de vista metodológico, os autores elencam algumas atividades que poderão ser desenvolvidas no segundo momento (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002):

- Exposição, pelo docente, de definições, propriedades, relações, leis e etc;
- Formulação de questões, onde os problemas escolhidos sejam sempre em número adequado e em grau crescente de dificuldades, e que exigem habilidades diferentes da simples aplicação, envolvendo também a conceituação, análise e, quando possível a síntese;
- Textos previamente preparados para que sejam desenvolvidas discussões coordenadas pelos professores;
- Trabalhos extraclasses;
- Atividades experimentais;

Nessa perspectiva, Delizoicov e Angotti (1990) vêm ressaltar a importância de diversificadas atividades, com as quais poderão ser trabalhados os temas para organizar a aprendizagem. Sugerem exposições, pelo professor, de definições e propriedades, além de formulações de questões (exercícios de fixação como dos livros didáticos), textos e experiências. Neste sentido, atualmente poderíamos acrescentar as mídias tecnológicas, como televisão, vídeos, filmes, programas tecnológicos, aplicativos de celulares, simulações, entre outros, de modo a auxiliar no processo da sistematização do conhecimento.

Na proposta de ensino desenvolvida no Produto Educacional, fruto da dissertação, este segundo momento pedagógico é caracterizado pelo uso de aulas expositivas sobre os conceitos físicos e questões históricas que envolveram o surgimento da Física Moderna e o efeito fotoelétrico, bem como a utilização de uma demonstração experimental para que descreve a aplicação desse fenômeno do dia a dia. E por fim uma atividade com uso de uma simulação computacional sobre o efeito fotoelétrico.

2.1.3 Terceiro Momento: Aplicação do Conhecimento

De acordo com Delizoicov e Angotti (1990) a aplicação do conhecimento, realizada no terceiro momento destina-se:

> [...] principalmente, abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas explicadas pelo mesmo conhecimento". (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990, p. 31)

Sobre a etapa da aplicação do conhecimento, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) destacam que o professor tem o papel de desenvolver diversas atividades em que os estudantes aproveitem dos seus conhecimentos científicos explorados na Organização do Conhecimento de forma a articulá-los com situações de seu cotidiano. Para os autores, o que deve ser explorado nesta última etapa é o potencial explicativo e conscientizador das teorias científicas.

Para Muenchen e Delizoicov (2014) a participação do estudante e o relacionamento dos temas estudados com o seu cotidiano, assumem um papel de

destaque na prática educativa que utilizam os 3MPs, proporcionando, à educação, um avanço no que se refere ao ensino tradicional.

Este terceiro momento pedagógico, na SD proposta, é caracterizado pelo uso da construção de um texto sobre o que os alunos entenderam do assunto, a elaboração de um relatório sobre a atividade experimental virtual, e a resolução de um questionário avaliativo sobre os conceitos estudados.

2.2 Teoria de Aprendizagem de Bruner

A presente seção aborda resumidamente os principais conceitos que são utilizados na dissertação da teoria da aprendizagem de Bruner, que se relaciona em alguns pontos com os 3MPs, para fundamentar a construção da sequência didática. Em resumo, a teoria de Bruner aborda uma participação ativa do estudante no processo de ensino/aprendizagem, ou seja, a "aprendizagem por descoberta". Sua teoria prioriza a exploração de alternativas e o currículo em espiral (figura 10).

Figura 10 - Espiral de Bruner

Fonte: https://www.psicologiaexplica.com.br/wp-content/uploads/2016/06/espiral-do-Bruner.png

Os principais conceitos adotados por Jerome Bruner (1915-2016) que são utilizados na dissertação são: o currículo em espiral e a aprendizagem por descoberta.

De acordo com Pierini, Lopes e Alves (2019) o currículo em espiral representa a ideia de que o aluno possa ver o mesmo assunto mais de uma vez. Para isso, os conteúdos, técnicas e informações são apresentados em diferentes níveis de complexidade, respeitando o desenvolvimento da aprendizagem dos alunos. Portanto, o

currículo em espiral deve estar organizado de modo que periodicamente os mesmos conteúdos sejam visitados ou estudados, cada vez com maior profundidade e com níveis mais elaborados de apresentação e de integração com outros campos do conhecimento.

Sobre ensino através do uso da aprendizagem por descoberta, Borba e Goi (2021) destacam que:

> Utilizando o método de Aprendizagem pela Descoberta, indicado por Bruner, ao aluno são apresentados experiências, conceitos e exemplos com a orientação do professor, sendo este o seu tutor. Não se trata de uma aprendizagem caótica e livre de planejamento, antes uma forma que se inspira na natural curiosidade que os seres humanos têm para aprender. Aliás, os seus defensores afirmam que na maioria das vezes, o aluno vai além dos objetivos iniciais traçados pelo seu professor em termos de aprendizagem. (BORBA; GOI, 2021, p. 3)

Além disso, algumas orientações sobre a sequência de instruções são seguidas, a saber: Arranjar as sequências de maneira a que o estudante perceba a estrutura dos materiais por indução; Dar prática em transferência; Usar contrastes nas sequências, ressaltando discriminações; Evitar simbolização prematura; Permitir-lhe aprofunda-se em tópicos de interesse; Prover revisões periódicas ("circulação espiral") (MOREIRA, 2015).

Na sequência didática proposta, o efeito fotoelétrico é visto e revisto, dentro dos 3MPs de maneiras diferentes. Inicialmente, na problematização inicial, o estudante vê o efeito fotoelétrico de forma aplicada no cotidiano, sem aprofundamento na descrição do fenômeno físico. Para isso, utilizam-se dois questionamentos que são discutidos e fundamentados durante o encaminhamento da aula com uso de duas reportagens sobre os questionamentos levantados. Neste ponto é evitada uma simbolização matemática prematura.

No segundo momento, o da organização do conhecimento, a explicação do efeito fotoelétrico e os antecedentes teóricos para o desenvolvimento do mesmo são apresentados por meio de aula expositiva dialogada com uso de slides, o qual estes incluem exercícios sobre o assunto estudado. Além disso, o tema é revisto por meio de dois vídeos que contextualizam o assunto no dia a dia; em seguida por um experimento real com uso do aparato experimental construído; e ao final por meio de experimento virtual. Observa-se aqui que com o uso de quatro metodologias ou recursos diferentes, o tema é trabalhado, proporcionando a revisão periódica do tópico estudado. Destaca-se também que a aprendizagem por descoberta é incentivada durante as atividades de experimentação propostas.

Já no terceiro momento, referente à aplicação do conhecimento, os alunos agora de posse do conhecimento sobre o assunto são desafiados a resolver questões e elaborar um texto sobre o efeito fotoelétrico, e um relatório da atividade experimental desenvolvida. Nesta etapa, novamente o tema é visto, porém com grau de dificuldade maior, pois os estudantes devem construir e pôr em prática os conhecimentos estudados para fazer os trabalhos.

Por fim, ressalta-se para o professor explorar alternativas para formas de ensinar, é necessário ter um ambiente favorável ou conteúdos que permitam alternativas para que o estudante possa alcançar relações e estabelecer similaridades entre as ideias apresentadas. Dessa forma, segundo Bruner é possível favorecer a descoberta de princípios ou relações. Além do fato de um currículo em espiral permitir ao estudante a contemplação de um mesmo tema em diferentes níveis de profundidade e modos de representação.

2.3 Experimentação no ensino de física

Para o ensino de Física, se tem considerado a utilização da experimentação, que pode ser aplicada em sala de aula ou em laboratórios, como essencial para o aprendizado do aluno, e maior assimilação dos conteúdos com as teorias abordadas. De acordo com Grasselli e Gardelli (2014) a experimentação no ensino de Física é uma metodologia que permite trazer para o ambiente escolar aquilo que o aluno utiliza no seu cotidiano, possibilitando uma aproximação entre os conceitos científicos discutidos nas atividades experimentais e os adquiridos de forma espontânea.

Segundo Silva et al. (2020) as atividades experimentais podem ser concebidas como estratégias de descoberta, pois trabalha aspectos motivacionais do aluno que potencializam seu aprendizado. Nesse sentido, a experimentação pode facilitar o desenvolvimento da curiosidade, do hábito de questionar e evitar que as ciências sejam interpretadas como algo inerte e inquestionável, sendo imprescindível para o desenvolvimento das competências em física.

As atividades experimentais podem ser desenvolvidas em diversos ambientes (laboratório, sala de aula, local aberto, etc...), podendo ser uma atividade por meio de roteiros altamente estruturados que não permitiam qualquer variação dos objetivos descritos, ou seja, desenvolvidas como um caráter comprobatório, servindo de ilustração

para as formulações teóricas apresentadas. Vale ressaltar os experimentos com uma abordagem investigativa, que são aqueles centrados nos estudantes, fazendo com que eles perguntem, planejem e controlem suas atividades durante os experimentos. Nessa abordagem, os resultados não são conhecidos com antecedência pelos estudantes.

Ainda sobre o ensino de física, um enfoque cada vez mais utilizado é o uso dos experimentos virtuais, pois estes permitem a visualização de conceitos abstratos, reduz o tempo necessário para preparação, coleta de dados e execução dos experimentos, possibilitam repetir o mesmo experimento várias vezes, realizar experimentos que não podem ser executados em laboratórios convencionais, comumente são interativos, flexíveis, reutilizáveis e interoperáveis, não há restrições de acesso no que diz respeito ao tempo e nem lugar, e evitam que o aparato experimental seja danificado por mau uso. (SILVA; MERCADO, 2019).

Com base nas referências consultadas, há muitos benefícios no uso de experimentos reais e virtuais. Nesta perspectiva, a SD proposta utiliza ambos. O experimento real "Demonstração experimental com Relé Fotoelétrico" agrega a visualização de uma aplicação prática do fenômeno para o desenvolvimento de uma tecnologia para uso cotidiano dos postes de iluminação pública. Enquanto que o experimento virtual "Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico" permite que os estudantes visualizem esquematicamente o funcionamento não visível do fenômeno. Em ambas as propostas, o objetivo é que os estudantes sejam instigados a entender o efeito fotoelétrico, além de criarem e testarem suas hipóteses sobre o fenômeno a fim de que o conceito físico venha ser realmente compreendido por eles.

Capítulo 3 – Procedimentos metodológicos

Neste capítulo inicialmente apresentam-se o delineamento do trabalho quanto às etapas da pesquisa; em seguida especifica-se qual o público alvo envolvido; e por fim desenvolvem-se as metodologias utilizadas dentro da sala de aula, bem como a aplicação do produto dentro da perspectiva dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco, voltado para a física moderna, mas especificamente o estudo do Efeito Fotoelétrico.

3.1 Delineamento do trabalho

A presente dissertação trata-se da elaboração e aplicação de uma sequência didática sobre o efeito fotoelétrico, com objetivo de fazer um relato de experiência sobre a vivência didática proporcionada com as aulas ministradas. A pesquisa contou com a participação efetiva do pesquisador, professor da turma na qual foi aplicada a sequência didática proposta, buscando esclarecer o processo de ensino estudado, descrevendo suas características e estabelecendo conexão entre as variáveis conforme orientações do referencial teórico adotado.

Neste trabalho foi feito por meio de uma pesquisa descritiva, pois os dados obtidos são apresentados dentro de análises quantitativas e qualitativas. Para Neves (1996) os métodos qualitativos e quantitativos não se excluem. Embora difiram quanto à forma e à ênfase, os métodos qualitativos apresentam como contribuição a pesquisa uma mistura de procedimentos de cunho racional e intuitivo capazes de contribuir para a melhor compreensão dos fenômenos.

Segundo Neves (1996) a pesquisa qualitativa geralmente é direcionada ao longo de seu desenvolvimento, além disso, não busca enumerar ou medir eventos, seu foco de interesse é amplo e parte de uma perspectiva diferenciada da adotada pelos métodos quantitativos. Nas pesquisas qualitativas o pesquisador procura entender os fenômenos, segundo a perspectiva dos participantes da situação estudada e, a partir, daí situa sua interpretação dos fenômenos estudados.

Os dados da pesquisa foram extraídos por meio da observação da participação dos alunos, bem como da análise de suas falas no decorrer do desenvolvimento das atividades, e isso se deu através da realização de roda de conversa, onde os alunos

tiveram a oportunidade de dar a sua opinião, ouvir e aprender com os colegas. De acordo com Motisuki Dias et al. (2018) o principal objetivo da roda de conversa é proporcionar o compartilhamento de conhecimentos, valorizando os saberes e a experiência dos participantes nas rodas de conversa. Para que isso ocorra o professor deve fazer um planejamento dos conteúdos com um objetivo claro, estabelecer as regras e intervir quando necessário para garantir a sua compreensão dos alunos.

De forma resumida o trabalho seguiu as seguintes etapas de pesquisa:

1) Formulação do problema de pesquisa, público alvo e objetivos;
2) Apropriação do aporte teórico para construção da fundamentação teórica necessária para construção da Sequência Didática e desenvolvimento do trabalho;
3) Elaboração da Sequência Didática e dos recursos envolvidos para condução das aulas propostas;
4) Aplicação da Sequência Didática e coleta de dados;
5) Análise dos resultados;
6) Escrita da dissertação;
7) Finalização da Sequência Didática no formato de produto educacional para disponibilização na Plataforma EduCapes.

Destaca-se aqui que a pesquisa começou a ser desenvolvida no ano de 2019, inclusive a aplicação da Sequência Didática se deu no final do ano citado. Entretanto, devido à pandemia da Covid-19 que intensificaram os encargos docentes do mestrando durante o ano de 2020 e problemas pessoais graves de saúde com familiares próximos do autor, a sistematização dos resultados e finalização da escrita da presente dissertação foi realizada apenas em 2021. Contudo, ressalta-se a importância dos resultados obtidos para formação profissional reflexiva do professor de física, que por meio das propostas de atividades no produto educacional, diferentes formas para abordagem do tema estudado são apresentadas.

3.2 Público alvo

A aplicação do produto educacional ocorreu na cidade de Xapuri, uma cidade do Estado do Acre. Fundado em 22 de março de 1905, o município de Xapuri está localizado na região política do Alto Acre, à margem do Rio Acre, na foz do Rio Xapuri. Sua área geográfica se estende por 5.347,3 km² e de acordo com o último censo

realizado do IBGE (2017) contava com 16.091 habitantes. A densidade demográfica é de 3 habitantes por km² no território do município. Está distante 182 km da capital Rio Branco, tendo como via de acesso a BR-317.

A escola escolhida foi o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre – IFAC, fundado no dia 29 de dezembro de 2008, onde foi, publicada a Lei 11.892. Porém iniciou suas atividades no final de julho de 2010 com quatro campi (Rio Branco, Sena Madureira, Cruzeiro do Sul e Xapuri) ofertando apenas cursos técnicos nas modalidades presenciais subsequente (ou pós-médio) e o Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica, na Modalidade de Jovens e Adultos (PROEJA) e superiores em licenciatura e tecnológicos. A primeira oferta não passou de aproximadamente 400 alunos distribuídos em nove turmas. De quatro campi iniciais, hoje o IFAC possui 6 unidades presenciais distribuídas em todas as regionais do Estado. O campus de Xapuri possui um total de aproximadamente 377 alunos, sendo que 258 são matriculados no técnico integrado ao Ensino Médio em Biotecnologia, na modalidade presencial com carga horária total de 3810 horas e duração de 3 anos.

A aplicação dos 3MPs propostos na sequência didática ocorreu em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio, no período matutino, composta por 35 alunos durante o ano de 2019. A amostra da pesquisa foi escolhida pelo fato do currículo do terceiro ano do Ensino Médio contemplar o conteúdo de Física Moderna (noções). Todos os 35 alunos da turma participaram efetivamente das aulas.

Em linhas gerais os alunos que participaram da aula, tinha a idade entre 17 e 18 anos, sendo a maioria do sexo masculino, 19 homens e 16 mulheres, de classe social predominantemente baixa. Estes alunos ingressaram no IFAC no ano de 2017, no Curso Técnico Integrado ao Ensino Médio em Biotecnologia, deu-se através de Processo Seletivo, onde a seleção foi feita com base nas notas/conceitos do 6º ao 8º ano, das disciplinas de Língua Portuguesa e Matemática, constantes no Histórico Escolar do Ensino Fundamental.

3.3 Sequência didática proposta e aplicada

O produto educacional trata-se da organização de uma sequência didática, que inclui planejamento, preparação, execução e avaliação. A avaliação não poderá ser feita sobre os alunos somente na forma de um questionário, mas na comparação com os meios e métodos que se utilizavam antes para as aulas de Física Moderna, a saber:

participação dos alunos, elaboração de relatórios das atividades experimentais, elaboração de textos relatando as impressões sobre as aulas, referente ao efeito fotoelétrico, e com destaque em tudo que é importante, principalmente aspectos positivos e negativos.

O produto educacional é proposto através da aplicação dos 3MPs com o objetivo de colaborar com a inserção de alguns conceitos da Física Moderna através do Efeito Fotoelétrico, proporcionando um ambiente de atividades em que os alunos possam entrar em contato com contextos relacionados ao seu cotidiano.

Portanto, este trabalho consiste em uma pesquisa qualitativa com finalidade descritiva, referente à abordagem metodológica dos Três Momentos Pedagógicos aplicada em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio na disciplina de Física, cujo objetivo foi buscar com a abordagem metodológica dos 3MPs um meio de contribuir com o diálogo entre professor e estudante, valorizando as concepções espontâneas dos estudantes, problematizando e contextualizando situações com objetivo de ampliar sua visão do mundo, além de analisar as possibilidades que esta abordagem pode proporcionar nas aulas Física.

Antes de começar a aplicação do conteúdo, fez-se um planejamento com a coordenação do curso e a equipe pedagógica da instituição. De modo que a aplicação do material proposto neste trabalho atendesse a ementa da disciplina. Assim, os momentos pedagógicos foram desenvolvidos de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5: Síntese das etapas dos Três Momentos Pedagógicos da Sequência didática proposta

Etapa	**Proposta de atividades**	**Tempo**
Problematização	1) Como funcionam, para acender e apagar, as lâmpadas dos postes de iluminação pública da sua cidade? - Leitura investigativa: reportagem sobre “Iluminação pública”; Debate sobre como o problema pode ser resolvido. 2) Você já entrou em lugares onde as portas se abrem automaticamente mediante certos dispositivos? Qual a explicação do funcionamento desses dispositivos? - Leitura investigativa: reportagem sobre “Benefícios da utilização de Portas Automáticas”.	2 aulas (100 min)
Organização do Conhecimento	- Apresentar aos alunos a Biografia de Max Planck bem como a sua teoria de Radiação de corpo negro; - Aula expositiva sobre os conceitos de física moderna: determinação da constante de Planck e o efeito fotoelétrico; - Demonstração de um circuito com relé fotoelétrico;	6 aulas (300 min)

	- Contextualização: aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano - Utilizar textos, vídeos, manuais, reportagens e etc; - Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico;	
Aplicação do Conhecimento	- Construção de texto sobre o efeito fotoelétrico; - Elaboração do Relatório da atividade experimental. - Questionário avaliativo.	2 aulas (100 min)

Fonte: Próprio autor

3.3.1 Problematização inicial

Os problemas escolhidos para darem início a sequência didática foram os seguintes:

1) Todos os dias ao cair da tarde as lâmpadas dos postes de iluminação públicas da nossa cidade são acesas, e pela manhã elas são apagadas. Diante disso, vocês sabem como funciona o acender e apagar das lâmpadas dos postes de iluminação públicas?
2) Você já entrou em lugares onde as portas se abrem automaticamente? Qual a explicação do funcionamento desses dispositivos?

Tais problemas serão abordados durante cada uma das três etapas pedagógicas visando dar oportunidade aos alunos de levantarem e testarem suas hipóteses, passarem da ação manipulativa à intelectual, estruturando seu pensamento e apresentando argumentações discutidas com seus colegas e com o professor.

A problematização inicial caracteriza-se por apresentar situações reais que os alunos conhecem e vivenciam. É nesse momento, que o estudante é desafiado a expor seus entendimentos sobre determinadas situações significativas que são manifestações de contradições locais. (DEIZOICOV E ANGOTTI, 1990)

3.3.2 Problematização através de leitura investigativa

Nesta etapa a problematização será trabalhada através da realização de uma leitura sobre dois textos contidos no Produto educacional (Apêndice). Ambos os textos não tratam diretamente sobre os conceitos do efeito fotoelétrico, mas propõem uma abordagem contextualizada sobre algumas implementações tecnológicas e suas

implicações para a sociedade. Pois, segundo Santos e Mortimer (2001), é de suma importância a utilização da contextualização no ensino de ciências:

> Se desejarmos preparar os alunos para participar ativamente das decisões da sociedade, precisamos ir além do ensino conceitual, em direção a uma educação voltada para a ação social responsável, em que haja preocupação com a formação de atitudes e valores. (SANTOS; MORTIMER, 2001, p. 107).

O primeiro texto foi retirado de uma reportagem realizada na cidade de Belo Horizonte – MG, que trata sobre a economia de gastos com energia elétrica gerada pela prefeitura da cidade, por meio das substituições de lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas de LED. O segundo texto utilizado para a realização da leitura investigativa fala sobre alguns benefícios sobre a utilização de portas automáticas em diversos ambientes com grande circulação de pessoas.

Neste ponto, vale ressaltar que Trerrazzan (2003) destaca a importância de trabalhar textos em sala de aulas:

> "[...] Acreditamos que, ao utilizar a abordagem metodológica dos três Momentos Pedagógicos pontuamos novas possibilidades de trabalho com textos em sala de aula. Esta abordagem, além de privilegiar o diálogo, possibilita às alunas explicitarem suas concepções próprias sobre o assunto que está sendo abordado. " (TERRAZZAN et al., 2003, p. 91).

Para a realização dessa etapa os alunos serão divididos em pequenos grupos para que façam a leitura, bem como a discussão sobre os pontos mais relevantes que são tratados nos textos. Após esse momento de leitura e discussão entre os grupos, será feita uma discussão com toda a turma, para verificar o que as hipóteses levantadas nos grupos têm em comum.

3.3.3 Organização do conhecimento: Sistematização do conhecimento feita pelo professor

Para esta etapa o professor, através de duas aulas expositivas, irá apresentar a teoria criada por Max Planck para a solução do problema da Radiação do Corpo Negro, e a explicação do efeito fotoelétrico feita por Einstein. Para isso foram utilizados slides que estão disponíveis no Produto Educacional (Apêndice).

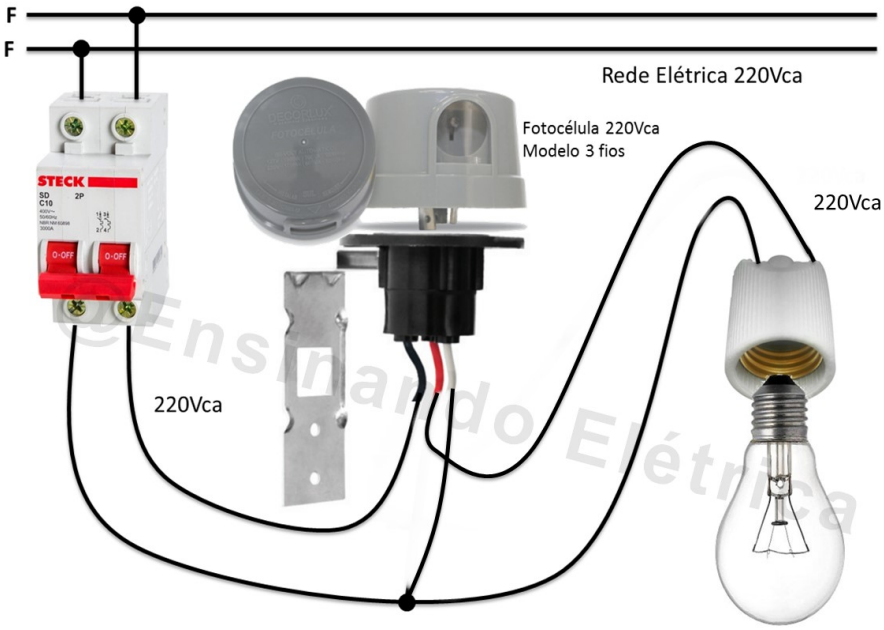
3.3.4 Organização do conhecimento: Demonstração experimental com Relé Fotoelétrico

Na segunda etapa o problema apresentado no início da sequência didática será trabalhado através de uma demonstração experimental de um circuito elétrico que contém uma lâmpada ligada a um relé fotoelétrico, conforme pode ser visto na figura 11. Além dela, é mostrada a montagem do circuito em uma rede de tensão de 220 volts, que demonstra o modelo esquemático completo (figura 12) do funcionamento do modelo presente nos postes de eletricidade.

Figura 11 - Montagem experimental para acendimento de lâmpada com o uso de relé fotoelétrico

Fonte: Próprio autor

Figura 12 - Montagem do circuito com Relé fotoelétrico em uma rede de 220 V



Fonte: https://ensinandoeletrica.blogspot.com/2017/02/ligarfotocelulas.html

Através desse experimento o problema será novamente apresentado, porém dessa vez os alunos poderão visualizar o fenômeno físico, ou seja, nessa etapa o aluno vai se deparar com uma situação experimental investigativa em que ele é responsável pela resolução.

3.3.5 Organização do conhecimento: Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano

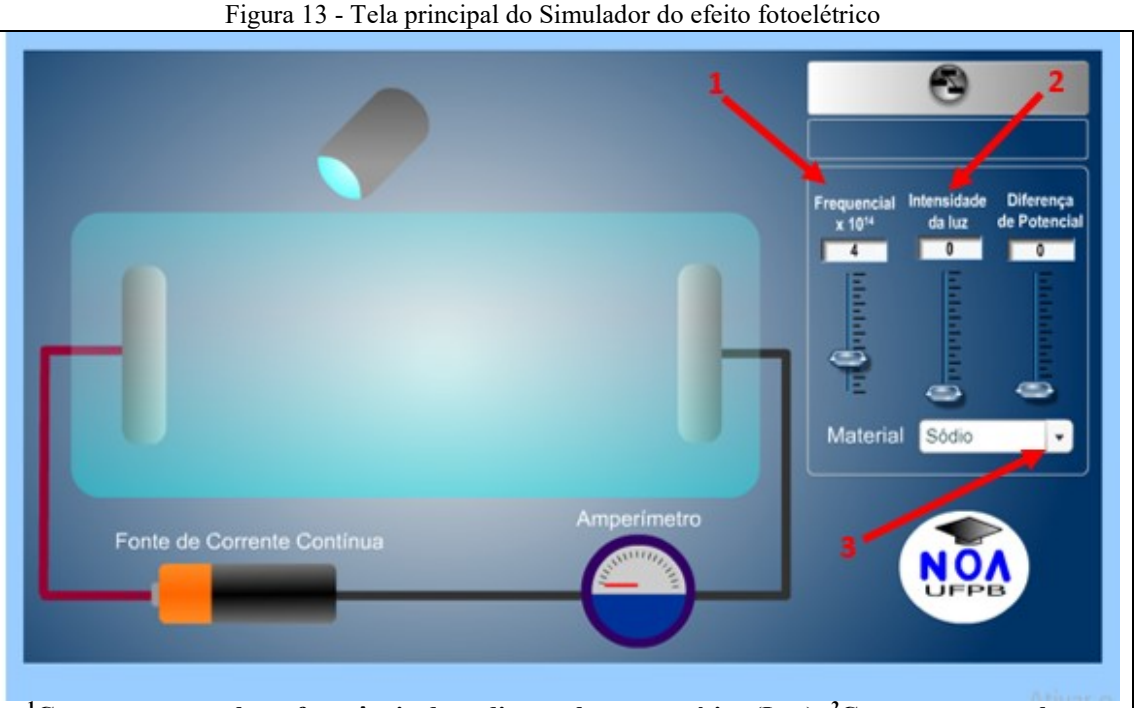
Na sequência didática é proposta a apresentação de dois vídeos sobre o efeito fotoelétrico. O primeiro vídeo que será apresentado aos alunos é intitulado "A natureza das coisas - Einstein no dia a dia - Parte I"[2], esse vídeo tem aproximadamente 9 minutos de duração e faz parte de uma série de documentários que conta um pouco sobre a vida do físico Albert Einstein, destacando nessa parte a conquista do Prêmio Nobel de Física através da explicação do Efeito Fotoelétrico. O segundo vídeo descreve algumas aplicações do efeito fotoelétrico encontradas no dia a dia, que foi apresentado por uma reportagem no G1 Pernambuco, intitulado: "Efeito fotoelétrico leva em consideração, as descobertas de Einstein"[3].

3.3.6 Organização do conhecimento: Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico

Neste momento será utilizado como recurso didático um simulador online que reproduz virtualmente o experimento do efeito fotoelétrico. Este possibilita alterar as variáveis, como: frequência, tensão, intensidade luminosa e superfície metálica. A interface do simulador está apresentada na Figura 13. Essa atividade pode ser desenvolvida em pequenos grupos, de preferência no máximo três alunos. E para tal, foi elaborado um roteiro, disponível no Produto Educacional (Apêndice), para auxiliar os alunos na execução do experimento.

[2]Disponível em: https://youtu.be/Oqz6WqeM0uk (Acessado no dia 13/08/2019).
[3]Disponível em: http://g1.globo.com/pernambuco/videos/v/efeito-fotoeletrico-leva-em-consideracao-descobertas-de-einstein/2962910/ (Acessado no dia 13/08/2019).

Figura 13 - Tela principal do Simulador do efeito fotoelétrico



[1]Cursor para regular a frequência da radiação eletromagnética (Luz); [2]Cursor para regular a intensidade da luz; [3]Seletor para escolher os metais que poderão ser utilizados na simulação.

Fonte:http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm

Se na instituição tiver disponível um laboratório de informática, a atividade pode ser realizada em duplas ou em pequenos grupos em cada computador. Caso essa possibilidade não seja possível o professor pode projetar o simulador e encaminhar a atividade com a turma dividida em pequenos grupos.

3.3.7 Aplicação do Conhecimento

Esta etapa tem como finalidade empregar o conhecimento na qual o aluno vem se apropriando, ou seja, corresponde ao processo de avaliação da aprendizagem. Sendo que a avaliação deve ser coerente com o processo de ensino. Diante disso, podemos afirmar que a avaliação deve ser contínua, onde os debates gerados em sala de aula têm uma importância juntamente com as atividades entregues pelos alunos.

A aplicação do conhecimento aconteceu através da participação dos alunos durante as aulas, a entrega das atividades solicitadas pelo professor, tais como: resolução de exercícios, realização de pesquisas, participação na atividade experimental, elaboração de relatório da atividade virtual sobre o efeito fotoelétrico, produção de texto e um questionário avaliativo que está disponível no Produto Educacional (Apêndice).

Capítulo 4 – Resultados e discussões

Entende-se que quando os alunos passam a relacionar a Física com o cotidiano, essa ciência deixa de ser algo assustador. Precisa ficar claro para os estudantes que a Física Moderna não é algo distante, mas faz parte do dia a dia, está presente em várias situações. Portanto, compete ao professor entender que a utilização dos Três Momentos Pedagógicos pode ser um dos caminhos para melhorar a prática educativa.

Neste ponto vale destacar que um fator relevante a ser considerado nos estudos da Física Moderna no Ensino Médio é a elaboração de um currículo que vincule a teoria com a aplicação prática. Neste contexto Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) ressaltam que de nada adianta inserir novos assuntos que proporcionem análise e solução de problemas se não houver uma preparação adequada dos alunos durante o período em que estão estudando em suas licenciaturas, e ressaltam também a importância do professor atualizar.

De acordo com Moreira (2017) um dos grandes desafios para o ensino de Física no Ensino Médio é a formação de professores, visto que são notórias as dificuldades docentes relativas aos conteúdos de Física, principalmente os de Física Moderna. Nessa interpretação destaca-se o fato de que o ensino universitário, em certa medida, desvaloriza a aprendizagem significativa e prioriza a aprendizagem mecânica do conteúdo pelo conteúdo. Observa-se necessário aprofundar em tal situação, para conduzir a formação de professores de Física através da aprendizagem significativa.

Dentro desta perspectiva o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física representa um espaço para formação continuada de professores que engloba o aprofundamento teórico nos temas de física moderna e nos conteúdos pedagógicos que podem promover uma reflexão e ressignificação sobre a profissão docente. Assim, como resultado inicial apresenta-se via Sequência didática proposta, diferentes formas de abordar o assunto sobre efeito fotoelétrico. E ao professor que consultar o material desenvolvido as possibilidades de ampliação das atividades ou adaptações destas para realidade local são muitas. Como exemplo, pode-se propor que os alunos elaborem cartazes digitais com informações científicas sobre o efeito fotoelétrico e as principais aplicações no dia a dia, para publicação nas redes sociais. Caso a escola possua alguma rede social, os cartazes podem ser divulgados como parte de uma exposição científica que inclua outros temas relacionados às ciências.

Como outro resultado, agora de forma mais direta, trata-se do relato de experiência didática observada durante a sequência didática aplicada. Após a aplicação das 10 aulas, pôde-se ter uma visão de como os recursos utilizados dentro da metodologia dos Três Momentos Pedagógicos colaboraram na aplicação do produto educacional. Teve-se como princípio utilizar o recurso da argumentação como forma de dar voz às opiniões dos alunos. E sempre que possível os alunos foram indagados a debater e argumentar sobre os temas trabalhados durante a aplicação do produto educacional. "Por argumentação entende-se a capacidade de relacionar dados e conclusões, de avaliar enunciados teóricos à luz dos dados empíricos ou procedentes de outras fontes. " (JIMÉNEZ-ALEXANDRE; DIAS DE BUSTAMANTE, 2003, p. 360).

Para De Chiaro e Leitão (2005) o debate das ideias deve está centrado no exercício da argumentação como:

> [...] uma atividade social discursiva que se realiza pela justificação de pontos de vista e consideração de perspectivas contrárias (contra-argumento) com o objetivo último de promover mudanças nas representações dos participantes sobre o tema discutido (DE CHIARO; LEITÃO, 2005, p. 350).

Na direção de relatar a experiência didática dando foco nas observações feitas durante a aula, e evidenciando a participação dos alunos por meio das provocações realizadas pelo docente; nas seções 4.1, 4.2 e 4.3 encontram-se a análise qualitativa de cada momento pedagógico acerca dos recursos considerados mais significativos.

4.1 Problematização Inicial

Esse primeiro Momento Pedagógico teve a duração de 02 aulas, na qual foram utilizados diferentes recursos pedagógicos, debate com os alunos para sondar seus conhecimentos prévios através de situações vivenciadas no dia a dia, e a utilização de reportagens mostrando o contexto sobre o uso de lâmpadas LEDs na iluminação pública da cidade de Belo Horizonte – MG, e também um texto sobre os sete benefícios da utilização das portas automáticas.

Antes da leitura dos textos, foram apresentadas duas questões que serviram para dar início a problematização. A primeira situação problema apresentada para os alunos foi: "Todos os dias ao cair da tarde as lâmpadas dos postes de iluminação pública da nossa cidade são acesas, e pela manhã elas são apagadas. Diante disso, vocês sabem como funciona para acender e apagar as lâmpadas dos postes de iluminação pública? ". Nesse momento os alunos foram divididos em pequenos grupos para que discutissem e

elaborassem uma explicação para a questão levantada. Essas questões tiveram um papel importante para o início efetivo da aplicação do produto.

Verificou-se que nessa atividade no geral foram apresentados dois eixos de respostas, acendimento eletrônico e acendimento mecânico. O Quadro 6 apresenta os dois eixos de respostas encontrados durante as falas dos alunos.

Quadro 6: Alguns exemplos citados pelos alunos de respostas do problema

Eixo de Resposta	Exemplos de falas de alunos
(1) Acendimento eletrônico	"Existe um sistema onde depois que o sol se põe as luzes ficam programadas para acender". "São sensores que tem um horário programado nele, e quando dá determinada hora a luz liga sozinha". "Quando chega o horário eles ligam automaticamente".
(2) Acendimento Mecânico	"O poste está ligado a uma empresa de energia, onde há vários botões, ao se aproximar do anoitecer, os funcionários vão apertar os mesmos e ligar a luz de todos os postes". "Existe um funcionário responsável pelo acionamento das luzes a partir de um certo horário."

Fonte: Elaborado pelo Autor com base nos dados coletados na pesquisa.

Cabe aqui a análise, que mesmo não tendo o conhecimento real sobre o funcionamento dessa questão, os alunos procuraram responder com o que acreditavam estar relacionado, tendo um número muito baixo de alunos que não conseguiram dissertar nada. Constatou-se também que nas explicações dos alunos que, mesmo aqueles que acreditam ser eletrônico o acionamento, associam a uma programação feita, não associando assim seu acionamento com a luz. É claro que alguns dos alunos se aproximaram da resposta quando da afirmação da existência de um tipo de sensor que detecta a presença e ausência de luz.

Na segunda situação problema tratava-se do funcionamento das portas automáticas e foi feito a seguinte pergunta: Você já entrou em lugares onde as portas se abrem automaticamente? Qual a explicação do funcionamento desses dispositivos?

A maioria dos alunos afirmaram já ter vivenciado a experiência de entrar em um local com portas automáticas, entretanto, dois alunos disseram que só conheciam por visto na televisão (filmes, novelas, desenhos, etc.). Vale ressaltar que na época que foi aplicado a pesquisa, a cidade de Xapuri-AC não possui nenhum local onde exista portas automáticas.

Sobre o funcionamento das portas automáticas, os alunos em sua maioria, apresentaram respostas que se aproximaram da resposta correta, como pode ser observado no Quadro 7, porém com erros ainda nos termos corretos. Na oportunidade, os estudantes até mencionaram outros dispositivos que eles relacionaram com o mesmo fenômeno, a exemplo as torneiras, portas de elevadores e os alarmes de segurança. Para explicar o funcionamento desses dispositivos eles associaram que há algum tipo de sensor capaz de detectar o movimento, calor e temperatura do corpo. Aqui ficou evidenciado que através da primeira discussão eles conseguiram chegar mais perto da resposta correta, porém não houve nenhum aluno que mencionou sobre a emissão de radiação na frequência do infravermelho pelo corpo humano.

Quadro 7: Explicações citados pelos alunos sobre o funcionamento das portas automáticas

Eixo de Resposta	Explicação dada pelos alunos
(1) Acendimento eletrônico	"Existe um sensor nas portas que detectam o calor do corpo quando a pessoa se aproxima, fazendo ela abrir automaticamente, e isso acontece nos alarmes também". "Tanto nas portas quanto nos alarmes existe um sensor que detecta a presença da pessoa". "As portas que abrem automaticamente, como por exemplo, as portas do shopping e as portas dos elevadores, pois existe algum tipo de sensor de temperatura". "Acho que as torneiras que ligam quando aproximamos as mãos, devem funcionar através do mesmo fenômeno que faz as portas abrirem automaticamente".

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após os debates e argumentações dos alunos para responderem as situações problemas propostas, foram apresentados dois textos para a leitura e discussão na sala de aula, esses textos foram escolhidos com a finalidade de explorar ainda mais o assunto abordado inicialmente, sendo eles parte complementar da etapa de problematização. Visto que os textos serviram para contextualizar ainda mais o efeito fotoelétrico e a utilização da Física Moderna no cotidiano dos alunos.

Através da discussão sobre a reportagem do uso de lâmpadas LEDs na iluminação pública da cidade de Belo Horizonte, percebeu-se que os alunos têm uma percepção de que as lâmpadas LEDs consomem menos energia elétrica gerando uma grande economia, como afirmou um aluno na seguinte fala *"As lâmpadas LEDs tem uma maior durabilidade e são mais econômicas, lá em casa foram trocadas todas as lâmpadas florescente para lâmpadas de LEDs"*.

Os alunos demonstraram indignação quanto à iluminação pública da cidade de Xapuri-AC, pois foi observado por eles que a lâmpadas utilizadas não eram de LEDs, e que isso deveria ser pensado pelos gestores públicos, bem como deveria ser reivindicado pela população que paga taxa de iluminação pública.

Vale aqui ressaltar a importância de se proporcionar situações de diálogo em sala de aula, pois durante a discussão verificou-se a criticidade na fala de alguns estudantes, como exemplo, um aluno disse: "*Os governantes deveriam entender as vantagens do uso de uma boa iluminação pública na cidade, e isso vai de encontro com o uso de lâmpadas LEDs que gerem economia para cidade e população";* enquanto outro aluno concordou dizendo: "*Pelo que pude entender as vantagens do uso de LED na iluminação pública não se limitam a ganhos econômicos, como também trazem benefícios ambientais"*, entre outras falas que surgiram. Dessa forma, verificou-se que a temática abordada oportunizou aos alunos, não somente o conhecimento científico proposto, mas também que fizessem reflexões sobre problemáticas existentes na própria cidade, que até então não tinham relevância para eles. Além de fazê-los entender que o conhecimento pode transformá-los em cidadãos protagonistas no meio em que vivem.

Ainda, podemos relacionar o desenvolvimento dessa Sequência didática à teoria da aprendizagem por descoberta de Bruner, que considera primordial a participação ativa do estudante no processo de construção de conhecimento e destaca a importância da aprendizagem por meio de exploração e a utilização do currículo em espiral no processo de ensino-aprendizagem, pois nessa pesquisa foi oportunizado aos estudantes o contato com os assuntos propostos de diferentes formas, que os levaram a pensar, questionar, explorar e a expor seus pensamentos a respeito dos temas abordados, proporcionando assim descobertas e aprendizagem durante o decorrer da sequência. (MOREIRA, 2015)

Além disso, destaca-se aqui o fato de que o debate trouxe nos alunos a reflexão e a aplicação do conhecimento adquirido na realidade que os cercam, mais especificamente a iluminação pública da própria cidade. Com isso é possível observar o poder transformador da educação e o impacto que ela pode trazer nas vidas dos estudantes e na sociedade em geral, uma vez que o desenvolvimento dessa sequência proporcionou que, além do aprendizado, os estudantes também tivessem um olhar crítico para a situação atual de sua cidade.

Sobre o uso da conscientização e da criticidade dos alunos perante problemas pertencentes a sua realidade, Freire (1987) destaca que a educação problematizadora

poderá contribuir para a formação do aluno, no sentido que esta buscará torná-lo mais crítico possível sobre a sua realidade, para que seja possível conhecê-la e agir sobre ela. Dessa forma, ele defende que a educação precisa estimular a reflexão sobre a realidade, contribuindo, assim, para que a sociedade participe de forma consciente da construção de sua própria história.

Portanto, durante essa etapa da problematização, os alunos tiveram a oportunidade de falar, opinar e ouvir os colegas, desenvolvendo assim o que é considerado ser atitudes importantes para o processo de ensino aprendizagem. Após a coleta de dados sobre o que os alunos sabiam sobre o Efeito Fotoelétrico (EF), os questionamentos realizados permitiram problematizar a discussão sobre o fenômeno físico, evidenciando que o sensor funcionava devido à captação da variação de luz.

4.2 Organização do Conhecimento

Para este segundo Momento Pedagógico dedicou-se maior tempo, totalizando seis aulas. Utilizou-se de aulas expositivas e dialogadas para apresentar a história do Efeito Fotoelétrico, seus conceitos, suas características e suas aplicações. Para esse momento foram utilizados slides, livros didáticos, vídeos, atividade experimental e simulação computacional.

Durante a organização do conhecimento foi aplicado o experimento do Relé fotoelétrico, que tinha por finalidade retomar a problematização de como se dá o acionamento das lâmpadas dos postes. O experimento despertou bastante a curiosidade dos alunos, pois eles puderam visualizar a lâmpada acendendo e apagando pelo simples fato de tapar o sensor fotoelétrico, simulando o amanhecer e o anoitecer.

Notou-se que mesmo sendo um experimento simples, ele gerou um grande entusiasmo nos alunos que conseguiram associar que o acionamento e desligamento da lâmpada se dá pela incidência de luz no relé fotoelétrico.

Após o experimento utilizando o relé fotoelétrico, foram ministradas as aulas expositivas dialogadas para que os alunos pudessem compreender melhor tanto os conceitos teóricos do fenômeno fotoelétrico, bem como o contexto histórico do desenvolvimento da Física Moderna do início do século XX com as contribuições de: Max Planck e a quantização da energia; e Einstein e sua interpretação para o efeito fotoelétrico. Nessa etapa os alunos puderam tirar suas dúvidas sobre o que tinham

observado durante a problematização e da atividade experimental. Como afirma Zabala (1998) esta é a etapa da comunicação dos conteúdos, a mais difícil de ser planejada, pois numa visão simplista o termo conteúdo é utilizado para expressar aquilo que se deve aprender sobre a matéria estudada.

Durante a aula expositiva, foi usando multimídia, para apresentar o problema do efeito fotoelétrico, a incapacidade da Física Clássica de interpretá-lo e a solução apresentada por Einstein, ao considerar a luz como pacotes de energia (fótons). Para reforçar essa etapa foi passado dois vídeos sobre o efeito fotoelétrico:

1) Vídeo 1: "A natureza das coisas - Einstein no dia a dia - Parte I" (https://youtu.be/Oqz6WqeM0uk), e
2) Vídeo 2: "Efeito fotoelétrico leva em consideração descobertas de Einstein" (http://g1.globo.com/pernambuco/videos/v/efeito-fotoeletrico-leva-em-consideracao-descobertas-de-einstein/2962910/).

Sobre a importância e as potencialidades da utilização de vídeos em sala de aula, Moran (1995) afirma que:

> O vídeo é sensorial, visual, linguagem falada, linguagem musical e escrita. Linguagens que interagem superpostas, interligadas, somadas, não separadas. Daí a sua força. Somos atingidos por todos os sentidos e de todas as maneiras. O vídeo nos seduz, informa, entretém, projeta em outras realidades (no imaginário), em outros tempos e espaços. (MORAN, 1995, p. 27)

Através da utilização dos vídeos os estudantes puderam ver o assunto novamente como forma de reforçar e aprofundar o que foi trabalhado nas etapas anteriores, isso está diretamente relacionado com a abordagem feita através do currículo em espiral (PIERINI; LOPES; ALVES, 2019). Além disso, verificou-se que durante o debate sobre os vídeos, os alunos demonstraram interesse e motivação, o que contribuiu para um bom entendimento sobre as bases físicas contidas no estudo do efeito fotoelétrico, bem como a importância histórica dessa descoberta na vida de Einstein.

Seguindo a etapa de organização do conhecimento, foi proposto que os alunos se reunissem em grupos de no máximo três integrantes para realização de uma atividade experimental virtual. Observou-se que através da utilização do simulador, os alunos começaram a construir respostas, e que por meio da elaboração de raciocínios e do diálogo entre eles, caminham para respostas mais elaboradas sobre o tema estudado.

Os alunos produziram relatórios sobre as etapas propostas no roteiro do experimento virtual. No Quadro 8 algumas respostas sobre a questão: "De acordo com

os seus resultados experimentais, explique como funciona o efeito fotoelétrico. E por que ele não pode ser explicado de acordo com a física clássica?", são apresentadas.

Quadro 8: Respostas sobre o funcionamento do efeito fotoelétrico, e por ele não pode ser explicado pela física clássica

Respostas dos alunos
"O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons de uma superfície metálica em razão da interação de uma onda eletromagnética com a mesma. Para a física clássica, para que ocorra a ejeção de elétrons da superfície, a energia da radiação é distribuída sobre as ondas eletromagnéticas, um conceito errôneo, visto que na física moderna, por Einstein, descobriu-se que essa energia está concentrada em pacotes, denominados fótons, e que estes dependem da frequência ao invés da quantidade emitida". ***Grupo A***
"Na física clássica não podia se explicar por conta de não saber se explicar a função trabalho do metal. Einstein utilizou as equações de Planck e desenvolveu a equação da energia cinética". ***Grupo B***
"O efeito fotoelétrico consiste no desprendimento de elétrons de uma superfície metálica exposto a uma determinada frequência de radiação eletromagnética. Os pacotes de luz, chamados de fótons, transferem energia para os elétrons. A Física Clássica não tinha condições de explicar de forma satisfatória, pois abordavam a luz como uma onda não como uma partícula e a ideia de energia ser quantizada fugiam dos padrões e conceitos da época". ***Grupo C***
"O efeito fotoelétrico consiste na emissão de partículas carregadas em qualquer superfície metálica que absorva radiação eletromagnética. O efeito fotoelétrico não podia ser explicado por que a física da época não conseguia explicar o que era visto experimentalmente". ***Grupo D***
"Efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto a uma radiação eletromagnética de frequência suficientemente alta, que depende do material. O fenômeno tinha aspectos que a física clássica não tinha condições de responder, pois abordavam a luz como uma onda, e não como uma partícula, e esse conceito fugia dos padrões da época". ***Grupo E***

Fonte: Elaborado pelo Autor

Durante essa atividade, como pode ser visualizado no Quadro 8, através das respostas dadas pelos alunos, eles foram levados a relacionar o fenômeno do efeito fotoelétrico através da explicação da física clássica do fim do século XIX e a explicação de Einstein utilizando os conceitos de fóton e quantização de energia. De forma simplificada pode-se constatar que houve uma compreensão sobre o comportamento ondulatório da luz.

4.3 Aplicação do Conhecimento

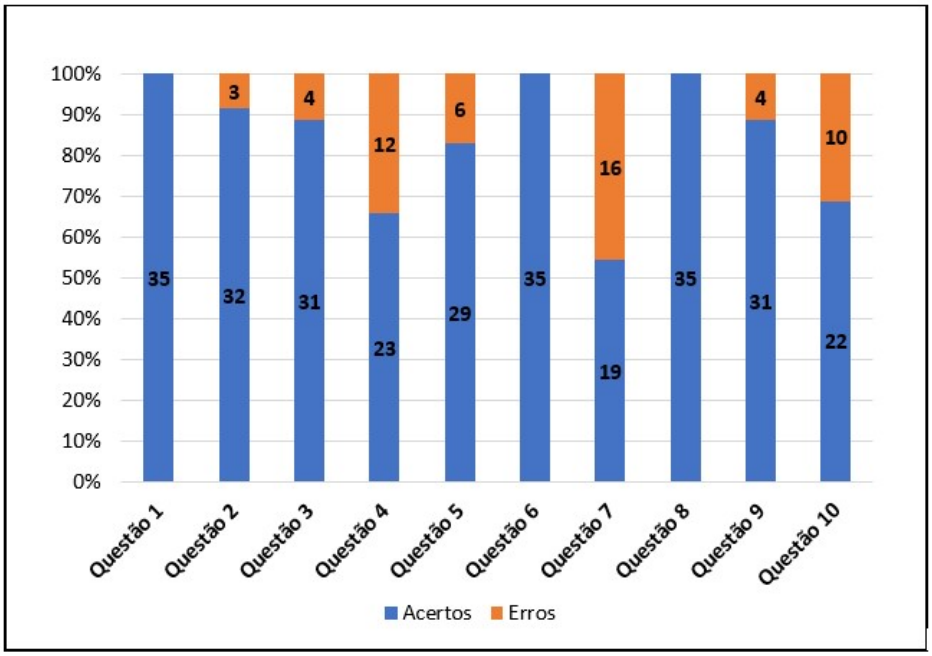
Como forma de finalização da metodologia dos 3MPs, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) propõem o momento de Aplicação do Conhecimento, que corresponde em empregar o conhecimento da qual o aluno vem se apropriando para fazer análise e interpretar as situações que foram propostas na Problematização Inicial. Para isso, foram utilizados diferentes recursos pedagógicos para este momento: pesquisa, relatório e questionário, desenvolvidos em 2 horas/aula.

Neste momento pedagógico foi solicitado para que os alunos realizassem uma pesquisa sobre as aplicações do efeito fotoelétrico no dia a dia. Foi feita uma roda de conversa na qual os alunos relataram sobre o que encontraram bem como a importância que o estudo desse fenômeno trouxe para sociedade, principalmente na área da tecnologia. Depois dessa roda de conversa entregaram um texto sobre os principais pontos destacados por eles na pesquisa e nas atividades que participaram durante a aplicação do produto. Através dos textos foi verificado que os alunos conseguiram compreender o fenômeno estudado, além observar que todos eles citaram nos seus textos a importância dos estudos de Planck, Hertz e Einstein, ou seja, eles demonstraram entendimento que a Física é construída de forma coletiva.

A última atividade foi à aplicação de um teste, que serviu como embasamento avaliativo para a etapa de organização do conhecimento. Foi feita uma análise do número de acertos de cada questão e por fim um cálculo da porcentagem dos alunos que obtiveram conceito: satisfatório, o aluno precisava acertar 60% ou mais; regular, no qual teria que acertar entre 40% a 59%; e para o conceito insatisfatório, o aluno teria que acertar menos de 39% do teste.

A última atividade foi aplicada para os 35 alunos, um questionário avaliativo com 10 questões que abordam os conceitos trabalhados durante a aplicação do produto educacional, disponível no Apêndice. O resultado do teste está apresentado na figura 14, que possibilitou a análise de aprendizado do aluno, uma vez que já se aproximava a prova do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) do ano corrente. A figura descreve os resultados do questionário avaliativo com índice de acertos e erros.

Figura 14 - Resultados do questionário avaliativo com índice de acertos e erros



Fonte: Próprio Autor

Com base na figura 14 é possível observar que o nível de acertos foi satisfatório. Em média, os alunos tiveram 83% de acertos, sendo algo muito significativo. Verificou-se que alguns alunos erraram a questão 4, na qual tratava sobre a emissão de fotoelétrons por um determinado metal, eles confundiram entre a frequência da luz incidente e com a intensidade da luz incidente para determinar a emissão de fotoelétrons. Outra questão que teve um índice de aproximadamente 46% de erros foi a questão 7, sendo que essa exigiu do aluno aplicação da equação de Einstein para determinar a Energia Cinética dos fotoelétrons. No entanto, após a correção do questionário avaliativo, alguns alunos afirmaram que erraram no momento de calcular, ou seja, cometeram algum erro nas operações matemáticas.

Portanto observou-se que mediante a aplicação do conhecimento através das atividades desenvolvidas durante todo o processo metodológico, que tinha objetivo fazer com que os alunos refletissem sobre o tema apresentado, estimulando-os em sua aprendizagem. Após as análises em questão, constatou-se que a sequência didática utilizando os 3MPS relacionados com a teoria da aprendizagem por descoberta e o currículo em espiral de Bruner contribuiu para que os alunos compreendessem melhor o Efeito Fotoelétrico, objeto do presente estudo.

Considerações finais

A dissertação mostrou a construção de um produto educacional que traz uma sequência didática para o ensino do efeito fotoelétrico no ensino médio. Procurou-se, dentro das limitações encontradas, seguir às demandas e orientações elencadas pelo programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF. De forma que foi escolhido neste trabalho contemplar a inserção de assuntos referentes ao Ensino de Física Moderna no ensino médio, em particular o efeito fotoelétrico.

O ensino da Física Moderna no ensino médio deve possibilitar o entendimento de diversas situações vivenciadas pelos estudantes no seu cotidiano. Ao estudar o funcionamento de uma porta automática, o acender de uma lâmpada de iluminação pública sem precisar ligar um interruptor, ou o acionamento de uma torneira sem precisar ligá-la de forma casual, são exemplos de algumas tecnologias que vieram do desenvolvimento de uma das teorias da Física Moderna, como exemplo, o efeito fotoelétrico.

Diante disso, observou-se que a utilização dos três Momentos Pedagógicos proposto para o ensino do Efeito fotoelétrico se mostrou satisfatória com relação aos objetivos deste trabalho, pois, os alunos através da problematização inicial foram levados a testar e discutir suas hipóteses em pequenos grupos tendo chances de defender seu ponto de vista e respeitando o ponto de vista do outro, bem como tiveram suas dúvidas sanadas através das etapas de organização do conhecimento e da aplicação do conhecimento.

No percurso e confecção da referida proposta, procurou-se relacionar os três momentos pedagógicos com o currículo em espiral, onde os conceitos bem como a aplicação do efeito fotoelétrico foram apresentados várias vezes e em diferentes níveis de complexidade. Além da utilização da aprendizagem por descoberta através da utilização da demonstração experimental do relé fotoelétrico e a simulação experimental virtual. Com isso podemos verificar que o problema de pesquisa foi atendido, pois ao fim da aplicação da sequência didática os alunos demonstraram entendimento de como se dá o funcionamento do acionamento das luzes dos postes de iluminação pública além de outras aplicações relacionadas ao efeito fotoelétrico.

Destaca-se, ainda, que durante a aplicação desse trabalho, percebeu-se a importância em abordar um tema vinculado ao cotidiano do aluno. Isso ficou

evidenciado, pois, durante todas as atividades desenvolvidas ocorreu uma efetiva participação, envolvimento e a motivação dos alunos para o estudo do tema proposto.

Os registros escritos pelos alunos, as observações orais e comportamentais no decorrer do processo, oportunizaram a coleta de dados que foram analisados neste trabalho. Além disso, espera-se que esse resultado subsidie e motive o trabalho de outros, no intuito de somar ações que possibilitem o ensino de diversos assuntos da Física Moderna de maneira satisfatória e significativa.

Portanto, percebeu-se que a proposta da forma como foi estruturada permitiu uma maior participação dos alunos, motivando-os na discussão do tema, possibilitando o estudo do efeito fotoelétrico. Diante disso, espera-se que o produto educacional possa ser mais uma ferramenta disponível, para docentes de física, como estratégia para o ensino do efeito fotoelétrico no ensino médio.

Referências

ALBUQUERQUE, K. B; SANTOS, P. J. S E FERREIRA, G. K. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 461-482, 2015.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003.

AUSUBEL, D. P. **The Psychology of Meaningful Verbal Learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.

BORBA, F. I. M. de O.; GOI, M. E. J. Jerome Bruner in the processes of learning and teaching Science. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e1521019508, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.9508.

BRASIL. **Lei no 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 25 mar. 2018

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais.** Brasília: Ministério da Educação, 2000.

BRASIL. MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais + Ensino Médio**: Orientações Educacionais complementares – Ciências Exatas e suas tecnologias. Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnologia, 2002.

BRASIL. MEC. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Volume 2: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Secretaria de Educação Básica. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p. ISBN 85-98171-43-3. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação (CNE)/Câmara de Educação Básica (CEB). Resolução n. 2, de 30 de janeiro de 2012. **Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. ENEM. **Relatório Pedagógico ENEM 2014**. Brasília: INEP/MEC, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação/Conselho Nacional de Educação (CNE)/Câmara de Educação Básica (CEB). Resolução n. 3, de 21 de novembro de 2018. **Atualiza as**

Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf. Acesso em: 16 de set. 2021.

BONFIM, D. D. S.; COSTA, P. C. F.; NASCIMENTO, W. J. A abordagem dos três momentos pedagógicos no estudo de velocidade escalar média. **Experiências em Ensino de Ciências,** Cornélio Procópio, v. 13, n. 1, p. 187-197, 2019.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no Ensino de Física. In: A.M.P. Carvalho (Org.). **Ensino de física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; SOUZA, D. F.; MUZINATTI, J. **Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades**. Física na Escola, v. 3, n. 1, p. 24-29, 2002.

DA ROSA, C. T. W.; CÓTICA, R. P.; HENRIQUE, L.. Analogias no estudo de eletricidade nos livros didáticos de física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 15, n. 3, p. 363-379, 2016.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez Editora, 1990. 207 p.

DELIZOICOV, D. **Conhecimento, tensões e transições**. *T*ese (Doutorado) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 1991. FEUSP.

DELIZOICOV; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M.M. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2002.

DIEHL, A. A. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas**: métodos e técnicas. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica:** Átomos, Moléculas, Sólidos, Partículas. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979 – 29ª reimpressão.

ENSINANDO ELÉTRICA. **Como ligar fotocélulas 220v e 127v**. 2017. Disponível em: https://ensinandoeletrica.blogspot.com/2017/02/ligarfotocelulas.html. Acesso em: 11 dez. 2019.

FERREIRA, S.; CORRÊA, R.; SILVA, F. C. Estudo dos roteiros de experimentos disponibilizados em repositórios virtuais por meio do ensino por investigação. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 25, p. 999-1017, 2019.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 17 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de Física – Uma visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GRASSELLI, E. C.; GARDELLI, D. O ensino da física pela experimentação no ensino médio: da Teoria à prática. **Os Desafios da Escola Pública Paraense na Perspectiva do Professor**, v. 1, p. 99-120, ISBN 978-85-8015-080-3, 2014.

GONÇALVES, R. N. S.; DE ANDRADE, J. E.; OLIVEIRA, R. A. P. A aprendizagem através de experimentos no Ensino de Física. **Scientia Plena**, v. 13, n. 1, 2017.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e estatística**, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/xapuri/panorama>. Acesso em: 07 de julho de 2019.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P.; DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 21, n.º 3, p. 359, 2003.

KOPP, F. A.; DE ALMEIDA, V. Analogias e metáforas no ensino de Física Moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 69-98, 2019.

LINO, A.; FUSINATO, P. A. A influência do conhecimento prévio no ensino de Física Moderna e Contemporânea: um relato de mudança conceitual como processo de aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 3, 2011.

MELHORATO, R. L.; NICOLI, G. T. Da física clássica à moderna: o simples toque de uma sirene. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, 3311, 2012.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. **Tendências das pesquisas sobre o ensino da Física Moderna e Contemporânea** In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VI. Atas... Florianópolis, 2007.

MERLIM, R. dos S.; SARAIVA, V. dos S. M.; MENEGUELLI, D. C. da S.; MACHADO, C. H.; CALDAS, R. L. Unidade de ensino potencialmente significativa: análise da aplicação sobre efeito fotoelétrico. **Revista Thema**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 284-300, 2019. DOI: 10.15536/thema.V16.2019.284-300.1362.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: E.P.U, 2015.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

MOTISUKI DIAS, E. S.; RODRIGUES, I. L. A.; MIRANDA, H. R.; CORRÊA, J. A. Roda de conversa como estratégia de educação em saúde para a enfermagem / Conversation wheel as education strategy in health for nursing. **Revista de Pesquisa**

Cuidado é Fundamental Online, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 379–384, 2018. DOI: 10.9789/2175-5361.2018.v10i2.379-384.

MUENCHEN, C. E DELIZOICOV, D. Práticas de Ensino de Ciências na região de Santa Maria/ RS: algumas características. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, 3(2), p. 47-65, 2010.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "Física". **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v20n3/1516-7313-ciedu-20-03-0617.pdf>.Acesso em 20 de jun. de 2020.

NEVES, J. L. Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades. **Caderno de pesquisas em administração**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1-5, 1996.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**, v. 4: ótica, relatividade, física quântica. 2 ed. São Paulo: Blucher. 2014.

OLIVEIRA CARDOSO, S. O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 891-934, 2012.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. S. F. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 9-35, 2005.

PEREIRA, F. S.; DUARTE, A. F. **Formas de superação da situação da experimentação em ensino de Física nas escolas públicas do Estado do Acre**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) UFAC, Rio Branco, Acre. 2016. Disponível em: <http://acrebioclima.net/dissertacao_UFAC_fsp_&_afd.pdf>Acesso em: 22 dez. 2020.

PIERINI, M. F.; LOPES, R. M.; ALVES, N. G. Um referencial pedagógico da aprendizagem baseada em problemas, p. 163. In.: LOPES, R. M.; SILVA FILHO, M. V.; ALVES, N. G. (org.). **Aprendizagem baseada em problemas**: fundamentos para a aplicação no ensino médio e na formação de professores. Rio de Janeiro: Publiki, 2019.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física do Ensino Médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 251-266, 2007.

ROCHA, D. M.; RICARDO, E. C. As crenças de autoeficácia de professores de Física: um instrumento para aferição das crenças de autoeficácia ligadas a Física Moderna e Contemporânea. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 333-364, 2014.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no Ensino Médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4 n. 1, 2005.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, p. 95-111, 2001.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, p. 49-67, 2015.

SASSERON, L. H.; MACHADO, V. F. **Alfabetização Científica na prática**: inovando a forma de Ensinar Física. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

SILVA, N. C. Laboratório virtual de física moderna: atenuação da radiação pela matéria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1206-1231, 2012.

SILVA, J. N. A.; VASCONCELOS NETO, J. A.; XIMENES, C. A. P.; MORAIS, A. C. S.. A experimentação como ferramenta motivacional no ensino de física. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 102473-102485, 2020.

SILVA, I. P.; MERCADO, L. P. L.. Revisão sistemática de literatura acerca da experimentação virtual no ensino de Física. **Ensino & Pesquisa**, [S.l.], jan. 2019. ISSN 2359-4381.

STUDART, N. Resenhas: Física Moderna Experimental. **Física na Escola**, v. 4, n. 2, 2003.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa. **Revista conceitos**, v. 55, n. 10, 2004.

TERRAZZAN, E. A.; ROSA, D. C.; ROSSETTO, G. S. Educação em Ciências na pré-escola: implicações para a formação de professores. **Revista do Centro de Educação da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 28, n. 1, 2003.

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

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1998.

ZANON, D. A. V.; FREITAS, D. A aula de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental: ações que favorecem a sua aprendizagem. **Revista interdisciplinar de estudo da cognição**, v. 10, p. 93-103, mar., 2007.

Apêndice – Produto Educacional

O Apêndice está reservado para apresentação na íntegra do Produto Educacional construído ao longo do desenvolvimento da presente dissertação, com o título: SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO BASEADO NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO BASEADO NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Prof. Isaías Fernandes Gomes
Profa. Bianca Martins Santos

Outubro - 2021

Apresentação

Caro professor (a),

É com grande satisfação que apresentamos a "Sequência didática sobre o efeito fotoelétrico baseado nos três momentos pedagógicos" com o intuito de orientar todos os passos que compõem uma proposta de ensino fundamentada na teoria dos Três Momentos Pedagógicos. Esta publicação é fruto do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), vinculada a Sociedade Brasileira de Física (SBF), polo 59, da Universidade Federal do Acre (UFAC).

Este material foi planejado para introduzir as discussões de Física Moderna no terceiro ano do Ensino Médio, a partir do estudo do Efeito Fotoelétrico. Vale ressaltar que, na elaboração da proposta, escolhemos essa série escolar por ser este o momento em que, formalmente, os alunos conhecem os conceitos básicos de eletricidade bem como seu formalismo matemático.

Sabemos que nós professores somos mediadores do processo de ensino aprendizagem, por isso você poderá fazer as alterações nessa proposta de ensino que forem pertinentes ao seu ambiente e público, sem desfocar do objetivo principal que é ensinar o Efeito Fotoelétrico.

Esperamos que os colegas utilizem esse material com o mesmo entusiasmo e vibração com que o desenvolvemos. Nos colocamos à disposição para eventuais dúvidas que possam surgir na tentativa da aplicação.

Prof. Isaías Fernandes Gomes[1] e Profa. Bianca Martins Santos[2]

[1]isaias.fisica14@gmail.com; [2]bianca.santos@ufac.br

Sumário

Introdução 3

Abordagem Metodológica Dos Três Momentos Pedagógicos 3

1º Momento: Problematização Inicial 5

Aulas 1 e 2: Apresentação de situações problemas sobre o Tema 5

2º Momento: Organização do Conhecimento 12

Aulas 3, 4 e 5: Sistematização do conhecimento feita pelo professor 12

Conceitos físicos abordados 12

Aula 6: Demonstração experimental com Relé Fotoelétrico 22

Aulas 7 e 8: Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico 24

Roteiro Experimental Virtual 25

3º Momento: Aplicação do Conhecimento 29

Aulas 9 e 10: Atividades de avaliação 29

Questionário Avaliativo 30

Referências 33

Apêndice – Slides 34

Introdução

O mundo em que vivemos está repleto de tecnologias, na forma de processos ou produtos tecnológicos. Os conceitos da Física Moderna estão presentes em praticamente todos esses processos e produtos, sendo assim, faz-se importante o ensino de Física Moderna nas escolas, uma vez que essa área nos ajuda a compreender fenômenos ligados a situações vividas pelos educandos, tanto de origem natural quanto tecnológica.

Valadares e Moreira (1998) afirmam que é de extrema importância que o aluno do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano.

Diante da importância do estudo da Física Moderna, foi escolhido o Efeito Fotoelétrico na perspectiva de facilitar o aprendizado do aluno. Uma vez, que esse produto pode ser utilizado de forma contextualizada, relacionando-se esse fenômeno com algumas aplicações tecnológicas vivenciadas pelos alunos no seu dia a dia.

A sequência didática é proposta baseada na aplicação dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs) com o objetivo de colaborar com a inserção de alguns conceitos da Física Moderna através do Efeito Fotoelétrico, proporcionado um ambiente de atividades em que os alunos possam entrar em contato com contextos relacionados ao seu cotidiano

Os Três Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002) são caracterizados através: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento.

Abordagem Metodológica Dos Três Momentos Pedagógicos

A sequência de atividades didáticas, apresentada de forma resumida no Quadro 1, está relacionada à aplicação dos Três Momentos Pedagógicos (3MPs), especificamente para o ensino do Efeito Fotoelétrico. Esta deve ser utilizada para desenvolver os objetivos esperados, através do planejamento articulado entre o professor e a coordenação pedagógica da escola, nela encontram-se os passos necessários para estabelecer os 3MPs.

Quadro 1 - Síntese das Etapas dos Três Momentos Pedagógicos no Ensino do Efeito Fotoelétrico

Etapa	Proposta de atividades	Tempo
Problematização	1) Como funcionam, para acender e apagar, as lâmpadas dos postes de iluminação pública da sua cidade? - Leitura investigativa: reportagem sobre "Iluminação pública"; Debate sobre como o problema pode ser resolvido. 2) Você já entrou em lugares onde as portas se abrem automaticamente mediante certos dispositivos? Qual a explicação do funcionamento desses dispositivos? - Leitura investigativa: reportagem sobre "Benefícios da utilização de Portas Automáticas".	2 aulas (100 min)
Organização do Conhecimento	- Apresentar aos alunos a Biografia de Max Planck bem como a sua teoria de Radiação de corpo negro; - Aula expositiva sobre os conceitos de física moderna: determinação da constante de Planck e o efeito fotoelétrico; - Demonstração de um circuito com relé fotoelétrico; - Contextualização: aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano - Utilizar textos, vídeos, manuais, reportagens e etc; - Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico;	6 aulas (300 min)
Aplicação do Conhecimento	- Construção de texto sobre o efeito fotoelétrico; - Elaboração do Relatório da atividade experimental. - Questionário avaliativo.	2 aulas (100 min)

Fonte: Próprio autor

A seguir serão descritas como as atividades foram desenvolvidas durante as aulas para aplicação desse produto educacional.

1º Momento: Problematização Inicial

Aulas 1 e 2: Apresentação de situações problemas sobre o Tema

Objetivos

- Apresentar situações reais que estão presentes no dia a dia do aluno e que envolvam o fenômeno do Efeito Fotoelétrico;
- Estimular os alunos a debater o que sabem e o que entendem das situações apresentadas.

Procedimentos

Para iniciar a etapa da problematização o professor deverá dividir os alunos em pequenos grupos, de preferência de no máximo três integrantes, e lança a seguinte situação problema:

Problema 1: Todos os dias ao cair da tarde as lâmpadas dos potes de iluminação públicas da nossa cidade são acesas, e pela manhã elas são apagadas. Diante disso, vocês sabem como funciona o acender e apagar das lâmpadas dos potes de iluminação públicas?

Solicite que os pequenos grupos elaborem uma explicação para questão levantada. Depois de alguns minutos peça para que socializem suas respostas. Após a socialização das respostas do primeiro problema, apresente o segundo problema e repita o mesmo procedimento.

Problema 2: Você já entrou em lugares onde as portas se abrem automaticamente? Qual a explicação do funcionamento desses dispositivos

Após os debates e argumentações dos alunos para responderem as situações problemas propostas, apresente os textos 1 e 2 para a leitura e discussão na sala de aula, esses textos foram planejados com a finalidade de explorar ainda mais o assunto abordado inicialmente, sendo eles parte integrante para completar a etapa de problematização.

Texto 1: Reportagem sobre o uso de lâmpadas LEDs na iluminação pública da cidade de Belo Horizonte – MG.

PROCELINFO
CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

cadastro | dúvidas | fale conosco | links | mapa do site

Busca: ok

Assunto: Panorama Nacional

08.05.19/ Belo Horizonte quer repassar economia com iluminação pública para população

Minas Gerais – Projeto de lei proposto prevê a redução de 10% na Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública paga pelos contribuintes

BrunoLavorato/BHIP

Debora Anibolete, para o Procel Info

Minas Gerais – Os moradores de Belo Horizonte poderão ter uma redução de 10% na taxa de Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CCIP). A cobrança, que é embutida na conta de energia, foi alvo de um projeto de lei (PL 696/19) proposto pelo Executivo do município. A redução do valor é referente ao resultado do início do projeto de modernização da iluminação pública da capital mineira, que vem sendo realizado desde 2017. Após verificar redução nos gastos, a prefeitura decidiu repassar a economia para os munícipes. Atualmente, o projeto está em tramitação na Câmara de Belo Horizonte, já tendo sido aprovada por comissões da casa e aguardando votação no plenário, ainda sem data definida. A expectativa da prefeitura é pela aprovação da proposta e, tão logo isso aconteça, a redução deverá ser repassada aos contribuintes.

Esta é a primeira iniciativa do tipo realizada até o momento no país. O recolhimento da CCIP pelos municípios é previsto por uma emenda constitucional de 2002, que permite que as prefeituras determinem também a base de cálculo da taxa, usada para o custeio dos gastos com iluminação pública. O valor é cobrado pela distribuidora de energia local e repassado para o município. No caso de Belo Horizonte, o governo optou por realizar

uma Parceria Público-Privada (PPP) para a manutenção do serviço, visando promover a ampliação e eficientização energética da rede, a diminuição da taxa de falha e do tempo de atendimentos aos chamados de emergência.

Dessa forma, foi programada a modernização do parque de iluminação pública da cidade – que corresponde a 180 mil pontos – com a realocação e a instalação de novos pontos de iluminação, e substituição de lâmpadas de vapor de sódio por luminárias com a tecnologia LED. Além disso, também está prevista a instalação de um sistema de telegestão para controle das luminárias, que permitirá o acionamento remoto, controle da iluminação, medição do consumo de energia e identificação de falhas, permitindo maior rapidez no reparo dos equipamentos.

Com a substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED, prefeitura de Belo Horizonte prevê uma economia mínima de 45% no consumo de energia elétrica

"Pretende-se, com essa iniciativa, antecipar aos contribuintes as reduções do consumo e do custo de manutenção do sistema de iluminação pública verificadas até o momento, decorrentes das medidas de gestão implementadas pelo Poder Executivo a partir de 2017, como a substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED", afirma o prefeito da cidade, Alexandre Kalil, na justificativa do projeto.

Segundo a BHIP, empresa responsável pela execução do projeto, atualmente o trabalho está chegando à marca de 50%, gerando uma economia de 54% do consumo de energia desses pontos. Com a conclusão do projeto, previsto para 2020, a prefeitura espera uma redução mínima de 45% do consumo de energia utilizada para iluminação da cidade. Em termos financeiros, a estimativa é de que sejam economizados R$ 25 milhões na conta de iluminação pública do município.

Por determinação da prefeitura, o trabalho foi iniciado pelas áreas mais populosas da cidade, com menores níveis de renda ou que apresentassem maiores índices de ocorrência de crimes e acidentes automobilísticos. Dessa forma, além da economia, a prefeitura espera que a modernização do sistema auxilie na segurança das vias e espaços públicos e permita a prestação de um serviço mais eficiente à população.

Projeto-piloto

O projeto de modernização da iluminação pública de Belo Horizonte recebeu aporte de R$ 400 milhões da BHIP. Além de implementar o sistema, a empresa também ficará responsável pelos serviços de manutenção. O retorno do investimento será o pagamento de R$ 1 bilhão ao longo dos 20 anos de duração do contrato. De acordo com o diretor de Engenharia e Tecnologia da BHIP, Marcelo Menegatto, a escolha da iluminação de LED foi

determinada pelas opções de adaptação que a tecnologia oferece, e por ser considerada mais eficiente, com taxa de falha girando em torno de 1%, contra 6% das unidades que utilizam vapor de sódio. A tecnologia ainda oferece vantagens do ponto de vista ambiental, por utilizarem material não contaminante.

Capital mineira é a primeira cidade do país a repassar para os moradores a redução no valor das despesas com iluminação pública

"Basicamente as luminárias LED iluminam melhor, são mais modernas, econômicas e têm durabilidade três vezes maior que as atuais lâmpadas de vapor de sódio. As atuais lâmpadas de vapor de sódio apresentam tonalidade alaranjada (temperatura de cor baixa), gastam mais energia elétrica e iluminam menos por diversos fatores. Um deles é que, em um curto espaço de tempo, elas perdem quase 60% do seu fluxo luminoso original. As luminárias LED são, no mínimo, 45% mais econômicas e permitem a adoção de temperatura de cor adequada à cada ambiente urbano. A luz na cor 'branco neutro', semelhante à da Lua, foi a escolhida para modernização das vias de Belo Horizonte", explica Menegatto.

O diretor de Engenharia e Tecnologia da concessionária destaca ainda que o projeto é pioneiro devido, principalmente, ao curto espaço de tempo em que está sendo realizado – cerca de 3 anos – e cita como exemplo, o caso da cidade de Los Angeles, nos Estados Unidos, onde um trabalho semelhante foi realizado, mais em um período relativamente maior, com a modernização de 210 pontos de luz em 7 anos. Marcelo Menegatto ressalta ainda que mensalmente o município tem recebido a visita de representantes de outras regiões do país, interessados em conhecer o modelo adotado em Belo Horizonte.

Disponível em: https://bit.ly/3qyfxLs

Texto 2: Fala sobre alguns benefícios sobre a utilização de porta automáticas em diversos ambientes com grande circulação de pessoas.

PORTAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO: 7 IMPORTANTES BENEFÍCIOS

10 de novembro de 2016

As portas automáticas de vidro é um bom exemplo de sucesso na nossa sociedade. É utilizada em diversos lugares como shoppings, edifícios corporativos, aeroportos, hospitais, hotéis, casas, etc.

Porém, qual é o segredo desse sucesso? Por que uma coisa que foi inventada no século I e permaneceu esquecida durante muito tempo tornou-se tão popular na sociedade contemporânea?

Para explicar melhor, separamos 7 benefícios que tornaram as portas automáticas de vidro com sensor em um elemento indispensável.

1 – Os clientes preferem portas automáticas de vidro

Todas as pesquisas que são feitas ao respeito obtêm o mesmo resultado: os clientes preferem e avaliam positivamente a porta automática de vidro com relação às portas convencionais. Na verdade, **a porcentagem a favor é de 98.9%** de acordo a uma pesquisa realizada nos Estados Unidos.

A maioria das pessoas entrevistadas afirmaram que as portas automáticas deslizantes são fundamentais em hospitais, hotéis, shoppings e aeroportos. Além disso, pediram uma maior

presença em edifícios públicos municipais e pequenos comércios.

2 – Comodidade

O uso das portas automáticas de vidro ao invés de portas pesadas e difíceis de abrir manualmente demonstram o interesse e preocupação pela comodidade dos usuários. São tão cômodas que não é preciso usar as mãos, o que também pode **beneficiar uma grande porcentagem de brasileiros com necessidades especiais.**

De fato, de todas as comodidades possíveis, as portas automáticas de vidro são as primeiras na lista para obter-se uma experiência agradável. Todos coincidem: mostram um bom serviço ao cliente e facilitam o acesso a pessoas da terceira idade, pessoas com necessidades especiais e até para os pais com carrinhos de bebês.

3 – Imagem

A primeira impressão é fundamental e definitiva. Quando entramos em um edifício ou shopping, sempre esperamos uma porta automática de vidro instalada. Por outro lado, se nos deparamos com portas manuais, ficamos com uma impressão negativa do lugar pela baixa acessibilidade. Pensamos que não consideraram as nossas necessidades e isso para um negócio pode ser considerado um erro muito grave.

4 – Fáceis de usar e de manter

As portas automáticas são fabricadas de acordo a exigentes estandartes de qualidade e segurança, oferecem uma **manutenção simples** e são fáceis de instalar em qualquer lugar. São tão simples que para utilizá-las não é necessário utilizar as mãos. Depois de instaladas, a sua gestão diária não requer grandes conhecimentos e é raro o surgimento de problemas, claro que sempre quando são bem instaladas.

5 – Economia de energia

Ultimamente este vem sendo um dos melhores benefícios das **portas automáticas** de vidro, já que a conta de luz é cada vez mais alta no Brasil. Graças aos sofisticados sensores de movimento, as portas só abrem quando realmente é necessário. Isso é fundamental para manter a temperatura do ambiente e como consequência, economizar energia.

Além disso, a velocidade de abertura e fechamento tem um papel muito importante na hora de economizar energia. Se consideramos que uma porta automática deve abrir-se sempre que seja necessário para facilitar o acesso, quanto menos tempo esteja aberta, menos energia iremos perder.

Estabelecimentos que mantêm a porta meio aberta disparam seus custos com aquecimento

ou com o ar-condicionado. Por outro lado, os sistemas automáticos regulam a passagem de entrada e saída e também servem de barreira natural para manter a temperatura desejada.

Para conhecer mais desse benefício, você pode baixar agora o e-Book Como **as portas automáticas podem beneficiar a economia de energia e de água**. Neste e-Book, a Novva Aprimatic by PPA explica todas as vantagens que o seu negócio e o seu bolso podem ter com a instalação de portas automáticas.

6 – Higiene e saúde pública

Você lava as mãos depois de ir ao banheiro? Pois é, muita gente não tem esse costume e ao tocar a maçaneta de banheiros públicos ou de lojas você pode estar contraindo várias doenças.

As portas sociais automáticas são conhecidas por proporcionar conforto aos usuários, que não necessitam fazer nenhum esforço para entrar e sair de lugares públicos.

Por ser uma **questão de higiene e saúde pública**, o Laboratório Bioqualitas, fez uma pesquisa em maçanetas de banheiros e detectou bactérias que fazem mal à saúde e indicam falta de higiene.

Durante uma semana, profissionais do Laboratório Bioqualitas coletaram amostras em maçanetas de banheiros em 10 locais do Rio de Janeiro. Em sete deles, foram encontradas três bactérias patogênicas, que fazem mal à saúde. Foram encontrados nas portas de banheiros da Central do Brasil, Rodoviária, Barra Shopping, Aeroporto Santos Dumond e em dois restaurantes no centro da cidade.

7 – Acessibilidade

É muito importante dar as boas-vindas a todo mundo, sem importar as suas capacidades físicas, com um sistema de abertura eficiente. Em um mundo globalizado, as rampas, elevadores ou as portas automáticas, oferecem a possibilidade de qualquer pessoa entrar a qualquer lugar sem fazer grandes esforços.

Em muitos países, inclusive no Brasil, os acessos para idosos e pessoas com necessidades especiais são obrigatórios. Nós, da Novva Aprimatic by PPA acreditamos, que além da obrigação, é uma questão de ética e responsabilidade de toda a população.

Disponível em: https://www.novvaaprimatic.com.br/blog/portas-automaticas-de-vidro/

2º Momento: Organização do Conhecimento

Para essa etapa foram desenvolvidas diversas atividades que estão divididas por aulas e apresentadas a seguir:

Aulas 3, 4 e 5: Sistematização do conhecimento feita pelo professor

Objetivos

- Conhecer a teoria da Radiação do Corpo Negro;
- Descrever o contexto histórico que envolveu o início da Física Moderna;
- Fundamentar o conceito do efeito fotoelétrico.

Procedimentos

Nesta etapa será apresentado através de aulas expositivas sobre a teoria criada por Max Planck para a Solução do Problema da Radiação do Corpo Negro, e explicação do efeito fotoelétrico feito por Einstein. A seguir são apresentados os principais os conceitos físicos abordados e no Apêndice A, estão apresentados os slides que foram utilizados nas aulas.

Conceitos físicos abordados

Radiação do Corpo Negro

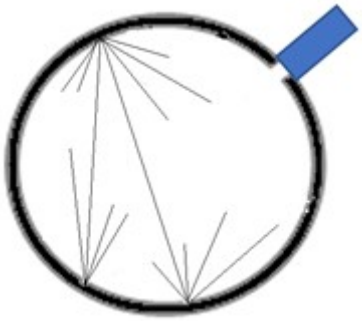
O surgimento da Física Moderna se dá com as ideias que já vinham sendo formuladas no final do século XIX, em particular, em relação ao fenômeno da distribuição espectral da radiação térmica.

O espectro da radiação emitida por um corpo aquecido depende da temperatura e das propriedades desse corpo. Por exemplo, a observação no interior de um forno a uma certa temperatura T, permite detectar a irradiação de calor correspondente a essa temperatura. Trata-se da radiação térmica, quer dizer, radiação eletromagnética de espectro contínuo, que pode ser determinado experimentalmente mediante um pirômetro (NUSSENZVEIG, 2014).

Sabe-se pela experiência que, à medida que a temperatura de um corpo se eleva, a intensidade da radiação aumenta e a frequência correspondente ao máximo da intensidade da radiação também aumenta. Todo corpo emite e absorve radiação térmica, de todas as frequências e, com o aumento da temperatura, mais radiação é emitida.

Para o estudo da radiação térmica foi idealizado o corpo negro: um modelo de corpo em equilíbrio térmico à temperatura T. Os pontos do corpo emitem toda a radiação que absorvem. A representação do corpo negro, está mostrada na figura 1: uma cavidade tridimensional coberta de negro-de-fumo, dotada de um minúsculo orifício de observação fechado por um sensor de radiação. As linhas incidentes e emergentes representam absorção e emissão da radiação em três dos infinitos pontos do corpo.

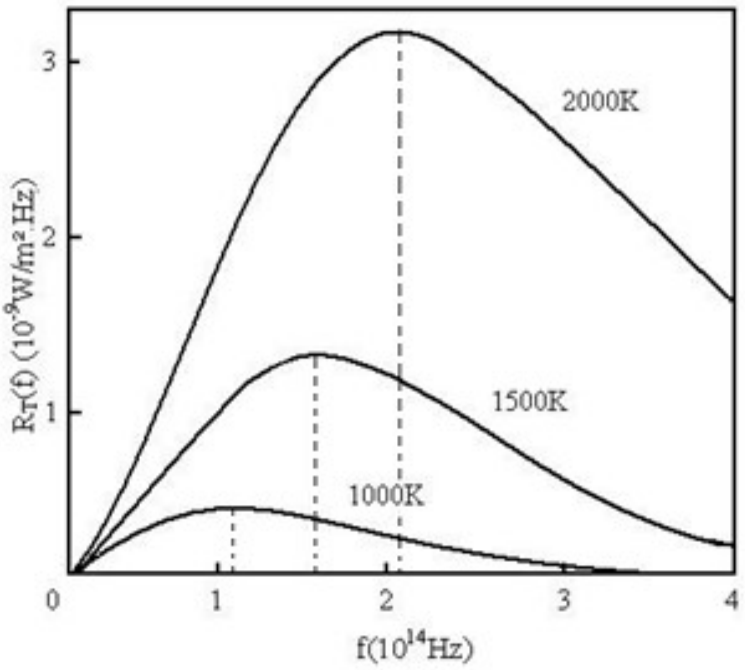
Figura 1 – Representação de um corpo negro. Emissão e absorção de radiação térmica por todos os pontos da cavidade. Em azul, um sensor de radiação.



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Eisberg; Resnick (1979)

A distribuição espectral da radiação do corpo negro obedece a relação entre a radiância e a frequência da radiação $R_{T,df}(f)$: intensidade de radiação emitida por intervalo de frequência df, a uma temperatura T, para diferentes valores de frequência. Como mostrado na figura 2.

Figura 2 - Radiância de um corpo negro em função da frequência



Fonte: Eisberg; Resnick (1979)

Como pode ser observado na figura 2, a frequência na qual a radiância é máxima (linha pontilhada), aumenta linearmente com a temperatura. A radiância integral R_T (área sob a curva) aumenta (muito rapidamente) com a quarta potência da temperatura, segundo a lei de Stefan-Boltzman

$$R_T = \sigma . T^4 \tag{1}$$

Onde:

R_T = Radiância integral da radiação do corpo negro (W/m²);

T = Temperatura do corpo negro (K);

$\sigma = 5{,}67 \,.\, 10^{-8}\ W/m^2K^4$, constante de Stefan-Boltzman.

A figura 2 também mostra que o espectro desloca-se para maiores frequências à medida que a temperatura T aumenta. Este resultado é chamado de Lei do Deslocamento de Wien.

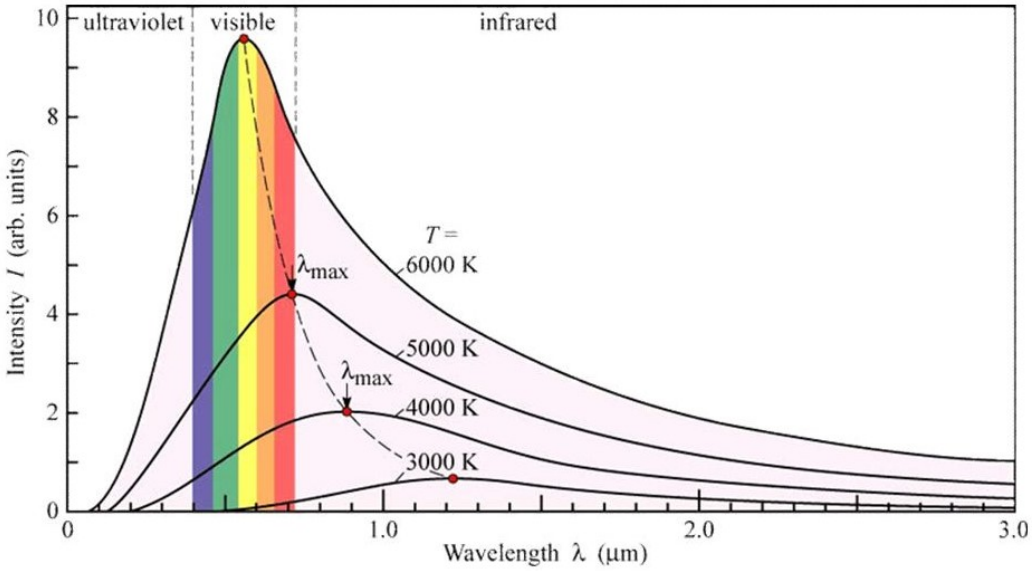
$$\frac{f_{Máx}}{T} = constante \tag{2}$$

Wien propôs um modelo que descrevia bem a relação experimental entre o comprimento de onda correspondente ao máximo da curva ($\lambda_{Máx}$) e a temperatura do corpo negro (figura 3), e tem a forma: $\lambda_{Máx} \,.\, T = constante$, onde: o valor determinado experimentalmente para a constante de Wien é de $2{,}898 \,.\, 10^{-3}\ m.K$.

A Lei do deslocamento de Wien pode ser expressada através da equação 3:

$$\lambda_{Máx} \,.\, T = 2{,}898 \,.\, 10^{-3}\ m.K \tag{3}$$

Figura 3 - Lei do deslocamento de Wien

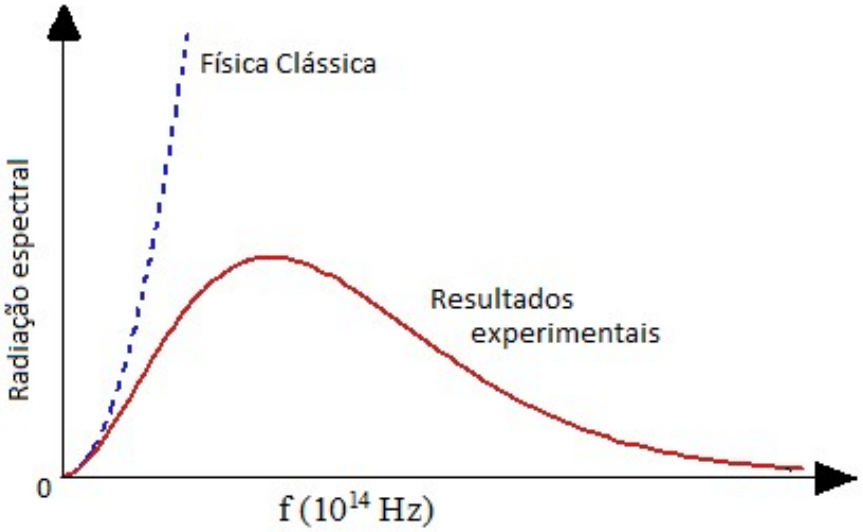


Fonte: http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/?author=1&paged=2

Ao explicar por meio da teoria clássica os resultados experimentais obtidos, observou-se que, para grandes comprimentos de onda (menores frequências), havia certa concordância com os resultados experimentais. Entretanto, para comprimentos de onda menores (grandes frequências) havia grande discordância entre a teoria e a experiência, como demonstrado na figura 4. O comportamento discrepante da teoria clássica para altas frequências é conhecido como a "catástrofe do ultravioleta".

O termo sugere e enfatiza a não validade da Física Clássica para a explicação do espectro de radiação do corpo negro. Esse problema foi resolvido por Planck e outros pesquisadores.

Figura 4 - Distribuição espectral da radiação térmica



Fonte: Eisberg; Resnick (1979)

Em 1879, Max Planck apresentou em Munique, na Alemanha, sua tese de doutorado sobre Termodinâmica. Dez anos mais tarde, ele assumiu uma cátedra na Universidade de Berlim, Alemanha, e passou a se dedicar ao estudo da radiação do corpo negro. Em 19 de outubro de 1900, Planck estabeleceu um marco na Física ao apresentar seu trabalho na Sociedade de Física de Berlim, e a publicação foi efetuada em 14 de dezembro de 1900, dando início ao que se popularizou como Física Quântica e Física Moderna. Pelo seu trabalho, Planck recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1918.

Para explicar a distribuição espectral da radiação térmica, Planck introduziu a revolucionária ideia, que conduziram a uma equação que concordava com os dados experimentais da radiação do corpo negro em todos os comprimentos de onda (ou frequências). Como na agitação molecular ocorrem oscilações dos portadores de carga elétrica e emissão de ondas eletromagnéticas, Planck associou osciladores harmônicos na superfície do corpo às cargas elétricas dentro das moléculas e

obteve resultados de acordo com a experiência[1], Planck postulou que um oscilador de frequência *f* só poderia emitir ou absorver energia em múltiplos inteiros de um "quantum de energia".

A quantidade mínima de energia emitida, ou seja, o quantum, seria um pacote hf, de energia, em que h é uma constante que posteriormente foi denominada constante de Planck, ou seja, a energia do quanto seria:

$$E = hf \tag{4}$$

Em que:

- f é a frequência da radiação
- h constante de Planck, cujo valor no SI é 6,6261 x 10-34 J.s

Planck, apesar de ter encontrado a solução do problema, relutou em publicá-la, pois seu resultado divergia dos seus princípios fundamentados na Física Clássica. Contudo, seu resultado foi publicado em 1900 e marcou o nascimento da Física Quântica. A ideia de quantização da energia viria ser utilizada para resolver outros problemas da época, e a constante de Planck passaria a ser a marca da Física Moderna.

O Efeito Fotoelétrico

Um outro problema que as leis da Física Clássica não conseguiam explicar era o efeito fotoelétrico, que foi descrito em 1887 pelo físico Heinrich Hertz (1857-1894), que percebeu que quando uma superfície metálica era iluminada por uma determinada frequência de radiação eletromagnética, elétrons eram ejetados desse metal. O problema consistia em explicar o porquê a energia cinética dos elétrons ejetados da superfície metálica não dependia da intensidade da luz incidente.

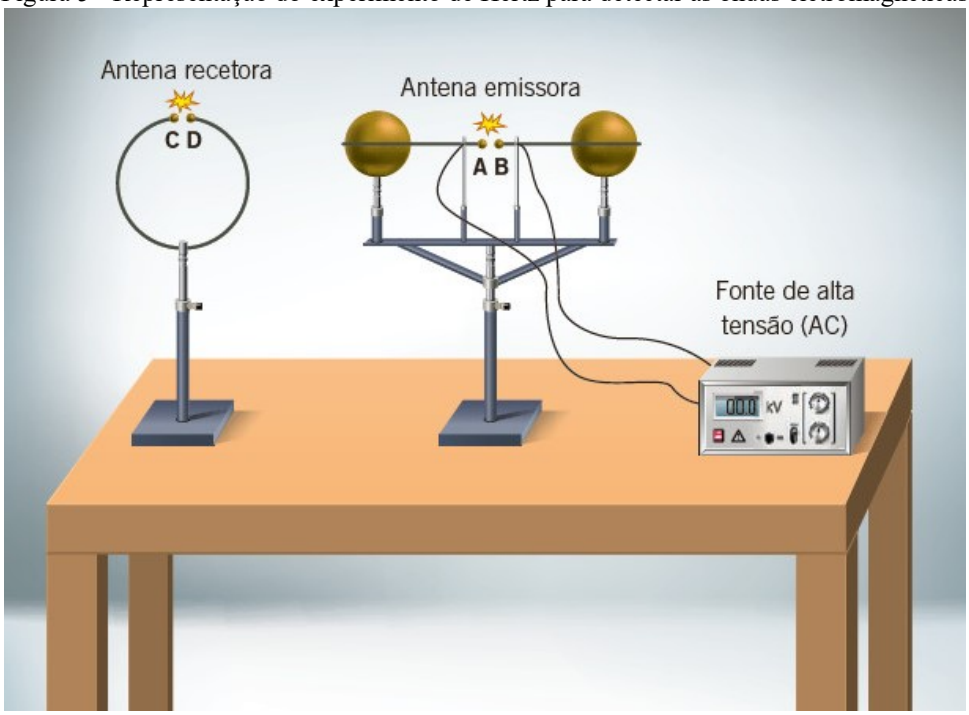
Com suas experiências, Hertz confirmou a existências das ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz. Paradoxalmente, ao comprovar a teoria de Maxwell, coroamento da Física Clássica, Hertz estava assim observando o efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização (EISBERG; RESNICK, 1979).

Em seus experimentos, ilustrados na figura 5, Hertz produzia uma descarga oscilante, fazendo saltar centelhas (faíscas) entre os eletrodos, para gerar ondas, e detectava-as usando uma antena ressonante, onde a detecção também era acompanhada de centelhas entre os eletrodos. Ele observou

[1] Planck confessou, mais tarde que só foi levado a formular esse postulado por "um ato de desespero", dizendo: "era uma hipótese puramente formal, e não lhe dei muita atenção, adotando-a porque era preciso, a qualquer preço, encontrar a explicação teórica. (NUSSENZVEIG, p. 205, 2014)

que o comprimento da centelha causada pela descarga elétrica entre duas esferas metálicas diminuía quando se escurecia a sala do laboratório e tornava-se maior quando a sala era iluminada. Estudos mais detalhados do fenômeno de Hertz revelaram que, quando havia uma incidência de radiação ultravioleta na superfície de bronze da esfera polida ligada ao terminal negativo da fonte, a centelha realmente se tornava maior.

Figura 5 - Representação do experimento de Hertz para detectar as ondas eletromagnéticas



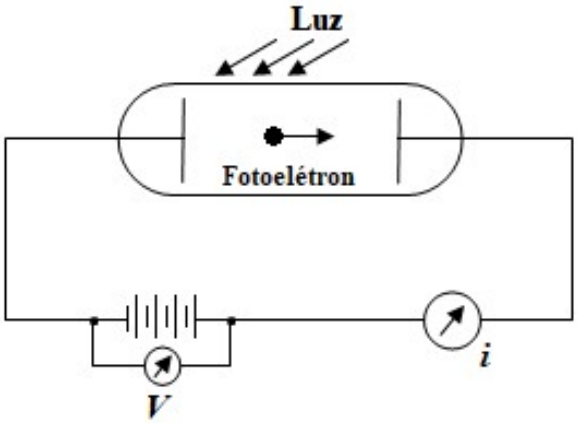
Fonte: https://www.santillana.pt/files/DNLCNT/Priv//_11809_c.book/282/index.html#/pag/215

Logo verificou-se que o aumento da descarga era uma indicação de emissão de partículas eletrizadas, provenientes da esfera, estimuladas pela incidência de radiação. Esse fenômeno foi denominado fotoeletricidade (posteriormente, efeito fotoelétrico). Nessa época, o elétron ainda era desconhecido, pois essa partícula só foi descoberta em 1897 pelo físico Joseph John Tomson (1856-1940). Foi nesse ano que as cargas elétricas emitidas pela superfície metálica no efeito fotoelétrico passaram a ser identificadas como elétrons.

As investigações posteriormente feitas sobre o efeito fotoelétrico, realizadas principalmente pelo físico alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947), revelaram uma série de características intrigantes e contraditórias segundo o esperado com base na Física Clássica.

Num experimento típico, como ilustrado na figura 6, os eletrodos estão dentro de uma ampola de quartzo a vácuo (transparente à luz ultravioleta), e se estabelece entre eles uma diferença de potencial V, iluminando depois o catodo com luz de frequência f e intensidade I0. Com o auxílio de um amperímetro, mede-se a intensidade i da corrente elétrica gerada.

Figura 6 - Representação do arranjo experimental utilizado por Lenard.



Fonte: (NUSSENZVEIG, 2014).

Em seus experimentos sobre efeito fotoelétrico, Lenard verificou que:

- A emissão de elétrons ocorre somente a partir de uma determinada frequência, que depende da substância sobre a qual incide a radiação. Essa frequência é denominada frequência de corte.
- Para a maioria dos metais, a frequência de corte pertence à região da radiação ultravioleta; entretanto, para óxido de césio e potássio, essa frequência pertence ao espectro visível.
- Para frequências inferiores à de corte, o efeito não ocorre, mesmo que a intensidade da radiação incidente seja aumentada.
- Quando a emissão ocorre, o número de elétrons emitidos é diretamente proporcional à intensidade da luz monocromática incidente.

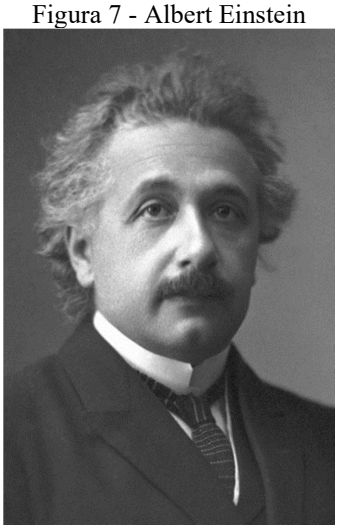
A Física Clássica não conseguia explicar o fato de que a emissão dos elétrons dependia da frequência da radiação e não de sua intensidade. Isso era estranho pois, segundo a teoria ondulatória da luz, quanto maior a intensidade, maior é a amplitude da onda e, portanto, maior é a quantidade de energia que ela transporta. Em outras palavras, segundo a teoria ondulatória da luz, para uma intensidade "suficientemente" grande, qualquer que fosse a frequência da onda incidente na superfície do metal deveria se "arrancar" elétrons, mas não era o que as experiências demostravam.

Teoria de Einstein do Efeito Fotoelétrico

Como foi visto na seção anterior, a Física Clássica esbarrava em alguns pontos na tentativa de explicar o efeito fotoelétrico utilizando o caráter ondulatório da luz. A explicação compatível com os fatos experimentais foi dada por Albert Einstein (1879-1955) num trabalho publicado em 1905, intitulado "Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz", Einstein propôs uma audaciosa teoria do efeito fotoelétrico baseada numa extensão das ideias de Planck sobre a

quantização da energia. (NUSSENZVEIG, 2014). O Prêmio Nobel de Física de 1921 foi concedido a Albert Einstein, (figura 7), pela sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.

Figura 7 - Albert Einstein



Fonte: https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/summary/.

De acordo com Eisberg e Resnick (1979) Einstein citou o efeito fotoelétrico como aplicação que poderia testar qual teoria estava correta, a sua ou a teoria clássica da luz. Isso aconteceu vários anos antes do trabalho de Millikan, mas Einstein foi influenciado pela experiência de Leonard. Como mencionado na seção 1.1, Planck originalmente restringiu seu conceito de quantização de energia aos elétrons nas paredes de um corpo negro. Planck acreditava que a energia eletromagnética, quando irradiada, se espalhava pelo espaço. Por outro lado, Einstein propôs que a energia radiante está quantizada em pacotes concentrados, que vieram a ser chamados de fótons.

No seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico, Einstein não concentrou sua atenção na teoria ondulatória da luz, mas na sua teoria corpuscular (fotônica). Ele relacionou a energia E do fóton com sua frequência f conforme a equação (1), onde h é a constante de Planck.

$$E = hf \tag{1}$$

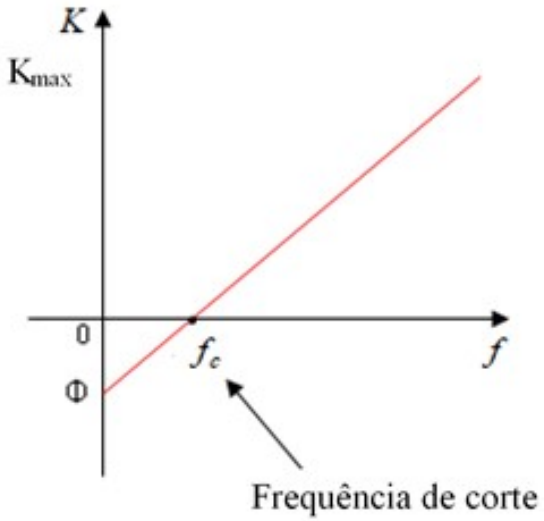
Einstein supôs que no processo fotoelétrico um fóton, n = 1, é completamente absorvido por um único elétron. Para uma maior quantidade de fótons incidentes, n > 1, a corrente fotoelétrica aumenta, correspondentemente. A expressão (2) é a equação de Einstein do efeito fotoelétrico, significa que a energia cinética máxima $K_{máx}$ do fotoelétron

$$K_{máx} = hf - \Phi \tag{2}$$

corresponde à diferença entre a energia do fóton hf e a energia Φ necessária para o elétron seja ejetado da superfície do metal (estado de máxima energia). Essa energia é conhecida como função trabalho ou trabalho de extração, igual a hf_c, onde f_c recebe o nome de frequência de corte.

A figura 8 mostra a representação gráfica da energia cinética máxima do fotoelétron em função da frequência do fóton incidente no metal.

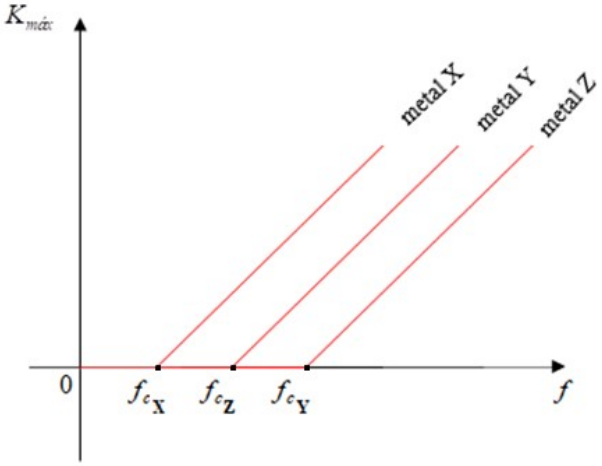
Figura 8 - Energia cinética máxima dos fotoelétrons em função da frequência do fóton.



Fonte: Adaptado de Nussenzveig (2014).

Da figura 9 conclui-se que $K_{máx} = hf - \Phi$, sendo $f \geq f_c$. O coeficiente angular da reta é a constante de Planck h. Na figura 9 estão representados três metais diferentes X, Y, Z.

Figura 9 - Gráfico da frequência de corte de três metais



Fonte: Adaptado de Nussenzveig (2014).

Esse gráfico foi confirmado experimentalmente pelo físico Robert Andrews Millikan (1868-1953), em 1916. O valor do coeficiente angular corresponde de fato à constante de Planck.

O Quadro 2 mostra a ocorrência da descoberta do efeito fotoelétrico até a teoria do fóton.

Quadro 1 - Da descoberta do efeito fotoelétrico até a teoria fotônica

Ano	**Cientista**	**Cronologia**
1887	Hertz	Observação do efeito fotoelétrico
1897	J. J. Tomson	Descoberta do elétron
1899	P. Lenard	Contradições experimentais com base na Física Clássica
1900	Planck	Lei da radiação de Planck e quantização de energia
1905	Einstein	Equação de Einstein do efeito fotoelétrico, teoria fotônica

Fonte: Elaborada pelos autores

Diante das inúmeras aplicações do efeito fotoelétrico, por exemplo, na contagem do número de pessoas que passam em um determinado local, na abertura e no fechamento automático de portas, nos dispositivos que ligam e desligam automaticamente sistemas de iluminação e em sistemas de alarmes. Fica, portanto, que na aplicação da sequência didática será tratado, inicialmente, o estudo da radiação térmica e o corpo negro abordando a Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei do deslocamento de Wien. Em seguida, será abordado o trabalho de Planck sobre a quantização da energia, e por fim destacamos o efeito fotoelétrico e suas aplicações.

Aula 6: Demonstração experimental com Relé Fotoelétrico

Nessa aula o problema apresentado no início da sequência didática será trabalhado através de uma demonstração experimental de um circuito elétrico que contém uma lâmpada ligada a um relé fotoelétrico, conforme pode ser visto na figura 10.

Figura 10 - Montagem experimental para acendimento de lâmpada com o uso de relé fotoelétrico

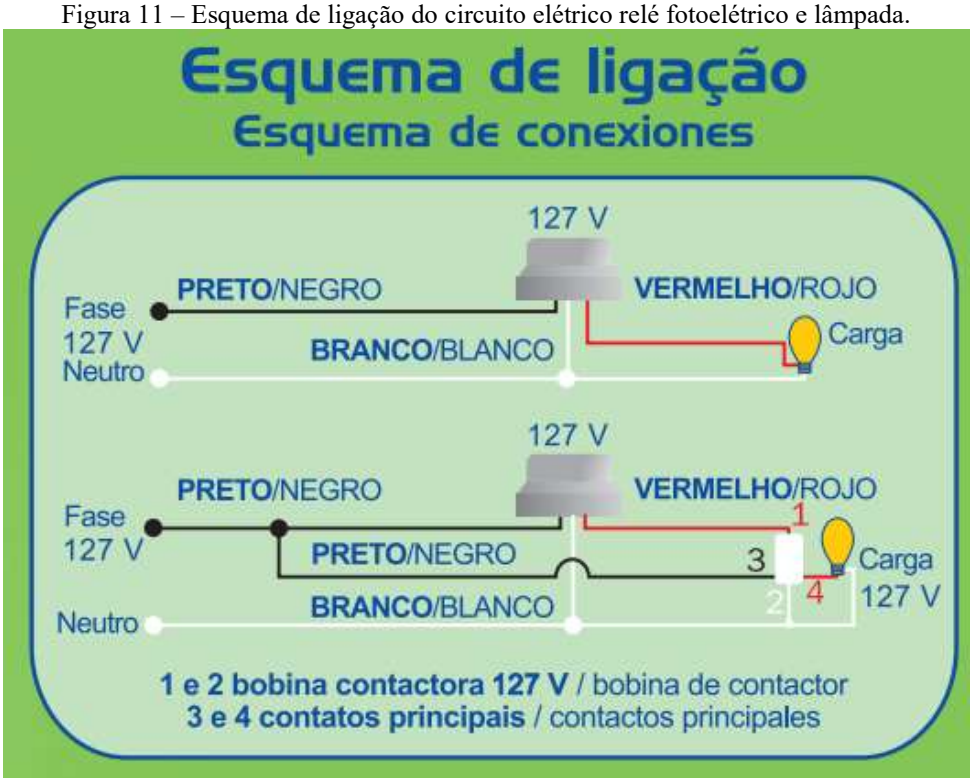
Fonte: Próprio autor

Os materiais utilizados para construção do experimento são:

- 1 relé fotoelétrico ;
- 1m fio encapado vermelho 2,5 mm
- 1m de fio encapado preto 2,5 mm
- 1m de fio encapado branco 2,5 mm
- 1 bocal de lâmpada
- 1 lâmpada
- 1 plug tomada macho
- 1 base de madeira para fixar o relé fotoelétrico

Para a montagem do experimento, faz-se necessário o uso de alicate para realizar os cortes nos fios, além de fita isolante para evitar qualquer tipo de acidente com a energia elétrica. A figura 11 traz o modelo esquemático completo do experimento:

Figura 11 – Esquema de ligação do circuito elétrico relé fotoelétrico e lâmpada.



Fonte: Adaptado de https://www.exatron.com.br/storage/products-files/WNurKitQy1ZJz2LK4psNzAVGZJBR42bbMk8q4byW.pdf

O circuito foi montado com fios flexíveis e afixado sobre uma base de madeira, placa de madeira. Um passo importante nesta construção é certificar-se que os fios do relé fotoelétrico sejam conectados corretamente. Este é um dispositivo com três fios em sua saída, devendo ser conectado em uma base própria, onde estão os três fios de saída, geralmente nas cores preto, vermelho e branco (vide figura 11).

Ainda havendo dúvidas sobre como deverá ser feita as ligações e conexões na montagem do aparato experimental sugere-se os seguintes vídeos:

- **Vídeo 1: Ligando um relé fotoelétrico no refletor de LED**
  (Link: https://youtu.be/gmigUQGNcBk);

- **Vídeo 2: Como instalar uma fotocélula**
  (Link: https://www.youtube.com/watch?v=ZdLu5rPzP4c&t=67s).

Através desse experimento o problema será novamente apresentado, porém dessa vez os alunos poderão visualizar o fenômeno físico, ou seja, nessa etapa o aluno vai se deparar com uma situação experimental investigativa em que ele é responsável pela resolução.

Portanto esse experimento tem como objetivo demonstrar qualitativamente o efeito fotoelétrico relacionado à busca da compreensão do que leva ao acender e apagar das luzes dos postes de iluminação pública. Essa prática também possibilita aos alunos o aprimoramento do conhecimento sobre as diferentes formas de análise das contribuições do efeito fotoelétrico no cotidiano, usando a estratégia da abordagem experimental (relé fotoelétrico). Além de oportunizar aos alunos observar, na prática experimental, os processos do efeito fotoelétrico, bem como a metodologia física e, em geral, científica subjacente à prática, a fim de que possam compreender a aplicação da análise do fenômeno.

Aulas 7 e 8: Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico

Dando continuidade nas atividades do 2° Momento, no qual trata a parte da organização do conhecimento, será utilizado como recurso didático um simulador online que reproduz virtualmente o experimento do efeito fotoelétrico. Essa atividade pode ser desenvolvida em pequenos grupos, como sugestão é indicado que os grupos tenham no máximo três alunos.

De preferência que essa atividade seja realizada no laboratório de informática, para que cada grupo possa realizar as atividades, podendo ainda o professor projetar o simulador para toda a turma. Esse simulador pode ser aberto também através de um celular com acesso à internet.

Para a realização dessa atividade foi elaborado um roteiro experimental virtual, apresentado a seguir, que será entregue aos alunos, onde constam os procedimentos que os eles deverão seguir durante todo o processo, sendo importante a mediação do professor neste momento.

Aproveitando a utilização do computador ou celular é sugerido que antes da realização do experimento virtual seja feita a apresentação de dois pequenos vídeos sobre o efeito fotoelétrico: o primeiro vídeo intitulado "A natureza das coisas - Einstein no dia a dia - Parte I"[2] com aproximadamente 9 minutos de duração e faz parte de uma série de documentários que conta um pouco sobre a vida do físico Albert Einstein, destacando nessa parte a conquista do Prêmio Nobel de Física através da explicação do Efeito Fotoelétrico. O segundo vídeo descreve algumas aplicações do efeito fotoelétrico encontradas no dia a dia, que foi apresentado por uma reportagem no G1 Pernambuco, intitulado "Efeito fotoelétrico leva em consideração, as descobertas de Einstein"[3].

[2]Disponível em: https://youtu.be/Oqz6WqeM0uk (Acessado no dia 13/08/2019).
[3]Disponível em: http://g1.globo.com/pernambuco/videos/v/efeito-fotoeletrico-leva-em-consideracao-descobertas-de-einstein/2962910/ (Acessado no dia 13/08/2019).

Roteiro Experimental Virtual

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física	Ufac	SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

Aluno (a): _____ Turma:_____ Data: ___/___/____

TÍTULO: Roteiro para a utilização do simulador

OBJETIVOS

- Compreender a interação da luz com a matéria.
- Analisar qualitativamente a relação da frequência e da intensidade com o efeito fotoelétrico.
- Aplicar o modelo matemático descrito por Einstein em problemas envolvendo o efeito fotoelétrico.

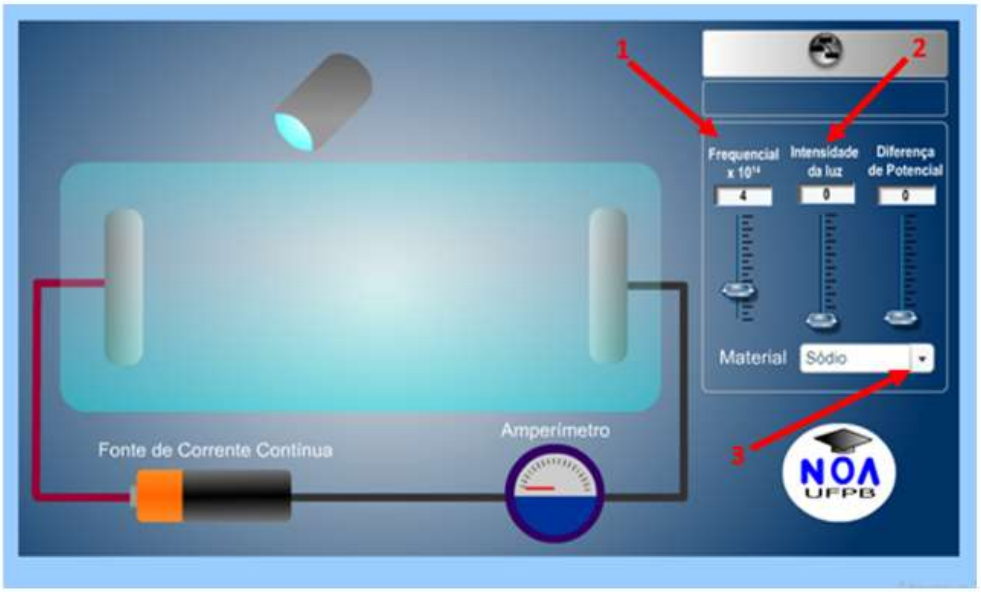
MATERIAIS

- Computador ou celular com acesso à internet.
- Link para acessar o simulador: http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

- Acesse o simulador do efeito fotoelétrico, conforme exibido na figura 1.

Figura 1: Tela principal do Simulador do efeito fotoelétrico



[1]Cursor para regular a frequência da radiação eletromagnética (Luz);
[2]Cursor para regular a intensidade da luz;
[3]Seletor para escolher os metais que poderão ser utilizados na simulação.

Fonte: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>.

Etapa 1

Inicialmente devemos estabelecer as condições iniciais do experimento:

1. Selecione um dos **metais**[3] como material a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.

2. Coloque o cursor da **frequência**[1] no seu ponto médio, como indicado na figura 1.

3. Retire toda a luz que incide no experimento, ou seja, coloque o cursor da **intensidade**[2] da luz na posição zero e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.

_____

_____

_____

_____

_____

4. Agora regule o cursor da intensidade para o ponto médio e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.

_____

_____

_____

_____

_____

5. Regule o cursor da intensidade para a posição máxima e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.

_____

_____

_____

_____

_____

6. Discuta com seus colegas e chegue a uma conclusão sobre a relação existente entre o efeito fotoelétrico e a intensidade luminosa.

_____

_____

_____

_____

_____

7. Agora coloque o cursor da intensidade da luz na posição máxima. Com o curso da frequência também na posição máxima, lentamente diminua a posição do cursor da frequência até chegar na posição zero. Registre suas observações.

_____

_____

_____

_____

_____

Etapa 2

8. Selecione agora outro metal a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.

9. Fixe o cursor da frequência no ponto médio e varie o cursor da intensidade da luz de zero até seu valor máximo. Registre o resultado experimental encontrado.

_____

_____

_____

_____

_____

10. Fixe o cursor da intensidade da luz no ponto médio e varie o cursor da intensidade da frequência de zero até seu valor máximo. Registre o resultado experimental encontrado.

_____

_____

_____

_____

_____

11. O que aconteceu com o valor da frequência de corte quando o material da placa metálica foi alterado?

_____

_____

_____

_____

_____

12. E se alterarmos novamente o material da placa metálica o que acontecerá com a frequência de corte? Escolha um terceiro metal para material da placa refaça os passos 09 e 10, em seguida tire suas conclusões.

_____

_____

_____

_____

_____

RESULTADOS ESPERADOS E/OU VALORES DE REFERÊNCIA

De acordo com os seus resultados experimentais explique como funciona o efeito fotoelétrico. E por que ele não pode ser explicado de acordo com a física clássica.

_____

_____

_____

_____

_____

3º Momento: Aplicação do Conhecimento

Na a etapa da aplicação do conhecimento, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), destacam que o professor tem o papel de desenvolver diversas atividades em que os estudantes aproveitem dos seus conhecimentos científicos explorados na Organização do Conhecimento de forma a articulá-los com situações de seu cotidiano. Para os autores o que deve ser explorado nesta última etapa é o potencial explicativo e conscientizador das teorias científicas.

Aulas 9 e 10: Atividades de avaliação

O processo de avaliação das atividades realizadas deve ser contínuo, pois os debates gerados em sala de aula, a participação durante as aulas expositivas e a realização das atividades experimentais são de extrema importância para o processo de ensino-aprendizagem.

As duas últimas aulas serão destinadas para que os alunos elaborem um texto sobre o que entenderam sobre o Efeito Fotoelétrico, e o relatório da atividade experimental desenvolvida anteriormente; além de resolverem um questionário avaliativo (apresentado logo abaixo) contendo 10 questões sobre o que foi trabalhado durantes as aulas.

Questionário Avaliativo

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física	Ufac	SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

Aluno (a): _____ Turma: _____ Data: ___/___/____

Questionário Avaliativo

Dados:
c = 3 .10^8 m/s (velocidade da luz no vácuo);
h = 6,63 × 10^{-34} J.s (constante de Planck);
1 eV = 1,60 × 10^{-19} J

1. Qual das afirmações abaixo explica corretamente o efeito fotoelétrico?
a) Choque elétrico entre as partículas leves e núcleos.
b) Produção de raios X, quando há choque de elétrons em uma placa de metal.
c) Produção de luz por modificação energética de um sistema atômico.
d) Ejeção de elétrons de uma superfície metálica por incidência de radiação eletromagnética.
e) Nenhum dos fenômenos acima.

2. Determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons se a função trabalho do material é de 2,3 eV e a frequência da radiação é de 3,0.10^{15} Hz.

3. Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.
I. A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.
II. A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.
III. Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.
Assinale a alternativa correta.
a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

4. A emissão de fotoelétrons por um determinado metal exige que:
a) A luz incidente tenha uma frequência maior que um determinado valor.

b) A luz incidente tenha um comprimento de onda superior a um determinado valor.
c) A temperatura do metal esteja próximo à de sua temperatura de fusão.
d) A luz incidente tenha uma intensidade superior a um determinado valor.
e) O metal não esteja ligado à Terra.

5. Quais das seguintes substâncias, Ta (4,2), W (4,5), Ba (2,5), Li (2,3) (função trabalho, em eV, entre parênteses), podem ser usadas para confeccionar uma fotocélula para ser usada com luz visível? Os valores aproximados dos comprimentos de onda (em nm) no visível são apresentados na tabela abaixo:

Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
425	475	525	575	625	675

6. O efeito fotoelétrico é usado em dispositivos para controlar o funcionamento das lâmpadas nos postes de iluminação pública.
Tal efeito evidencia a natureza
a) transversal de onda eletromagnética.
b) longitudinal de onda eletromagnética.
c) ondulatória da luz.
d) corpuscular da luz.
e) vibracional da luz.

7. A função trabalho de um dado metal é 2,5 eV.
a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal incide luz de comprimento de onda $\lambda = 6{,}0.10^{-7}$ m. A constante de Planck é $h \approx 4{,}2.10^{-15}$ eV.s e a velocidade da luz no vácuo é $c = 3{,}0.10^{8}$ m/s.

b) Qual é a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?

8. A luz, segundo a física moderna, apresenta caráter dual, ou seja, em certos fenômenos, manifesta comportamento de partícula e, em outros, de onda. Complete a coluna 2 de acordo com a coluna 1, segundo o comportamento da luz.

Coluna 1	Coluna 2
Onda partícula	( ) efeito fotoelétrico ( ) polarização ( ) refração ( ) interferência

A sequência CORRETA é
a) 1 - 2 - 2 - 2.
b) 1 - 1 - 2 - 2.
c) 1 - 1 - 1 - 2.
d) 2 - 2 - 1 - 1.
e) 2 - 1 - 1 - 1.

9. Quando se faz incidir luz de uma certa frequência sobre uma placa metálica, qual é o fator que determina se haverá ou não emissão de fotoelétrons?
a) A área da placa.
b) O tempo de exposição da placa à luz.
c) O material da placa.
d) O ângulo de incidência da luz.
e) A intensidade da luz

10. Num experimento sobre efeito fotoelétrico, considere a função de trabalho na lâmina de metal igual 6,63 eV. Nesta hipótese, a frequência de corte da radiação incidente, em Hz, é igual a
a) $1{,}6 \times 10^{14}$
b) $1{,}6 \times 10^{15}$
c) $2{,}4 \times 10^{15}$
d) $2{,}75 \times 10^{15}$
e) $4{,}39 \times 10^{15}$

Gabarito

1. R) Letra D
2. *R) 10,12 eV*
3. R) Letra C
4. R) Letra A
5. R) Apenas o Ba e Li
6. R) Letra D
7. R) a) não ocorrerá emissão; b) 6.10^{14} Hz
8. R) Letra D
9. R) Letra C
10. R) Letra B

Referências

DELIZOICOV; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M.M. Ensino de Ciências: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2002.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Partículas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1979 – 29ª reimpressão.

FERREIRA, Marcello et al. Uma proposta de ensino investigativo sobre a física moderna e contemporânea. Revista Pesquisa e Debate em Educação, v. 8, n. 2, p. 312-357, 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica, 4: ótica, relatividade, física quântica. 2 ed. São Paulo: Blucher. 2014.

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

Apêndice – Slides

São apresentados a seguir os slides sobre:

1) Radiação do Corpo Negro; e
2) Efeito Fotoelétrico.

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
ACRE

Radiação do Corpo Negro

Prof. Isaías Fernandes Gomes

2019.2

Radiação de Corpo Negro: histórico

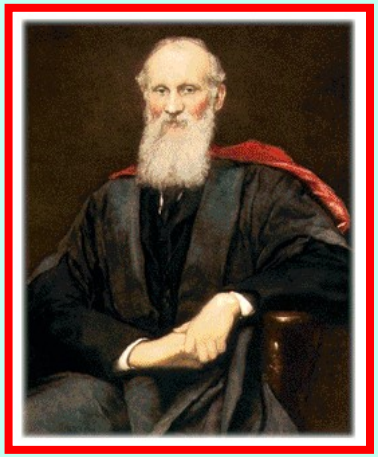
Conferência na Royal Society (março de 1900)

A completude da Física:

A Mecânica de Newton;

O Eletromagnetismo de Maxwell;

A Termodinâmica de Boltzmann.



"Não há nada mais a descobrir em Física"

"Há duas pequenas nuvens no horizonte da Física".

THOMSON, Willian (1824-1907), físico, matemático e engenheiro inglês. Considerado um líder nas ciências físicas do séc. XIX. Fez importantes contribuições na análise matemática da eletricidade e termodinâmica. Desenvolveu a escala de temperatura absoluta.

Radiação de Corpo Negro: histórico

AS DUAS "NUVENZINHAS"

O fracasso das experiências de Michelson e Morley, ao medir "c" através do éter.

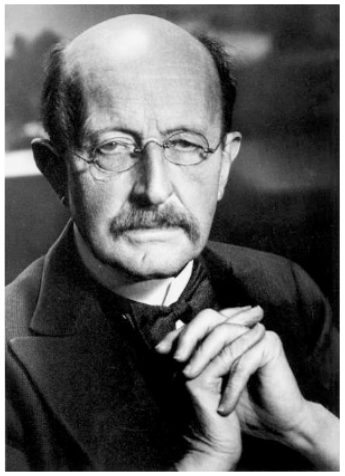
A dificuldade em explicar a distribuição de energia na radiação de um corpo aquecido.

Os limites da Física Clássica

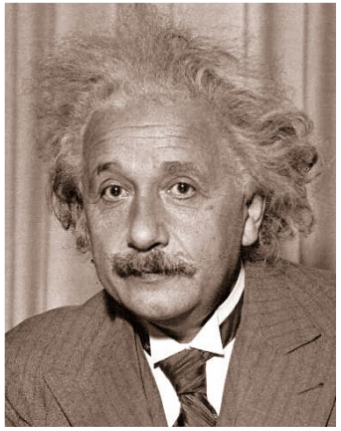
Esperava-se que, em breve, o avanço da Ciência e Tecnologia acomodaria os resultados inesperados nas teorias vigentes!

Radiação de Corpo Negro: histórico

As “Tempestades” das duas nuvenzinhas!



Max Planck



Albert Einstein

O Nascimento da Física Moderna

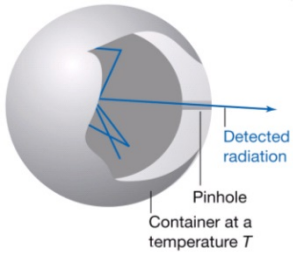
- **A Teoria da Relatividade**
- **A Física Quântica**

Radiação de Corpo Negro: histórico

Mecânica Quântica nasceu com o papel de descrever os processos de interação entre radiação e a matéria. Essa descrição ajudou na compreensão da estrutura da matéria (partículas atômicas) e tornou-se o novo paradigma físico do mundo microscópico.

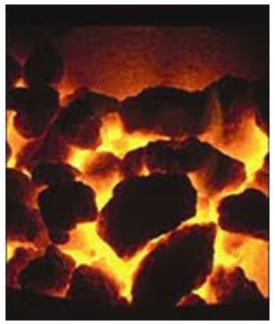
Corpo Negro

Conceito: modelo de um corpo no estudo das radiações emitidas.



- absorve toda radiação incidente (absorvidade, a = 1);
- sua refletividade é nula (r = 0), daí seu nome;
- emissor ideal (emissividade, e = 1).

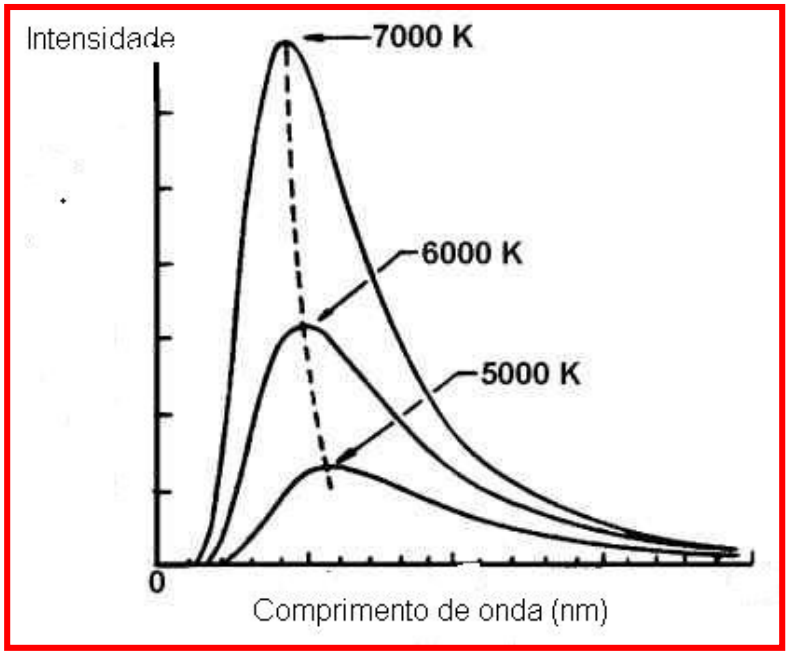
  "Todo bom absorvedor é bom emissor"



Modelo: um **C.N** é obtido com um objeto oco provido de um pequeno orifício: qualquer radiação que penetra nesse orifício não sai mais, sendo absorvida pelas paredes internas do objeto oco "**o orifício constitui o C.N**."

Se o objeto oco for aquecido por uma fonte de calor no seu interior, há emissão de radiação pelo orifício.

Lei de Stefan-Boltzmann



"Aumentando-se a temperatura, para dado comprimento de onda, a intensidade da radiação aumenta".

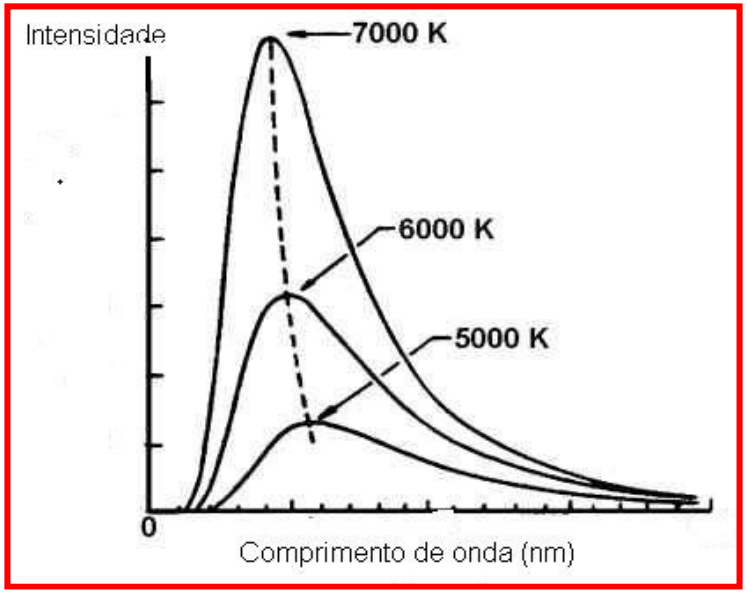
Lei de Stefan-Boltzmann
"A potência total da radiação emitida aumenta com a temperatura (T^4)"

$$P = \sigma . A . e . T^4$$

σ = **$5{,}67.10^{-8}$ W / m².K⁴** (Constante de Stefan-Boltzmann)

e = **emissividade** (no corpo negro e=1); **A** = **área emissão**

Lei de Wien (do deslocamento)



Outra conclusão

aumentando-se a temperatura, o pico da distribuição se desloca para comprimentos de onda menores.

Lei de Wien (do deslocamento)

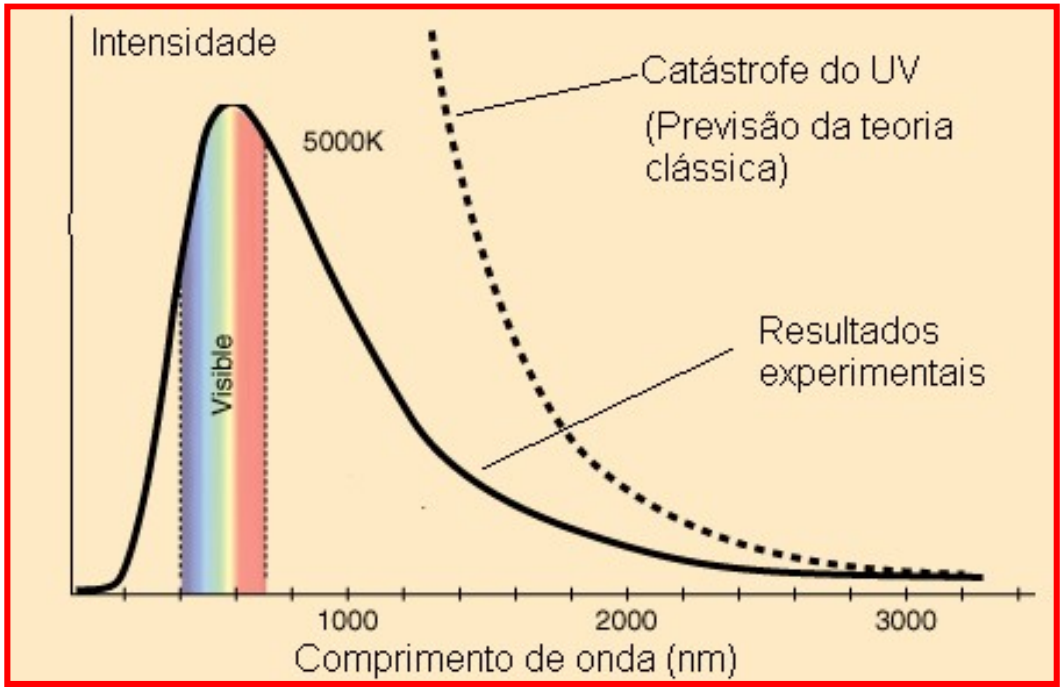
"O pico de distribuição dos comprimentos de onda se desloca para os comprimentos de onda menores a medida que a temperatura aumenta."

$$\lambda_{máx}.T = 2{,}898.10^{-3}\ m.K$$

$\lambda_{máx}$ = comprimento de onda em que a curva tem um pico

T = temperatura absoluta do corpo emitindo a radiação

Corpo Negro: catástrofe do U.V



Ao explicar, por meio da teoria clássica, os resultados obtidos observou-se que para:

λ elevados, havia razoável concordância com os resultados experimentais.

λ pequenos, a discordância entre a teoria e a experiência era grande. Essa discordância ficou conhecida como a "**catástrofe do ultravioleta**".

Radiação de Corpo Negro e Planck

Até então a luz foi encarada como OEM, contudo o modelo proposto pela teoria eletromagnética de Maxwell não era satisfatório para corpo negro, **C.N**.

1900, Planck apresentou à Sociedade Alemã de Física um estudo teórico sobre a emissão de radiação de um **C.N**, no qual deduz uma equação plenamente em acordo com os resultados experimentais, em relação a distribuição de λ apresentados!

A solução de Planck para o CN, considerando que a energia é quantizada, permitiu explicar outros conceitos físicos a nível microscópico. Embora o desenvolvimento efetivo da nova teoria só tenha ocorrido a partir de 1920, 1900 é considerado o marco divisório entre a Física Clássica e a Física Quântica.

PLANCK, Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947), físico alemão. Dedicou-se ao estudo de Irradiação Térmica, Óptica e Termodinâmica. Formulou a Teoria dos *Quanta* (Prêmio Nobel - 1918).

Radiação de Corpo Negro

Lei da Radiação, Planck imaginou que existem osciladores na superfície do C.N, relacionados as cargas dentro das moléculas e fez duas suposições audaciosas sobre a natureza desses osciladores.

1º A energia do oscilador é quantizada: somente certos valores de energia são admitidos e dados pela expressão.

$$E_n = n.h.f \qquad onde \quad n = 0,1,2,...$$

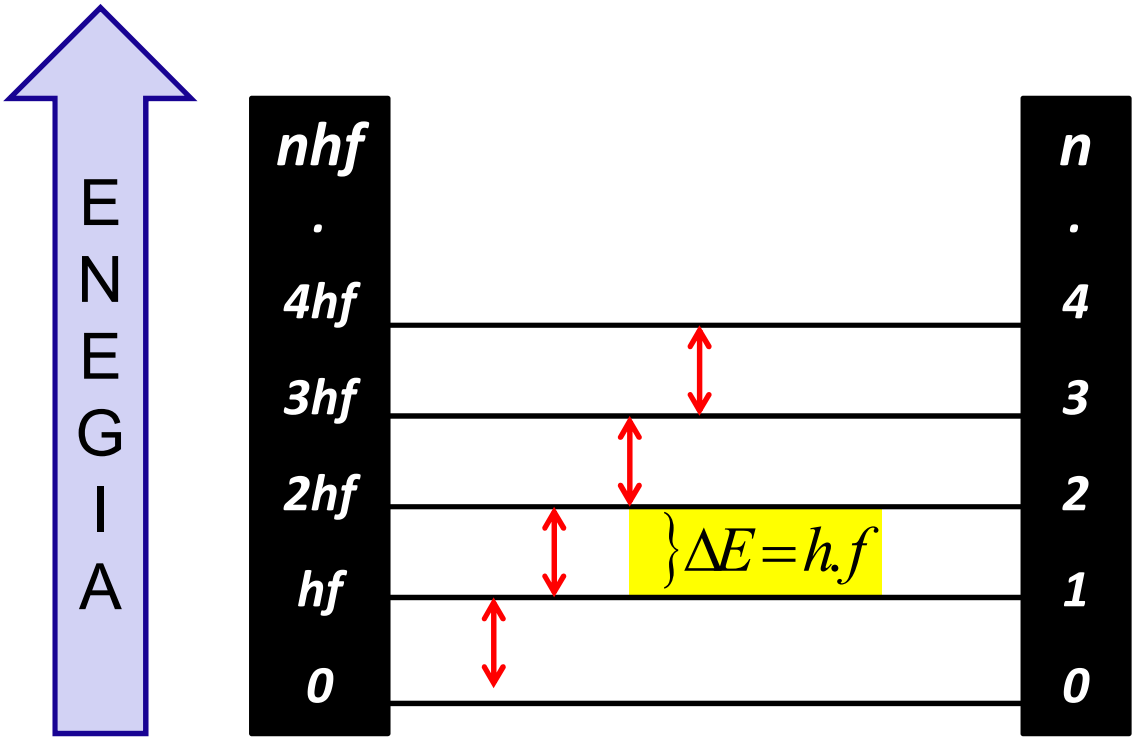
2º Os osciladores emitem ou absorvem energia em unidades discretas (quantum).

Osciladores emitem ou absorvem essas unidades de energia realizando uma transição de um estado quântico para outro. Essa ΔE entre os estados inicial e final é emitida como um único quantum de radiação (pacote de energia ou fóton!)

Radiação de Corpo Negro

Um oscilador emite ou absorve energia apenas quando muda de estados quânticos. Se permanecer em um estado quântico, nenhuma energia é absorvida ou emitida.

$$E_n = n.h.f \qquad n = 0,1,2,...$$



A ideia chave na teoria de Planck: **quantização da energia!**
Estava iniciando uma revolução na compreensão do átomo e o caminho para o modelo atômico de Bohr (1913), estava aberto!

Exemplo

1) Calcule a menor quantidade de energia radiante que um corpo pode emitir:

a) de luz azul cujo comprimento de onda é 470 nm;

b) de luz vermelha cujo comprimento de onda é 700 nm.

2) Uma fonte de radiação é constituída por elétrons em estado excitado que, ao retornarem, ao estado fundamental emitem ondas eletromagnéticas de frequência igual a $2{,}0 \,.\, 10^{15}\ Hz$.

Calcule, em joules, a energia transportada por um quantum dessas radiação. Considere $h = 6{,}6 \,.\, 10^{-34}\ J/s$.

3) O comprimento de onda de um fóton com energia de 6600 eV é de:

a) $4{,}80 \,.\, 10^{-48} m$

b) $3{,}00 \,.\, 10^{-32} m$

c) $3{,}00 \,.\, 10^{-29} m$

d) $1{,}87 \,.\, 10^{-13} m$

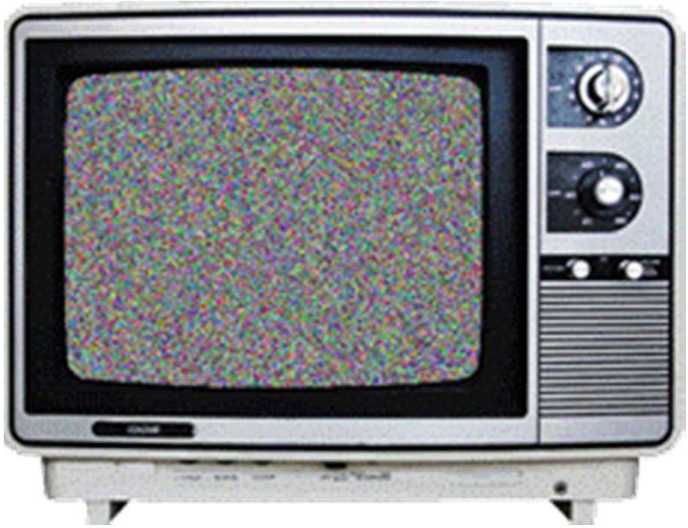
e) $1{,}87 \,.\, 10^{-48} m$

Corpo Negro e a Física Quântica

Planck acreditava que a sua hipótese era apenas um artifício matemático, e que o fenômeno de radiação do CN ainda viria a ser explicado de uma outra forma. Ele mesmo tentou obter uma outra explicação, por muitos anos, sem saber que havia dado início a uma profunda e inovadora compreensão da natureza da matéria e energia.

- **O Corpo Negro**
- **A Teoria dos Quanta**
- **O Efeito Fotoelétrico**
- **O Átomo de Bohr**
- **A Natureza da luz**
- **A Dualidade onda-partícula**
- **O Princípio da incerteza.**

Radiação Cósmica de Fundo



O que é? A Radiação Cósmica de Fundo é uma forma de radiação de OEM que apresenta a distribuição espectral de um corpo negro a uma temperatura de 3 K.

O que representa? Constitui uma evidência muito grande da teoria do Big Bang, uma prova de que o universo no passado era muito mais denso e quente do que é hoje.

Previsão Teórica (1948): George Gamov, Ralph Alpher e Robert Herman.
Confirmação Experimental (1965): Arno Penzias e Robert Wilson.

Para a máx. intensidade da radiação, qual é o seu comprimento de onda? qual faixa do espectro OEM se encontra?

Max Karl Ernst Ludwig PLANCK

"A ciência é a aproximação progressiva do Homem com o mundo real."

1) Complete a tabela abaixo, para corpos que podem ser modelados pela Radiação de Corpo Negro e que apresentam espectros irradiado listados na tabela.

	Espectro OEM	λ	f (Hz)	T (K)
a)	Ondas de Rádio	3 m	$1{,}0.10^{8}$	$1{,}0.10^{-3}$
b)	Microondas	3 cm	$1{,}0.10^{10}$	$1{,}0.10^{-1}$
c)	Infravermelho	1 µm	$3{,}0.10^{14}$	$3{,}0.10^{3}$
d)	Vermelho	700 nm	$4{,}2.10^{14}$	$4{,}2.10^{3}$
e)	Violeta	400 nm	$7{,}5.10^{14}$	$7{,}5.10^{3}$
f)	Ultravioleta	300 nm	$1{,}0.10^{15}$	$1{,}0.10^{4}$
g)	Raios X	0,3 nm	$1{,}0.10^{18}$	$1{,}0.10^{7}$

Cálculo da f (Hz)

$$c = \lambda . f$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Cálculo da T (K)

$$\lambda_{max} . T = 2,898.10^{-3} m.K$$

$$T = \frac{2,898.10^{-3} (m.K)}{\lambda\ (m)}$$

2) A cor de uma estrela é uma função da sua temperatura superficial o que caracteriza seu tipo espectral. Considerando o modelo de Radiação de Corpo Negro, complete a tabela abaixo.

Classificação Espectral							
Tipo Espectral	T (K) Superfície	Estrela	Constelação	A-L	λ_{max} (m)	f (Hz)	Cor Superficial
O9	50.000	Mintaka-δ	Órion	916,1	$5{,}79.10^{-8}$	$5{,}17.10^{-15}$	Azul
B8	28.000	Rigel-β	Orion	772,2	$1{,}03.10^{-7}$	$2{,}89.10^{-15}$	Branco-Azulada
A0	10.000	Sírius–α	Cão Maior	8,6	$2{,}89.10^{-7}$	$1{,}03.10^{-15}$	Branca
F5	8.000	Procyon–α	Cão Menor	11,4	$3{,}62.10^{-7}$	$8{,}28.10^{-14}$	Branco-Amarelo
G0	6.000	Sham-α	Sagitário	473,3	$4{,}83.10^{-7}$	$6{,}21.10^{-14}$	Amarelo
K5	5.000	Aldebaran-α	Touro	65,1	$5{,}79.10^{-7}$	$5{,}17.10^{-14}$	Laranja
M1	3.000	Antares-α	Escorpião	603,9	$9{,}66.10^{-7}$	$3{,}10.10^{-14}$	Vermelho

Cálculo da f (Hz)

$$c = \lambda . f$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Cálculo do T (K)

$$\lambda_{max} . T = 2{,}898.10^{-3} \text{m.K}$$

$$\lambda = \frac{2{,}898.10^{-3}\ (\text{m.K})}{T\ (\text{K})}$$

3) A temperatura de sua pele é de aproximadamente 35ºC. Qual é o pico do comprimento de onda da radiação que a pele emite?

A partir da lei do deslocamento de Wien

$$\lambda_{max}.T = 2,898.10^{-3}\text{m.K}$$

$$\lambda = \frac{2,898.10^{-3}\text{m.K}}{308\ \text{K}}$$

$$\lambda = \frac{289,8.10^{-5}\text{m.K}}{308\ \text{K}}$$

$$\lambda = 0,941.10^{-5}\ \text{m}$$

$$\lambda = 9,41.10^{-6}\ \text{m}$$

$$\lambda = 9,41.\mu\,\text{m}$$

$$T_c = T_K - 273$$

$$35 = T_K - 273$$

$$T_K = 35 + 273$$

$$T_K = 308\ \text{K}$$

Lembre: o espectro visível vai de 700nm a 400nm (0,7µm a 0,4 µm)
Logo temos que um $\lambda = 9,41\mu.\text{m}$, está na região do INFRAVERMELHO!

4) A temperatura de sua pele é de aproximadamente 35ºC. Qual é a potência total emitida por sua pele, supondo que ela o faz como um corpo negro?

1ª Etapa: precisamos fazer uma estimativa da área superficial de sua pele "A". Podemos fazer isto, modelando seu corpo como se fosse uma caixa retangular de altura 2 m, largura 0,3 m e profundidade 0,2 m.

A = 2.(2m).(0,3m) + 2.(2m).(0,2m) + 2. (0,3m).(0,2m) = 2m²

1ª Etapa: Aplicar a Lei de Stefan

$$P = \sigma . A . e . \mathrm{T}^4$$

$$\mathrm{P} = 5,7.10^{-8}.\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2.K^4}.2\ \mathrm{m}^2.1.(308\ \mathrm{K})^4$$

$$\mathrm{P} = 1.10^{+11}.10^{-8}\ \mathrm{W}$$

$$\mathrm{P} = 1,0.10^{+3}\ \mathrm{W}$$

$$\mathrm{P} = 1.000\ \mathrm{W}$$

Análise do Resultado: você esta irradiando através da sua pele aproximadamente o mesmo que 10 lâmpadas de 100 W!

Mas porque você não esta brilhando?

5) O Sol possui uma temperatura superficial de 5.800 K. Sabendo que pode ser modelado a partir da radiação de corpo negro, determine:
a) Em qual λ ocorre o máximo na distribuição da emissão solar;
b) A potência total irradiada por unidade de área, na superfície do sol.

a) Pela Lei de Wien

$$\lambda_{max}.\mathrm{T} = 2,898.10^{-3}\mathrm{m.K}$$

$$\lambda = \frac{2,898.10^{-3}\mathrm{m.K}}{5.800\ \mathrm{K}}$$

$$\lambda = \frac{2,898.10^{-3}\mathrm{m.K}}{5,8.10^{+3}\ \mathrm{K}}$$

$$\lambda = 0,51.10^{-6}\mathrm{m\ ou\ 0,5\ \mu m}$$

b) Pela Lei de Stefan-Boltzmann

$$P = \sigma.A.e.\mathrm{T}^4$$

$$\frac{P}{A} = \sigma.e.\mathrm{T}^4$$

$$\frac{P}{A} = 5,7.10^{-8}.1.(5,8.10^3)^4$$

$$\frac{P}{A} = 6,4.10^7\ W/m^2$$

Lembre: o espectro visível vai de 700nm a 400nm (0,7µm até 0,4 µm), logo um $\lambda = 0,5\ \mu.\mathrm{m}$, esta na região visível!

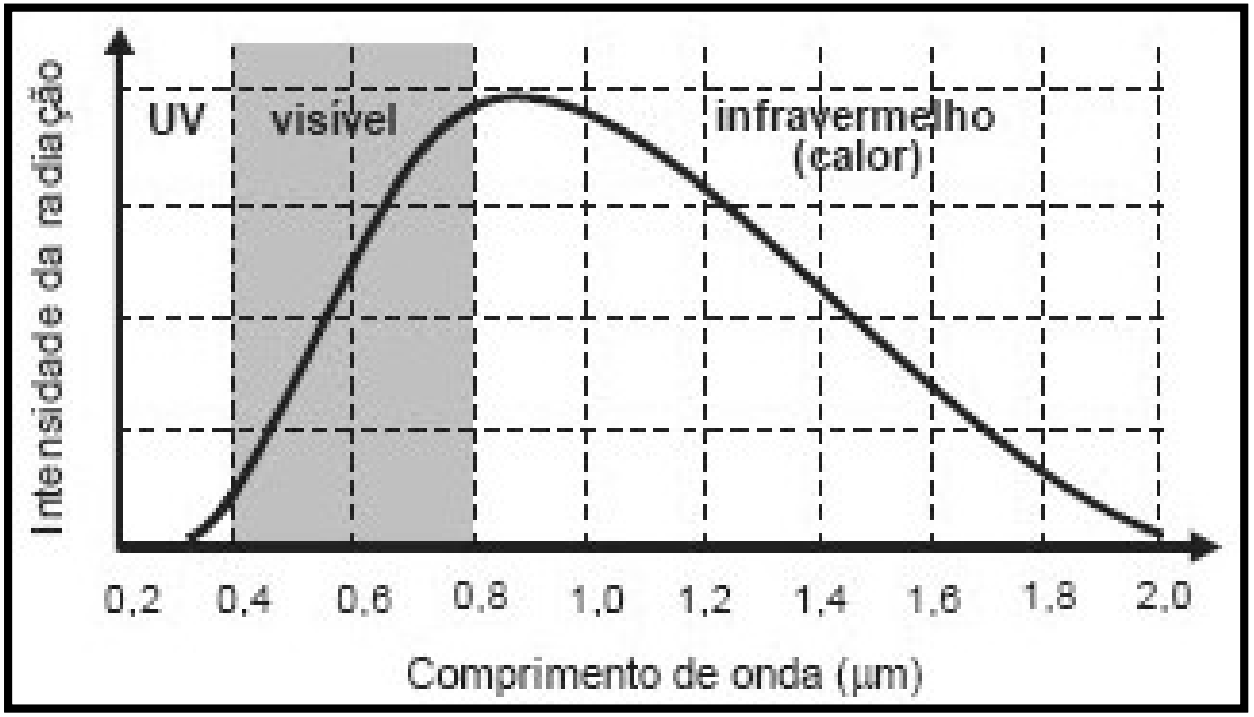
6) A Figura abaixo representa a curva de distribuição da energia irradiada por uma lâmpada incandescente de filamento de Tungstênio a temperatura de 3.000 K.

a) Em qual comprimento de onda a emissão é máxima?

b) Qual é a potência irradiada por unidade de área?

c) Estime quanto é aproveitado em energia luminosa do total de energia irradiada pela lâmpada.

d) Essa lâmpada rende mais como aquecedor ou iluminador?



6) Resolução

a) Pela Lei de Wien

$$\lambda_{max}.T = 2,898.10^{-3}\text{m.K}$$

$$\lambda = \frac{2,989.10^{-3}\text{m.K}}{3.000\ \text{K}}$$

$$\lambda = \frac{2,989.10^{-3}\text{m.K}}{3,0.10^{+3}\ \text{K}}$$

$$\lambda = 0,996.10^{-6}\text{m ou } 0,9\mu\text{m}$$

$$\lambda = 0,9\mu\text{m}$$

O espectro visível vai de
700nm - 400nm
(0,7µm - 0,4 µm)
logo $\lambda = 0,9$ µ.m está na região do INFRAVERMELHO!

b) Lei de Stefan-Boltzmann

$$\frac{P}{A} = \sigma.e.T^4$$

$$\frac{P}{A} = 5,7.10^{-8}.1.(3,0.10^3)^4$$

$$\frac{P}{A} = 461,7.10^4\ W/m^2$$

c) Pela trigonometria

$$\frac{P_{luz}}{P_{tot}} = \frac{2}{6+2} = \frac{2}{8} = 0,25\ ou\ 25\%$$

d) Aquecedor ou iluminador?

Com somente 25% da energia irradiada sob a forma de luz e 75% sob a forma de calor é melhor como AQUECEDOR.

7) Uma lâmpada de sódio com potência (*P*) de 100 W irradia energia (λ = 589 nm) uniformemente em todas as direções.

a) Quantos fótons por segundo (*R*) são emitidos pela lâmpada?

b) A que distância da lâmpada uma tela totalmente absorvente absorve fótons à razão (ou fluxo: *F*) de 1,00 fóton/(cm²s) ?

c) Qual é o fluxo de fótons, *F* (por unid. de área e de tempo), em uma pequena tela situada a 2,00 m da lâmpada?

a) $$P = R\,E = R\,h\,\nu = R\,h\,\frac{c}{\lambda} \rightarrow R = \frac{\lambda P}{hc} = \frac{(589\times10^{-9}\,\mathrm{m})\times(100\,\mathrm{W})}{(6{,}63\times10^{-34}\,\mathrm{J\,s})(3\times10^{8}\,\mathrm{m/s})} \approx 2{,}96\times10^{20}\ \text{fótons/s}$$

b) $$F = \frac{R}{4\pi\,r^2} \rightarrow r = \left(\frac{R}{4\pi\,F}\right)^{1/2} = \left(\frac{2{,}96\times10^{20}\ \text{fótons/s}}{4\pi\times10^{4}\ \text{fótons/(m}^2\text{s)}}\right)^{1/2} \approx 4{,}85\times10^{7}\ \mathrm{m}$$

onde: F **= 1 fóton/(cm²s) = 10⁴ fótons/(m²s)**

c) $$F = \frac{R}{4\pi\,r^2} = \frac{2{,}96\times10^{20}\ \text{fótons/s}}{4\pi\,(2\ \mathrm{m})^2} \approx 5{,}89\times10^{18}\ \text{fótons/(m}^2\text{s)}$$

Referências Bibliográficas

BONJORNO, Clinton. **Física 3:** Eletrodinâmica, Eletromagnetismo e Física Moderna. 2ª ed. São Paulo: FTD, 2013.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Partículas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1979 – 29ª reimpressão.

KAZUHITO, Yamamoto; SHIGEKIYO, Carlos T.; FUKE, Luiz Felipe. **Alicerces da Física.** 10. ed. São Paulo: Scipione, 2011.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica**, vol. 4: ótica, relatividade, física quântica. 2 ed. São Paulo: Blucher. 2014.

RAMALHO, F. J. NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. S. **Os Fundamentos da Física.** Vol.1. 7ª ed. Editora Moderna, 2010.

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
ACRE

Efeito Fotoelétrico

Prof. Isaías Fernandes Gomes

2019.2

Efeito Fotoelétrico: breve histórico

Física Moderna:

1. ***Marie Curie;***
2. ***Max Planck;***
3. ***Albert Einstein;***
4. ***Ernest Rutherford;***
5. ***Niels Bohr;***
6. ***Louis Victor (De Broglie);***
7. ***Werner Heisenberg;***

Apoia-se basicamente em duas teorias.

- **Quanta (Max Planck) – 1900;**
- **Relatividade (Albert Einstein) – 1905.**

Física Clássica
Desenvolvida antes de 1900

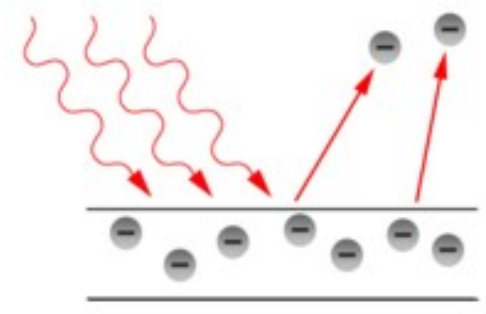
- **Mecânica Newtoniana**
- **Termodinâmica**
- **Eletromagnetismo**

Física Moderna
Desenvolvida de 1900 até hoje

- **Mudança radical de alguns conceitos físicos (quebra de paradigmas).**
- **Rápido progresso tecnológico.**

Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico consiste na emissão de partículas carregadas (elétrons, íons) de um meio material qualquer que absorva radiação eletromagnética (luz visível, ultravioleta, raios X etc.).



Heinrich Hertz

- Foi descoberto por H. Hertz, de forma acidental, em 1887 ao realizar o seu experimento de geração de ondas eletromagnéticas em laboratório (a luz é uma onda).
- Hertz percebeu que a incidência de luz ultravioleta sobre a superfície de um metal produzia descargas elétricas (centelhas);

Efeito Fotoelétrico: breve histórico

A ENERGIA RADIANTE não é emitida (ou absorvida) de modo contínuo, como em geral imaginamos, mas sim em porções descontínuas, "partículas" que transportam, cada qual, uma quantidade de energia E bem definida. Essas "partículas" de energia foram denominadas fótons. A energia E de cada fóton é denominada quantum (no plural quanta).

O que é Quanta? *é o plural de quantum, palavra latina que significa "quantidade".*

O quantum E de energia radiante de frequência f é dado por:

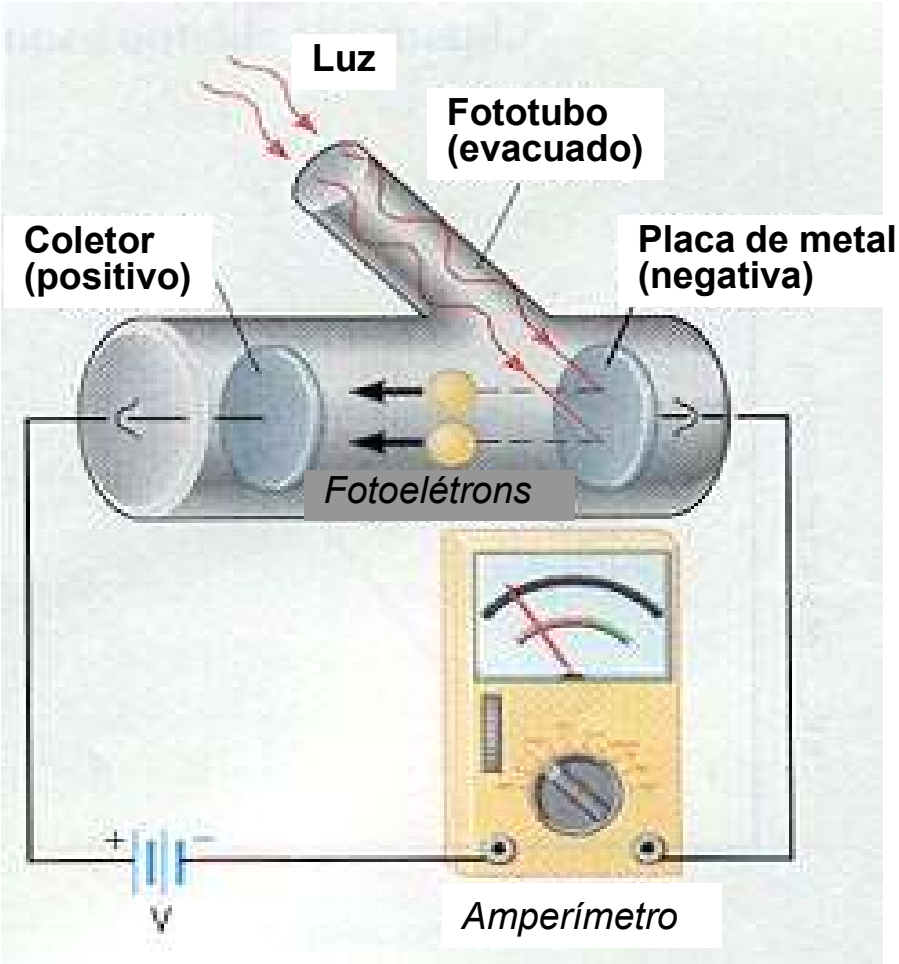
$$E = h.f$$

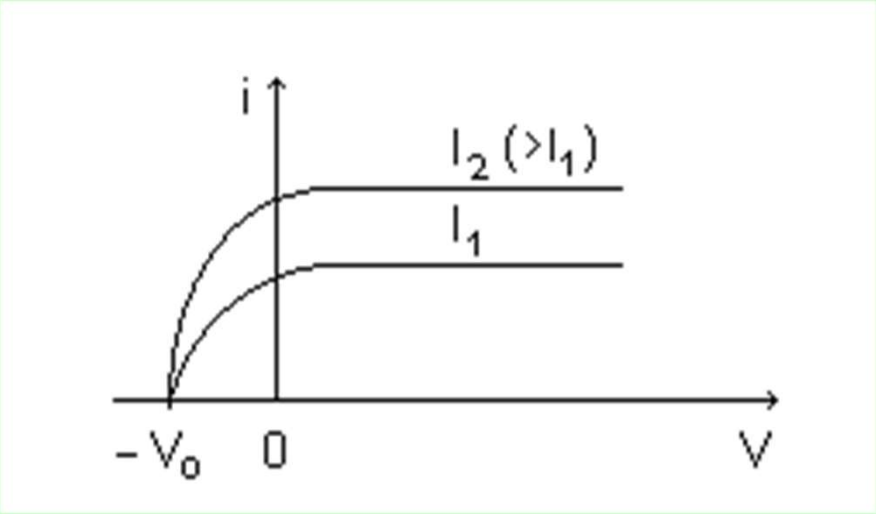
h é a Constante de Planck

$$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ j{\cdot}s \quad ou \quad h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ eV{\cdot}s$$

PLANCK, Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947), físico alemão. Dedicou-se ao estudo de Irradiação Térmica, Óptica e Termodinâmica. Formulou a Teoria dos Quanta (Prêmio Nobel -1918).

Efeito Fotoelétrico: o fenômeno



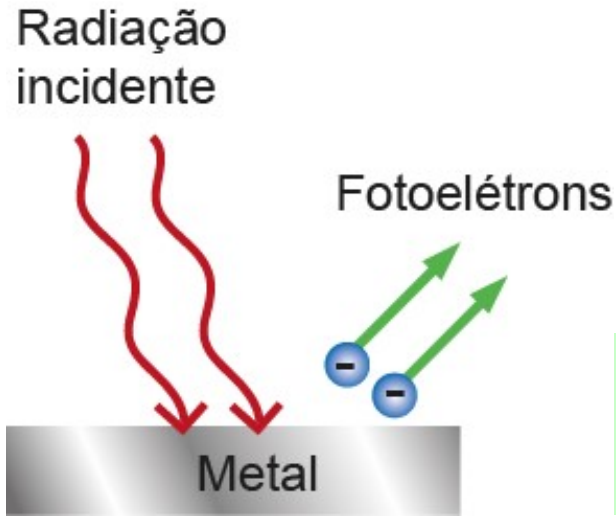


Energia cinética máxima:

$$K_{max} = eV_{corte}$$

O Problema: *A luz composta de pacotes de energia (fótons), ao atingir uma chapa metálica gera uma corrente elétrica, pois libera elétrons da placa. Alguns raios provocam o efeito fotoelétrico outros não. Por quê?*

Efeito Fotoelétrico: explicação de Einstein



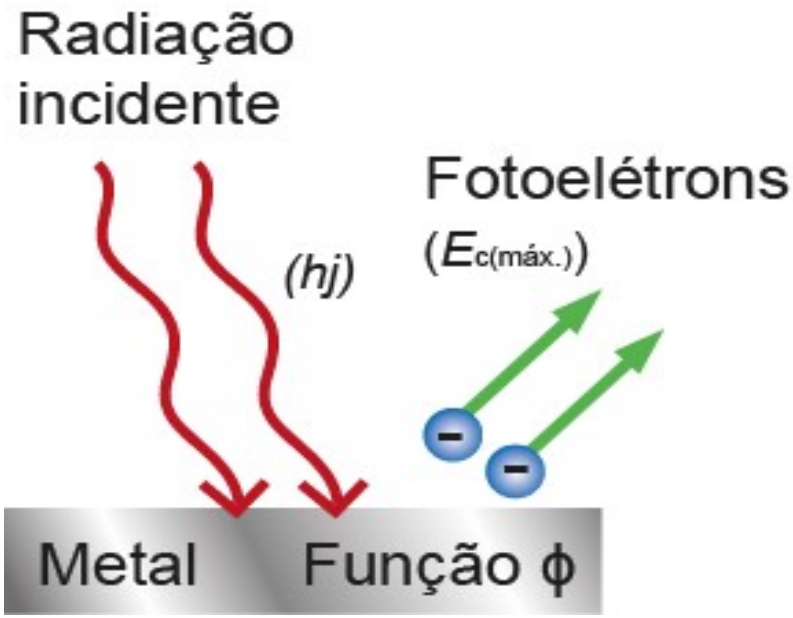
Conceito: é quando uma radiação eletromagnética incide sobre a superfície de um metal, arrancando elétrons dessa superfície.

Fotoelétrons: são os elétrons arrancados da superfície metálica.

Explicação de Einstein considerando a quantização da energia: um fóton da radiação incidente, ao atingir o metal, é completamente absorvido por um único elétron, cedendo-lhe sua energia hf. Com essa energia adicional o elétron pode escapar do metal.

Importante!
Einstein em sua teoria sugere que a luz ou outra forma de energia radiante é composta de "partículas" de energia, os **fótons.**

Efeito Fotoelétrico: equação



A Energia dos Fótons (hf)
é absorvida pelos elétrons do metal que vencem a barreira da energia **ϕ** do mesmo, adquirindo energia cinética (**E_c**) na emissão.

$$E_{c(máx)} = hf - \Phi$$

Φ ⇨ Função Trabalho
Representa a energia mínima necessária para um elétron escapar do metal.

Condições:

- **hf > Φ** há efeito fotoelétrico
- **hf < Φ** Não há efeito

Einstein, Albert (1879-1955), físico alemão. Em 1905, aos 26 anos, dentre outros trabalhos, publicou a teoria da Relatividade Especial, bem como a explicação do Efeito Fotoelétrico (Prêmio Nobel -1921).

Efeito Fotoelétrico: equação

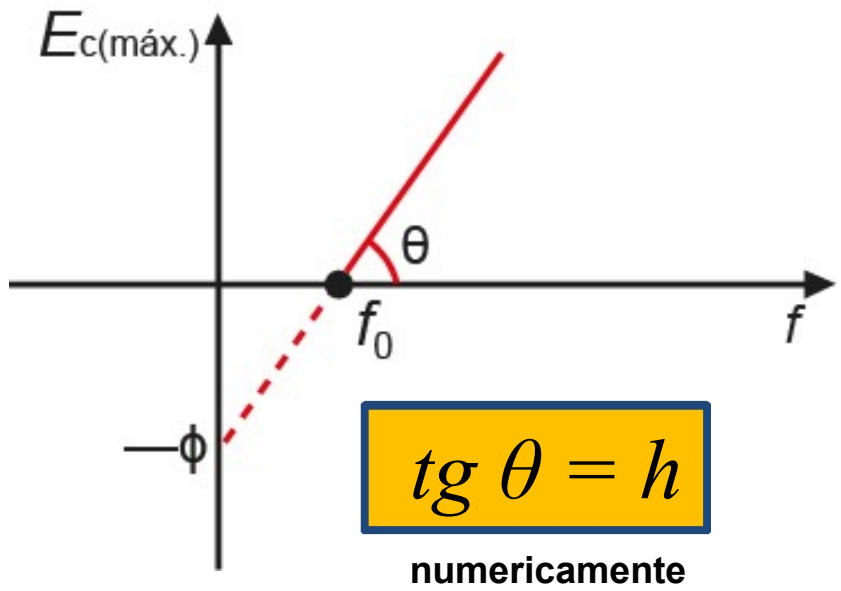
Equação do Efeito Fotoelétrico:

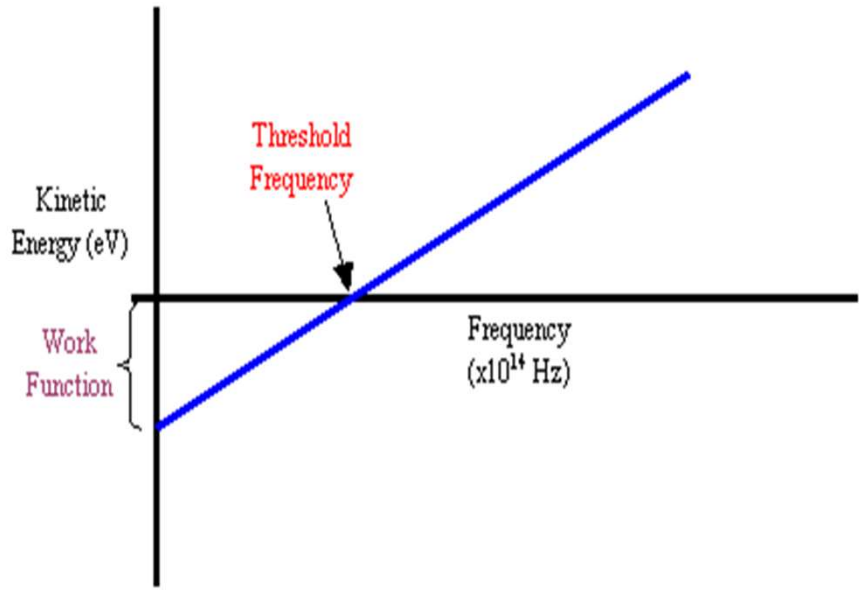
$$E_{c(máx)} = hf - \Phi$$

Freq. de Corte (f_0): representa a frequência mínima a partir da qual os elétrons escapam do metal.

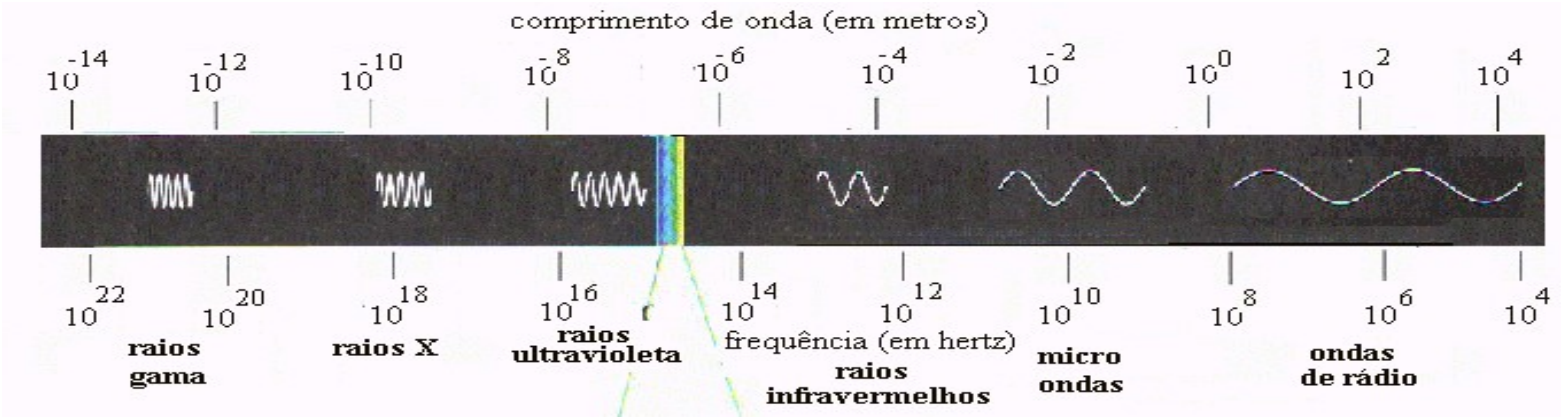
$$\Phi = h.f_0$$

Gráfico: Ec versus Frequência (f)





Efeito Fotoelétrico: frequência de corte



Metal		Frequência de Corte - f_0 (Hz)	Função Trabalho – ϕ (eV)
Sódio	Na	$5{,}50.10^{14}$	2,28
Alumínio	Al	$9{,}8.\ 10^{14}$	4,08
Potássio	K	$4{,}22.10^{14}$	1,75
Cobre	Cu	$1{,}13.10^{15}$	4,70
Zinco	Zn	$1{,}04.10^{15}$	4,31
Prata	Ag	$1{,}14.10^{15}$	4,73
Platina	Pt	$1{,}53.10^{15}$	6,35
Chumbo	Pb	$1{,}0.10^{15}$	4,14
Ferro	Fe	$1{,}09.10^{15}$	4,50

Efeito Fotoelétrico: questionamentos

1) Uma luz mais intensa, mais brilhante, arrancará mais elétrons de uma superfície metálica que uma luz mais fraca de mesma frequência ?

2) Uma luz de alta frequência ejetará um maior número de elétrons do que uma luz de baixa frequência?

3) Por que uma luz vermelha muito intensa não transfere mais energia a um elétron ejetado do que um fraco feixe de luz ultravioleta?

4) A intensidade de um feixe de luz depende fundamentalmente da frequência dos fótons ou do número deles?

5) Queimaduras solares produzem danos às células da pele. Por que a radiação ultravioleta é capaz de produzir tais danos, enquanto a radiação visível, ainda que muito intensa não é capaz?

Efeito Fotoelétrico

Física Clássica	Física Moderna
PROBLEMA DA INTENSIDADE	
• Maior a intensidade da luz; • Maior o módulo do vetor campo elétrico; • Maior a força sobre o elétron (F = q.E); • Conclusão: os elétrons ejetados deveriam ter mais Ec.	• Maior intensidade da luz; aumenta apenas o no número de fótons; • Conclusão: a Ec máx. que cada elétron pode receber de um fóton na "colisão" é a mesma.
PROBLEMA DA FREQUÊNCIA	
O efeito deveria ocorrer para qualquer frequência, bastando que a luz fosse intensa o suficiente. Porém, há a frequência de corte, abaixo da qual não há efeito.	Os elétrons de condução se mantêm no metal por causa do campo elétrico. Então, para ser ejetado o elétron tem que receber uma energia mínima Φ.
PROBLEMA DO RETARDO NO TEMPO	
Se a luz for pouco intensa, haverá um retardo de tempo mensurável entre o instante em que a onda atinge a superfície da luz e o instante em que o elétron emerge.	Este problema não existe para os fótons. A transferência se dá como em uma colisão, toda de uma vez.

Efeito fotoelétrico: resumo e aplicações

O Efeito Fotoelétrico depende da:

- **frequência** (f) e não da intensidade (Amplitude).
- **função trabalho** do material, a energia do fóton deve ser maior que a função trabalho (**hf >** Φ)

Quanto maior a frequência do fóton incidente maior a energia cinética (**E_c**) do elétron ejetado.

Por isso os raios infravermelhos não provocavam o efeito fotoelétrico enquanto os raios ultravioletas sim.

1. Você sabe o que é um chip CCD usado em câmeras digitais?
2. Você sabe como é o controle de portas de elevadores? E as portas dos shoppings?
3. Você sabe como funciona uma o acionamento de lâmpadas em postes?
4. O que dizer do funcionamento das esteiras de caixas de supermercado?

01) (UFRGS) "De acordo com a teoria formulada em 1900 pelo físico alemão Max Planck, a matéria emite ou absorve energia eletromagnética de maneira ..... emitindo ou absorvendo ....., cuja energia é proporcional à ..... da radiação eletromagnética envolvida nessa troca de energia."
Assinale a alternativa que, pela ordem, preenche corretamente as lacunas:

a) **contínua - quanta - amplitude**
b) **descontínua - prótons - frequência**
c) **descontínua - fótons - frequência**
d) **contínua - elétrons - intensidade**
e) **contínua - nêutrons - amplitude**

Resposta: C

02) O ano de 1900 pode ser considerado o marco inicial de uma revolução ocorrida na Física do séc. XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a ideia da ..... da energia, da qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico. Qual palavra preenche corretamente a lacuna acima?

a) Conservação;
b) Transformação;
c) Quantização;
d) Propagação;
e) Conversão.

Resposta: C

04) Qual das afirmações abaixo explica corretamente o efeito fotoelétrico?

a) Choque elétrico entre as partículas leves e núcleos.
b) Produção de raios X, quando há choque de elétrons em uma placa de metal.
c) Produção de luz por modificação energética de um sistema atômico.
d) Ejeção de elétrons de uma superfície metálica por incidência de radiação eletromagnética.
e) Nenhum dos fenômenos acima.

Resposta: D

05) A emissão de fotoelétrons por um determinado metal exige que:

a) A luz incidente tenha uma frequência maior que um determinado valor.
b) A luz incidente tenha um comprimento de onda superior a um determinado valor.
c) A temperatura do metal esteja próximo à de sua temperatura de fusão.
d) A luz incidente tenha uma intensidade superior a um determinado valor.
e) O metal não esteja ligado à Terra.

Resposta: A

05) O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons pela matéria sob a ação de fótons (luz). Os elétrons emitidos possuem variadas energias, sendo os mais energéticos aqueles que estavam menos ligados ao material. Considerando um feixe de luz coerente (única frequência), incidindo sobre a superfície de um material, e que esteja produzindo o efeito fotoelétrico, é correto afirmar:

(001) A energia máxima em que os elétrons são emitidos não depende da frequência do feixe de luz incidente.
(002) Quanto maior for a intensidade do feixe da luz incidente, maior a taxa de emissão de elétrons.
(004) A energia de um feixe de luz não depende do comprimento de onda da luz.
(008) A emissão de elétrons é explicada pela teoria ondulatória da luz.
(016) Os elétrons são emitidos porque absorvem energia dos fótons durante a colisão.

Resposta: 018

Efeito fotoelétrico: resumo e aplicações

06) Quais das seguintes substâncias, Ta (4,2), W (4,5), Ba (2,5), Li (2,3) (função trabalho, em eV, entre parênteses), podem ser usadas para confeccionar uma fotocélula para ser usada com luz visível? Os valores aproximados dos comprimentos de onda (em nm) no visível são apresentados na tabela abaixo

Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
425	475	525	575	625	675

$$E = h.f = h.\frac{c}{\lambda}$$

$$E = 4{,}14.10^{-15}.\frac{3.10^{+8}}{425.10^{-9}}$$

$$E = 4{,}14.10^{-15}.\frac{3.10^{+8}}{0{,}425.10^{-6}}$$

$$E = 4{,}14.10^{-15}.7{,}05.10^{+8-(-6)}$$

$$E = 29{,}19.10^{-15}.10^{+14}$$

$$E = 29{,}19.10^{-1} eV$$

$$E = 2{,}92\ eV$$

Resposta: ***Apenas Ba e Li***

Efeito fotoelétrico: resumo e aplicações

07) Determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons se a função trabalho do material é de 2,3 eV e a frequência da radiação é de $3{,}0.10^{15}$ Hz.

$$E = h.f$$

$$E = 4{,}14.10^{-15}.3{,}0.10^{15}$$

$$E = 12{,}42.10^{0}$$

$$E = 12{,}42\ e.V$$

$$E_{c(máx)} = hf - \Phi$$

$$E_{c(máx)} = 12{,}42 - 2{,}3$$

$$E_{c(máx)} = 10{,}12\ e.V$$

Resposta: *10,12 eV*

08) A função trabalho de um dado metal é 2,5 eV.

a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal incide luz de comprimento de onda $\lambda = 6{,}0.10^{-7}$ m. A constante de Planck é $h \approx 4{,}2.10^{-15}$ eV.s e a velocidade da luz no vácuo é $c = 3{,}0.10^{8}$ m/s.

b) Qual é a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?

$$E = h.f = h.\frac{c}{\lambda}$$

$$E = 4{,}2.10^{-15}.\frac{3.10^{+8}}{6{,}0.10^{-7}}$$

$$E = 4{,}2.10^{-15}.0{,}5.10^{+8-(-7)}$$

$$E = 2{,}1.10^{-15}.10^{+15}$$

$$E = 2{,}1\ e.V$$

$$E_{c(máx)} = hf - \Phi \qquad hf \geq \Phi$$

$$hf = \Phi \qquad 2{,}5 = 4{,}2.10^{-15}.f$$

$$f = \frac{2{,}5}{4{,}2.10^{-15}} = 0{,}595.10^{+15} = 6{,}0.10^{14}\,hz$$

R^ta^: ***a) não ocorrerá emissão ;*** **b) 6.10^{14} Hz**

Efeito fotoelétrico: exercícios

09) O leitor precisa escolher um elemento para uma célula fotoelétrica que funcione com luz visível. Quais dos seguintes elementos são apropriados (a função trabalho aparece entre parênteses): Tântalo (4,2 eV); tungstênio (4,5 eV); alumínio (4,2 eV), bário (2,5 eV), lítio (2,3 eV)?

$$hf = K_{max} + \Phi \qquad E = hf = \frac{hc}{\lambda} > \Phi$$

Importante
h = 6,63 · 10 $^{-34}$ j·s
h = 4,14 · 10 $^{-15}$ eV·s

Luz visível: 400 nm até 700 nm

E = 4,14.10^{-15} .3.10^{+8} /4.10 $^{-7}$

E = 3,11 eV

E = 4,14.10^{-15} .3.10^{+8} /7.10 $^{-7}$

E = 1,77 eV

Resposta: ***bário (2,5 eV) e lítio (2,3 eV)***

Efeito fotoelétrico: exercícios

10) Uma lâmpada ultravioleta emite luz com um comprimento de onda de 400 nm, com uma potência de 400 W. Uma lâmpada infravermelha emite luz com um comprimento de onda de 700 nm, também com uma potência de 400 W.
(a) Qual das duas lâmpadas emite mais fótons por segundo?
(b) Quantos fótons por segundo emite esta lâmpada?

Nº. de fótons/s = potência / energia de cada fóton

$$N = \frac{P}{E} = \frac{P}{hf} = \frac{P\lambda}{hc}$$

Para ultravioleta (UV):

$$N_{uv} = \frac{P\lambda}{hc} = \frac{(400)\cdot(400\times10^{-9})}{(6,63\times10^{-34})\cdot(3\times10^{8})} \approx 8,05\times10^{20}\ \ fotons/s$$

Para infravermelha (IR):

$$N_{ir} = \frac{P\lambda}{hc} = \frac{(400)\cdot(700\times10^{-9})}{(6,63\times10^{-34})\cdot(3\times10^{8})} \approx 1,4\times10^{21}\ \ fotons/s$$

Referências Bibliográficas

BONJORNO, Clinton. **Física 3:** Eletrodinâmica, Eletromagnetismo e Física Moderna. 2ª ed. São Paulo: FTD, 2013.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Partículas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1979 – 29ª reimpressão.

KAZUHITO, Yamamoto; SHIGEKIYO, Carlos T.; FUKE, Luiz Felipe. **Alicerces da Física.** 10. ed. São Paulo: Scipione, 2011.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica**, vol. 4: ótica, relatividade, física quântica. 2 ed. São Paulo: Blucher. 2014.

RAMALHO, F. J. NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. S. **Os Fundamentos da Física.** Vol.1. 7ª ed. Editora Moderna, 2010.