

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

ROMEU NUNES DE FREITAS

**FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA:
uma abordagem experimental com ênfase em algumas interações da luz
com a matéria**

**PONTA GROSSA
2016**

ROMEU NUNES DE FREITAS

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA:
uma abordagem experimental com ênfase em algumas interações da luz
com a matéria

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

Orientador: Prof. Dr. André Maurício Brinatti
Coorientador: Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva

PONTA GROSSA
2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

F866 Freitas, Romeu Nunes de
Física moderna e contemporânea na
educação básica: uma abordagem
experimental com ênfase em algumas
interações da luz com a matéria/ Romeu
Nunes de Freitas. Ponta Grossa, 2016.
129f.

Dissertação (Mestrado Profissional em
Ensino de Física - Área de Concentração:
Física na Educação Básica), Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. André Maurício
Brinatti.

Coorientador: Prof. Dr. Jeremias Borges
da Silva.

1.Fóton. 2.Contextualização da física.
3.Experimentação no Ensino de Física.
I.Brinatti, André Maurício. II. Silva,
Jeremias Borges da. III. Universidade
Estadual de Ponta Grossa. Mestrado
Profissional em Ensino de Física. IV. T.

CDD: 530.07

Dedico este trabalho à minha esposa e companheira a quem tanto amo
Jessica Erdman Nunes de Freitas

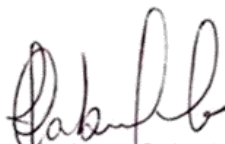
TERMO DE APROVAÇÃO

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: uma abordagem experimental com ênfase em algumas interações da luz com a matéria
MESTRANDO: ROMEU NUNES DE FREITAS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Polo 35 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela seguinte banca examinadora:



Professor Dr. André Mauricio Brinatti (orientador)
Departamento de Física – UEPG/PR



Professora Dra. Iramáia Jorge Cabral de Paulo
Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)



Professor Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro
Departamento de Física – UEPG/PR

Ponta Grossa, 22 de setembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus.

Aos professores André Maurício Brinatti e Jeremias Borges da Silva, que orientaram o projeto, a execução e a análise deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UEPG que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, em especial aos professores André Vitor e Silvio.

Aos colegas da primeira turma do MNPEF realizado na UEPG, especificamente ao Edenilson Orkiel e ao Gustavo Trierveiler.

Aos familiares, que me apoiaram e efetuaram contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, especialmente ao Giovani Ribas que auxiliou na montagem e na fabricação de alguns conjuntos experimentais constituintes da proposta desenvolvida.

Às direções dos Colégios Sagrada Família e Estadual Professora Elzira Correia de Sá, situados na cidade de Ponta Grossa (PR), pelo consentimento da aplicação do Produto.

À professor Jeanice Malvezzi, que contribuiu para a aplicação do Produto em duas turmas.

RESUMO

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: uma abordagem experimental com ênfase em algumas interações da luz com a matéria

Frente ao desafio de inserir assuntos de Física Moderna e Contemporânea no nível médio da Educação Básica, efetuou-se o desenvolvimento do Produto educacional intitulado – O Fóton em Foco: relações entre cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas – e a análise decorrente da aplicação do mesmo. O material produzido consiste em uma unidade didática composta por quatro Aulas, nestas a concepção de fóton é trabalhada sob os enfoques teóricos relacionados ao efeito fotoelétrico, ao funcionamento de LEDs e aos sensores fotodiodos. Na citada proposição de Ensino de Física, foram levados em conta: as teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e da mediação de Vygotsky como marco referencial teórico; o uso de atividades experimentais como meios potencialmente facilitadores em uma perspectiva investigativa na qual o educando possa assumir uma postura mais ativa no respectivo processo de ensino-aprendizagem; e a contextualização da Física abordada em sala de aula para que os educandos possam compreender alguns dispositivos empregados à sua volta ante o atual desenvolvimento científico e tecnológico. Da aplicação do Produto educacional em duas realidades de ensino, a proposta de ensino desenvolvida pode ser considerada como uma ferramenta potencial para a inserção de Física Moderna e Contemporânea.

Palavras-chave: Fóton. Contextualização da Física. Experimentação no Ensino de Física.

ABSTRACT

MODERN AND CONTEMPORARY PHYSICS IN BASIC EDUCATION: an experimental approach emphasizing some light matter interactions

Facing the challenge to insert topics of Modern and Contemporary Physics in basic education high school, the educational Product called – Focus on Photon: relations between color, frequency and electromagnetic radiation energy – was developed, and its application was analyzed. The material produced consists of a teaching unit comprising four lessons in which the concept of photon is worked through theoretical views related to the photoelectrical effect, LEDs functioning and photodiode sensors. This proposition to teach Physics took the meaningful learning theory presented by Ausubel and Vygotsky's mediation as theoretical background. The use of experimental activities as facilitators of a more active posture regarding the teaching-learning process along with the contextualization of Physics approached in the classroom aimed at providing students with a better understanding of some of the devices employed around them under the light of the current scientific and technological development. Taking into consideration the results of applying this educational Product to the teaching reality, the teaching proposal developed can be considered as a potential tool to insert Modern and Contemporary Physics to the high school curriculum.

Key-words: Photon; Physics Contextualization, Experiments in Physics Teaching.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 6.1: Simulação computacional utilizada na Aula 1.....	44
Figura 6.2: Circuito utilizado na Aula 2.....	49
Figura 6.3: Circuito utilizado na Aula 3.....	53
Figura 6.4: Conjunto experimental utilizado na Aula 4	59

Lista de Quadros:

Quadro 6.1: Resultados do questionário aplicado na Aula 1	43
Quadro 6.2: Resultados da atividade aplicada na Aula 2	46
Quadro 6.3: Dados da atividade proposta na Aula 3	51
Quadro 6.4: Dados da atividade proposta na Aula 4	56

LISTA DE SIGLAS

EB	Educação Básica
EF	Ensino de Física
FMC	Física Moderna e Contemporânea
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal
CD	Compact Disc
LED	Diodo Emissor de Luz
LDR	Resistencia Dependente de Luz

SUMÁRIO

1. Introdução	10
1.1 Justificativa	10
1.2 O Problema	11
1.3 Objetivos	11
1.4 Resultados Esperados	12
2. Uma breve revisão bibliográfica	13
2.1 A Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica	13
2.2 A experimentação nas aulas de Física no Ensino Médio	15
2.3 A abordagem do fóton no Ensino de Física	19
2.4 Teorias de Ausubel e de Vygotsky no Ensino de Física	20
3. Marco Referencial Teórico	22
3.1 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel	22
3.2 Teoria da mediação de Vygotsky	24
4. Fundamentos Teóricos em Física	26
4.1 O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton	26
4.2 A fotoemissão em um LED	28
4.3 O fotodiodo	31
5. Materiais e Métodos	33
5.1 O Produto	33
5.2 A investigação referente à aprendizagem	36
5.3 A investigação referente ao método de ensino	38
5.4 A concepção de avaliação	39
6. Resultados e Discussões	41
6.1 Aula 1	42
6.2 Aula 2	45
6.3 Aula 3	49
6.4 Aula 4	54
7. Considerações Finais	60
Referências	63
Anexo	66

1. Introdução

Elaborou-se uma proposta de Ensino de Física (EF) que vise a inserção de assuntos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no nível médio da Educação Básica (EB). As teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e da mediação de Vygotsky constituíram o marco referencial teórico adotado na proposição. No desenvolvimento do material foi levado em conta o uso de diferentes atividades experimentais como meios facilitadores do processo de ensino-aprendizagem de Física na EB. As ideias presentes no referido material enfocam o fóton sob as perspectivas do efeito fotoelétrico, da fotoemissão em LEDs e do funcionamento de sensores fotodiodos. Portanto, como fruto da pesquisa realizada em EF, concebeu-se o Produto educacional – O Fóton em Foco: relações entre cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas (ANEXO) cuja finalidade corresponde à inserção de FMC na EB a partir de diferentes atividades experimentais.

1.1 Justificativa

O fator que motivou o engajamento da pesquisa em EF foi a observação da própria prática docente no Ensino Médio. Em diálogos com vários docentes de Física da cidade de Ponta Grossa, houve concordância de que a FMC não é muito trabalhada na EB, de modo que as justificativas para tal são várias, a saber: carga horária semanal para a disciplina de física de somente duas horas-aula, por isso não há tempo para a FMC; é inviável realizar atividades experimentais de FMC no Ensino Médio; existe dificuldade em trabalhar os conceitos de FMC; nos livros didáticos, em geral, a FMC está na última unidade do último volume.

Decorrente das justificativas para a não explanação de FMC na EB, verificou-se que em muitos artigos científicos são apresentadas várias sugestões de práticas experimentais que visam a inserção da FMC nas aulas de Física do Ensino Médio. No entanto, nota-se que atividades que visam a inserção de assuntos de FMC ainda não adentraram majoritariamente nas aulas de Física do nível médio da EB.

Diante do exposto, efetuou-se a elaboração e o desenvolvimento de um Produto Educacional voltado ao EF, este constituído de uma unidade didática com planejamento (plano de unidade e planos de aula) e material de apoio ao professor (textos, instruções para montagem dos aparatos e das atividades experimentais). Procurou-se estruturar o Produto de modo que o mesmo venha a possibilitar trabalhar

assuntos de FMC relacionados ao fóton de maneira que os conceitos apresentados em sala de aula não fiquem desconexos à realidade dos educandos.

Outro aspecto levado em conta na elaboração e sequente aplicação do Produto desenvolvido, foi o destaque designado à interlocução entre a teoria e a prática experimental. Por isso, pensou-se em diferentes estratégias para a experimentação nas aulas de Física, a fim de que as atividades propostas potencializem o aprendizado de Física em um viés da aprendizagem significativa por parte dos educandos.

1.2 O Problema

Procurou-se verificar como o Produto educacional pode contribuir para a inserção de FMC no nível médio da EB.

Para responder à problemática apresentada, o referido Produto, foi aplicado em quatro turmas de diferentes realidades de ensino na cidade de Ponta Grossa. Na análise da aplicação da referida proposta de ensino, foram levados em conta a aprendizagem por parte dos educandos segundo as teorias de Ausubel e de Vygotsky, as ações do professor quanto às estratégias de ensino e a experimentação nas aulas de Física.

1.3 Objetivos

Geral:

- Produzir e testar uma proposta de EF direcionada para o nível médio da EB que proporcione a abordagem de alguns assuntos de FMC relacionados à concepção de fóton de modo que a aprendizagem de conceitos por parte dos educandos ocorra de modo contextualizado em uma perspectiva construtivista de ensino.

Específicos:

- Elaborar uma unidade didática constituída de planejamento de unidade e planos de aula, textos de apoio ao professor e instruções referentes à montagem e utilização de conjuntos experimentais relacionados à concepção de fóton;
- Adequar as estratégias de ensino propostas no planejamento com a prática realizada e avaliada em sala de aula;
- Analisar os resultados decorrentes da aplicação da proposta de ensino citada com finalidade de contribuir para a divulgação, a aplicação e o aperfeiçoamento da proposição de ensino apresentada.

1.4 Resultados Esperados

Estima-se contribuir com a reflexão a respeito da aplicação de uma proposta de ensino que ofereça possibilidades de abordar conceitos de FMC no Ensino Médio de modo que o EF seja relevante na formação dos educandos.

Acredita-se que ao articular teoria e prática experimental de modo contextualizado, o aprendizado pode ser mais efetivo.

Por fim, como esta dissertação de mestrado profissional em EF resulta da análise decorrente da aplicação de um Produto Educacional, alguns trechos, mesmo que reescritos, do referido material didático produzido estão presentes nesta dissertação a começar por este capítulo introdutório e, além dele, existem outros trechos que oportunamente serão mencionados".

2. Uma breve revisão bibliográfica

Com a intenção de dar suporte a pesquisa apresentada no presente trabalho, faz-se necessário uma breve descrição teórica a respeito de observações relevantes referentes ao EF. Em primeiro lugar, discorre-se a respeito do ensino de FMC no nível médio da EB. Em seguida, apresenta-se uma discussão referente à experimentação nas aulas de Física. Faz-se, também, uma análise da abordagem de conceitos relacionados ao fóton na prática docente atual. Por fim, são destacados alguns aspectos referentes às teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e de mediação de Vygotsky aplicadas ao EF.

2.1 A Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica

Conforme apresentado por Cavalcante e Tavolaro [1], muitos pesquisadores em EF têm proposto trabalhos que visam a inserção de conceitos de FMC no nível médio da EB. Indaga-se, então: Por que ensinar FMC no Ensino Médio? Em resposta ao questionamento proposto, pode-se defender que ao trabalhar tais conceitos em sala de aula, os educandos podem compreender as tecnologias à sua volta, bem como os processos históricos que se desenrolaram desde o início do século XX, relacionados ao desenvolvimento de tais tecnologias. Tal compreensão é potencial à corroboração da concepção, do desenvolvimento e do exercício da cidadania dos educandos.

Oliveira et al. [2], apontam uma preocupação com uma defasagem do currículo de Física em comparação com o avanço tecnológico. Essa defasagem, segundo os autores, pode provocar um quadro crítico de aulas reduzidas a equações matemáticas, sem conexão com o cotidiano ou com as transformações históricas, sociais e culturais decorrentes do desenvolvimento científico. Os autores destacam que não basta reformar o currículo sem que a formação continuada dos docentes da área de Física acompanhe tal transformação. Salientam também, que a FMC não deve ser inserida de modo que os conceitos fiquem fragmentados ou isolados.

De acordo Ostermann e Moreira [3], assuntos de FMC podem despertar curiosidade e motivação por parte dos educandos em aprender conceitos de Física. Os autores defendem a produção de materiais didáticos nos quais sejam abordados tais assuntos no nível médio da EB. Moreira [4], aponta a necessidade de uma mudança referente ao EF no Brasil:

“Portanto, no ensino médio a perspectiva é também de mudança radical: Física não dogmática, construtivista, para a cidadania, ênfase em modelos, situações reais, elementos próximos, práticos e vivenciais do aluno, do concreto para o abstrato, atualização de conteúdos, Física Contemporânea” [4].

Valadares e Moreira [5], assinalam a necessidade da inserção de FMC nas aulas de Física do ensino básico. Os autores recomendam que os conceitos relacionados sejam trabalhados de modo que haja uma conexão entre a FMC e a Física do cotidiano. Os autores reforçam a necessidade em despertar o interesse nos educandos em aprender conceitos de Física:

“É necessário resgatar o interesse dos alunos pela Física. Cada um de nós que está ligado de uma forma ou de outra ao ensino de Física sabe que o seu estudo permite uma compreensão básica da natureza, além de desenvolver nos educandos uma série de habilidades que podem dar vazão à sua criatividade, proporcionando prazer, alegria e desafios. Sem isso, é impossível tornar a Física uma disciplina interessante e atraente” [5].

Na revisão bibliográfica acerca da produção científica relativa à pesquisa de FMC no Ensino Médio realizada por Ostermann e Moreira [6], os autores apresentam uma preocupação com a falta de pesquisas em EF que relatem propostas testadas no Ensino Médio com respectivos resultados de aprendizagem. Frente às várias produções teóricas sobre FMC e uma escassez de propostas alternativas e de propostas testadas em sala de aula, os autores ressaltaram a necessidade de um amadurecimento na linha de pesquisa de FMC.

Em uma revisão bibliográfica mais recente, Pereira e Ostermann [7], analisaram artigos científicos sobre o ensino de FMC publicados entre 2001 e 2006. Os 102 textos estudados foram classificados em quatro categorias, a saber: a) propostas didáticas testadas em sala de aula, b) levantamento de concepções, c) bibliografia de consulta para professores, e d) análise curricular. A primeira categoria é relacionada às diferentes estratégias didáticas para o ensino de FMC, bem como a utilização de tecnologias de informação e comunicação. A segunda enfoca o conhecimento de professores e educandos sobre conceitos de FMC. A terceira aborda bibliografias sobre FMC para consulta de professores. A última categoria remete-se à análise curricular referente ao ensino de FMC. Como resultado da pesquisa, os autores apontaram que aproximadamente 50,9 % dos textos analisados são classificados como bibliográfica de consulta para professores. De outro lado, cerca de 49 % dos artigos avaliados apresentam resultados de pesquisa, 21,5 % dos

trabalhos enfocam a inserção de FMC no Ensino Médio e 29,4 % apresentam propostas que envolvem diferentes estratégias ou recursos didáticos.

Pereira e Ostermann [7], consideraram expressivo o crescimento de publicações referentes ao ensino de FMC, no entanto assinalaram a importância de que os trabalhos de desenvolvimentos sejam submetidos a uma avaliação crítica a fim de averiguar como tais propostas viabilizam o ensino-aprendizagem de conceitos referentes à FMC. Os autores destacam a necessidade de se investigar os processos conduzidos em sala de aula que estruturam e condicionam a aprendizagem, tal fato remete à problemática relacionada à falta de propostas testadas com respectivos resultados de aprendizagem [6].

2.2 A experimentação nas aulas de Física no Ensino Médio

Araújo e Abib [8], apresentam uma análise da produção científica referente à temática de atividades experimentais voltadas ao EF. Os trabalhos analisados pelos autores correspondem ao período de 1992 a 2001. Os autores classificaram os textos analisados em cinco categorias: a) Ênfase Matemática, b) Grau de Direcionamento, c) Uso de Novas Tecnologias, d) Cotidiano e e) Montagem de Equipamentos. Com relação à ênfase matemática, buscaram verificar, além do formalismo matemático, se o trabalho estudado era enquadrado como Quantitativo ou Qualitativo. Ao que se refere ao grau de direcionamento, os autores classificaram os experimentos propostos como atividades de Demonstração, Verificação ou Investigação. Com respeito às três últimas categorias de análise citadas, os autores avaliaram a utilização de atividades computacionais, como por exemplo, simulações, a exposição de conceitos relacionados ao dia a dia dos educandos, e a montagem de equipamentos potenciais para a realização de práticas experimentais no EF.

Como resultado da pesquisa desenvolvida, Araújo e Abib [8] constataram que 7,6 % de 92 trabalhos observados abordavam atividades experimentais de FMC. Observaram também que 66 % de 106 artigos investigados, foram enquadrados com atividades experimentais de caráter qualitativo – disto perceberam maior destaque aos conceitos. Quanto ao grau de direcionamento, de 101 artigos, verificaram que 35,6 % dos trabalhos apresentavam atividades experimentais de demonstração, 29 % de verificação e 35,6 % de investigação. De 101 artigos, 40 % apresentavam conceitos relacionados ao cotidiano dos educandos, 31 % indicavam o uso de novas tecnologias e 29 % exibiam procedimentos relativos à construção de equipamentos.

Atividades demonstrativas favorecem a observação e a percepção de fenômenos Físicos, porém podem ser precárias quanto em nível de aprendizagem de um ponto de vista construtivista. Experimentos de verificação são potenciais quanto à percepção de parâmetros inerentes a determinados fenômenos físicos. No entanto, quando este tipo de atividade é aliado ao uso de roteiros com procedimentos rigorosamente definidos pelo professor antes da realização da prática, é possível que a aprendizagem seja mecânica e pouco significativa. O levantamento de hipóteses, o diálogo e a análise crítica são aspectos característicos de atividades experimentais de investigação, por sua vez, estas tendem a ser orientadas em uma perspectiva mais construtivista. Acredita-se que a aprendizagem de conceitos de Física pode ser mais efetiva quando ocorre problematização relacionada ao cotidiano dos educandos [8].

Borges [9], define o laboratório de ciências tradicional como o lugar no qual são desenvolvidas atividades experimentais no sentido em que os educandos seguem roteiros dirigidos com procedimentos sistematicamente estabelecidos pelo professor antes da aula. Neste contexto, a aula pode ser abreviada à montagem de equipamentos, observação de determinado fenômeno concomitante à coleta de dados, preenchimento de tabelas, construção de gráficos e cálculos extensos com pouco significado para aqueles que realizam a atividade proposta. Ao que se refere ao tipo tradicional de laboratório citado, não ocorre problematização da prática proposta, tampouco existe investigação dos fenômenos físicos observados por parte dos educandos. Segundo o autor [9], um dos objetivos aliado à concepção tradicional do laboratório de ciências é a comprovação e verificação de fatos e leis científicas, no entanto isto não garante que ocorra aprendizagem efetiva por parte dos educandos.

Oliveira et al. [10], apresentam uma crítica similar à apontada por Borges [9], na qual a experimentação não pode ser reduzir à comprovação leis e/ou efetuar cálculos ausentes de problematização:

“Logo, a simples realização de atividades experimentais não garante a aprendizagem, pois atividades práticas podem ser utilizadas de forma pouco eficaz, em termos educacionais, como apresentação de teorias estabelecidas ou comprovação de *verdades científicas*. Nestes casos, aluno e professor apenas reproduzem sequências de procedimentos com o objetivo de obter os mesmos resultados de seus antecessores, sem incentivo à discussão, crítica ou autonomia” [10].

Borges [9], defende a realização de atividades experimentais de caráter investigativo, nas quais os educandos assumam-se em uma condição mais ativa e compromissada a fim de responder questões e/ou problemas propostos. Neste

contexto, o planejamento do professor deve ser mais aberto, haja vista que, quanto mais fechados forem o planejamento e roteiro experimental para uma aula, a mesma tenderá a ser mais restrita aos dados e resultados da experiência, deste modo, pode-se instigar que o aprendizado seja mecânico e pouco efetivo. O autor dá destaque ao planejamento das atividades em relação aos objetivos de aprendizagem que se pretende alcançar com a utilização das mesmas. Alguns fatores devem ser levados em conta no planejamento de uma atividade, como por exemplo, o conhecimento prévio dos educandos.

“O trabalho no laboratório pode ser organizado de diversas maneiras, desde demonstrações até atividades prático-experimentais dirigidas diretamente pelo professor ou indiretamente, através de um roteiro. Todas podem ser úteis, dependendo dos objetivos que o professor pretende com a realização das atividades propostas” [9].

“Recomenda-se que o professor utilize-se de atividades pré-laboratório para clarificar os objetivos pretendidos, ideias iniciais dos educandos e suas expectativas acerca do fenômeno estudado. Após a atividade prática, recomenda-se a discussão dos resultados obtidos, bem como as limitações da atividade. Para evitar que os educandos adquiram uma concepção errônea do que é feito nos laboratórios, é necessário que o professor distinga claramente as atividades práticas para fins pedagógicos da investigação experimental executada por cientistas” [9].

A utilização do laboratório de ciências possibilita a formulação e posterior investigação de hipóteses referentes a determinado fenômeno físico. Algumas atividades computacionais, como por exemplo, simulações, podem ser aliadas à prática de sala de aula de modo que os educandos possam efetuar testes além daqueles propostos em um roteiro estático e inflexível [9,11].

Arantes et al. [12], relatam a potencialidade que os Objetos de Aprendizagem (OA) oferecem no quesito de facilitar a aprendizagem. Um tipo de OA é a simulação computacional. Os autores evidenciam que as simulações não devem substituir as atividades de experimentação reais no EF, ao contrário, recomendam que estas sejam combinadas com os experimentos de modo que o processo de ensino-aprendizagem seja mais efetivo. Em seu trabalho, Arantes et al. [12], utilizam como OA uma simulação computacional. Com relação aos aspectos gerais da simulação, os autores destacam quatro possibilidades de utilização de simulações computacionais no EF.

A primeira enquadra-se no desenvolvimento de aula expositiva. Deste modo, a simulação possui o caráter demonstrativo relacionado a algum fenômeno físico. Neste tipo de aula, por exemplo, o professor pode encaminhar um questionário referente a algum assunto específico a ser estudado. Após a formulação das

respostas ou hipóteses por parte dos educandos, o professor efetua a demonstração do referido fenômeno via simulação computacional. Por sua vez, os educandos podem efetuar alterações nas respostas iniciais decorrente das observações realizadas por meio da utilização do citado OA [12]. Conforme apontado por Araújo e Abib [8], o uso de demonstrações favorece a observação e percepção de fenômenos físicos de acordo com os objetivos de aprendizagem programados pelo professor, todavia, o referido tipo de estratégia didática dificulta a realização de testes e manipulações do OA frente às possíveis hipóteses elencadas pela turma. Cabe destacar que o uso de atividades de caráter demonstrativo é positivo diante da insuficiência de meios didáticos disponíveis nas mais variadas realidades escolares.

Outra possibilidade é a utilização da simulação aliada à execução de atividades desenvolvidas em grupos. Deste modo, os educandos podem intercambiar ideias referentes às observações e manipulações do OA [12]. Este tipo de atividade pode ser realizado antes ou após a abordagem de determinado assunto a ser trabalhado em sala de aula. No entanto, se o roteiro para a atividade for muito fechado, isto pode dificultar que ocorra exploração investigativa de outras possibilidades oferecidas pela simulação [9,10].

A terceira estratégia didática relacionada ao uso de simulações remete-se à lição de casa, deste modo, os educandos podem explorar os mais variados recursos oferecidos pela simulação [12]. Entretanto, para a realização da lição de casa, os educandos devem possuir algum tipo de tecnologia que atenda às condições minimamente necessárias para a execução do citado OA.

A utilização de simulações computacionais aliadas às práticas experimentais com experimentos reais, seja no laboratório, seja na sala de aula, pode proporcionar aos educandos explorar diversas variáveis relacionadas a determinado fenômeno físico [12]. Outra vantagem da utilização de simulações está relacionada aos riscos que determinado experimento pode oferecer, como por exemplo, pode ser muito mais seguro realizar simulações sobre o tema radioatividade do que a realização de experimentos que envolvam materiais radioativos [11]. Diante do exposto anteriormente, não se tem por objetivo discutir as vantagens e desvantagens, nem efetuar comparações relacionadas ao uso de simulações computacionais e atividades com experimentos reais no EF, o que se destaca é a potencialidade da utilização de simulações aliadas a atividades experimentais para promover um aprendizado mais efetivo.

Ao que se refere ao uso de simulações computacionais no EF, destaca-se que é necessário tomar alguns cuidados com relação às metáforas utilizadas neste tipo de OA [13].

“O professor deve sempre ter o cuidado de deixar claro para os alunos que as animações reproduzem a realidade de forma esquemática e simplificada e que, assim, os experimentos realizados por meio de simulações não são equivalentes aos experimentos reais” [13].

2.3 A abordagem do fóton no Ensino de Física

Cavalcante e Tavolaro [1], apresentam uma proposta para inserção de conceitos de FMC no Ensino Médio. Em seu trabalho as autoras sugerem a realização de uma oficina composta de 5 atividades experimentais. Os experimentos concentram-se em explorar elementos de ondas eletromagnéticas e permitem a abordagem dos conceitos de difração, interferência, dualidade onda-partícula, efeito fotoelétrico. Os conjuntos experimentais propostos pelas autoras são relativamente acessíveis e de fácil montagem. As atividades 4 e 5 utilizam simulações computacionais. Outro destaque do trabalho de Cavalcante e Tavolaro [1] é a utilização de dispositivos cujo funcionamento é relacionado a princípios da FMC como o laser, o CD, o LED e o LDR.

Valadares e Moreira [5], propõem a introdução de práticas referentes ao efeito fotoelétrico, ao laser e à emissão de corpo negro. Os autores enfocam a utilização de experimentos de baixo custo. Também explicam o funcionamento e aplicações do LDR com relação ao efeito fotoelétrico, explanam a emissão de luz por um laser, o funcionamento da fibra ótica e do leitor de códigos de barra. Quanto à emissão de corpo negro, os autores recomendam a construção de um aquecedor solar.

Silva e Assis [14], sugerem a abordagem do efeito fotoelétrico na qual apresentam uma atividade experimental denominada “ouça seu controle remoto”, o experimento proposto pelas autoras consiste em detectar luz emitida por um controle remoto por meio de um dispositivo LDR conectado a uma caixinha de som, quando a luz incide sobre o LDR a caixinha de som emite um ruído sonoro.

Algumas proposições de experimentos voltados ao Ensino Médio abordam o conceito de fóton e a emissão de luz colorida por LEDs para determinar experimentalmente o valor da constante de Planck. Cavalcante e Tavolaro [15] enfatizam conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico e à dualidade onda-partícula, as autoras utilizam uma simulação computacional na abordagem do efeito fotoelétrico. Cavalcante e Tavolaro [15] e Moura et al. [16], medem pares de tensão e corrente

elétricas nos terminais de LEDs que emitem diferentes cores de luz, a partir dos valores medidos e das respectivas frequências emitidas, calculam a constante de Planck para cada LED.

Cavalcante e Tavoraro [1] e de Valadares e Moreira [5], propõem sequências de atividades com aspectos relacionados ao fóton, especificamente no que se refere à abordagem do efeito fotoelétrico. Como mencionado anteriormente, o LED e o LDR também são componentes de proposições em trabalhos cujo enfoque é a temática da FMC no nível Médio da EB.

Vale a pena ressaltar que que não foram encontrados trabalhos, no âmbito nacional, dirigido ao EF nos quais foi utilizado o fotodiodo para estudo relacionado ao fóton e à absorção de radiação eletromagnética.

2.4 Teorias de Ausubel e de Vygotsky no Ensino de Física

Com relação aos enfoques teóricos direcionados ao ensino e à aprendizagem, Moreira [17] apresenta uma descrição das teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e da mediação de Vygotsky. Ambas possuem ênfase na cognição. As teorias de Ausubel e de Vygotsky são classificadas como construtivistas, de modo que o enfoque é a construção do conhecimento. Subsunção, organizadores prévios e aprendizagem significativa são alguns conceitos centrais da teoria de Ausubel. Enquanto que zona de desenvolvimento proximal, signo e instrumento são elementos essenciais da teoria de Vygotsky.

Silva e Schirlo [18] propõem uma reflexão a respeito da aprendizagem significativa voltada ao EF com relação ao cenário social atual. As autoras evidenciam em seu trabalho que é necessário vivenciar circunstâncias de construção de conhecimento para desenvolver capacidades cognitivas frente às transformações sociais, culturais e tecnológicas decorrentes do avanço científico. Ao que se refere à problemática investigada, Silva e Schirlo [18], procuraram verificar a relevância da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel no processo de construção de conhecimento. Segundo as autoras, mesmo que o professor se utilize de vários recursos e estratégias de ensino, se não ocorrer ancoragem de um conceito novo a outro internalizado, o processo resultará em aprendizagem mecânica, deste modo, não ocorre interação entre a informação nova e conceitos importantes da estrutura cognitiva do sujeito – esta aprendizagem desconexa pode culminar em memorização e posterior esquecimento, sem que o sujeito aplique o que aprendeu.

Silva e Schirlo [18], concluem que é preciso formar cidadãos capazes de aprender continuamente. Deste modo, espera-se que o sujeito se torne crítico e a ponto de elaborar estratégias para superar os desafios que lhe são impostos diariamente e que o mesmo possa contribuir no desenvolvimento de conhecimentos relevantes para a sociedade. Para que isso aconteça o professor deve investigar continuamente a própria prática docente no sentido de aprimorar suas técnicas e estratégias de ensino, caso contrário, é provável que as suas atitudes não corroborem efetivamente para a ocorrência de aprendizagem significativa. Neste sentido, acredita-se que o professor precisa refletir sobre e planejar as suas ações de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, é possível proporcionar melhores condições ao educando de exercer a sua cidadania frente à sociedade atual.

Conforme apresentado por Moreira [19], o conhecimento prévio do educando a respeito de determinado assunto a ser abordado em aula é imperativo dentro do contexto de aprendizagem significativa. Para resolver o problema de não haver subsunções na estrutura cognitiva do educado, são utilizados subsunções provisórios denominados de organizadores prévios. Organizadores prévios são conjuntos de materiais de caráter introdutório com mais elevado nível de abstração, generalidade e abrangência. Os organizadores prévios funcionam como pontes cognitivas, estas têm a finalidade de aproximar aquilo que o educando sabe daquilo que ele deveria saber para ocorrer aprendizado significativo de novos conceitos.

Pereira et al. [20] investigaram as concepções referentes à dualidade onda-partícula na formação de um grupo de licenciados em Física. Como marco teórico relativo à teoria de ensino aplicada à proposta desenvolvida, os autores fundamentaram-se na teoria da mediação de Vygotsky com destaque ao conceito de zona de desenvolvimento proximal (ZDP):

“Uma das implicações educacionais mais importantes da teoria de Vygotsky é a noção de que o bom ensino é aquele que ocorre na zona de desenvolvimento proximal do aluno. Para Vygotsky, é no processo de aprendizagem que o sujeito se desenvolve” [20].

Para Pereira et al. [20], é de extrema importância investigar o conhecimento prévio dos educandos sobre o assunto que se pretende desenvolver. Os autores também consideram relevante o levantamento das concepções iniciais dos educandos a fim de avaliar o desenvolvimento e a modificações das concepções dos mesmos a respeito da temática trabalhada ao longo das aulas.

3. Marco Referencial Teórico

Como marco referencial teórico para a elaboração e aplicação do Produto, escolheu-se as teorias da aprendizagem significativa de David Ausubel (1918-2008), e da mediação de Lev Semenovich Vygotsky (1886-1934).

3.1 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel

Segundo Ausubel, ocorre aprendizagem significativa quando uma informação nova interage com algum aspecto relevante da estrutura cognitiva do sujeito aprendiz. O referido aspecto é denominado subsunçor. Na perspectiva de aprendizagem significativa, o conceito de subsunçor pode ser compreendido como um ancoradouro, de modo que há aprendizagem significativa sob a condição de que um novo conceito seja ancorado a outro existente na estrutura cognitiva do aprendiz [17].

Ausubel denomina aprendizagem mecânica aquela em que o sujeito adquire novas informações com escassez ou ausência de interações com conceitos relevantes de sua estrutura cognitiva. No entanto, a aprendizagem mecânica é necessária quando um sujeito adquire informações referentes a assuntos totalmente novos e, portanto, desconhecidos. Ao passo que os subsunçores provisórios decorrentes da aprendizagem mecânica passam a interagir com novos conceitos em um processo de aprendizagem significativa, os mesmos passam a ser modificados e resinificados de modo que se tornam subsunçores mais capazes de ancorar novas informações à estrutura cognitiva do sujeito aprendiz [17]. Disto pode-se observar, quando se trata de abordar conceitos novos, como por exemplo, de FMC, que é possível não existir subsunçores preexistentes na estrutura do educando, então pode-se recorrer à utilização de organizadores prévios [19], a fim de que as novas informações sejam aderidas à estrutura de conhecimento dos educandos e resinificadas no decorrer do processo de ensino-aprendizagem. Disto, destaca-se que o professor deve efetuar o levantamento dos conhecimentos prévios dos educandos em relação àquilo que se pretende ensinar.

Um problema decorrente do sistema de avaliação escolar atual, é o fato de que os educandos são condicionados à aprendizagem mecânica, seja via memorização de conceitos, equações, e de procedimentos para resolver problemas. Observa-se que se um estudante obtiver nota máxima em uma avaliação tradicional, não há garantias de que houve aprendizagem significativa. Para Ausubel, pode-se constatar

que houve aprendizagem significativa por meio da elaboração de problemas novos e enunciados diferentes de modo que se exija máxima modificação da informação adquirida à estrutura de conhecimento do educando [17].

Ausubel define três tipos de aprendizagem significativa: a) a representacional, b) a de conceitos, e, c) a proposicional. A primeira refere-se à imputação de significados a determinados símbolos. A segunda difere-se da primeira no sentido de requerer maior nível de generalidade e abstração dos significados atribuídos aos conceitos. A terceira remete-se à atribuição de significado a ideias de modo que as mesmas possam ser proposições enunciadas por palavras ou conceitos, ressalta-se que o significado atribuído à proposição deve superar a soma dos significados individuais das palavras ou conceitos que a constituem. Um conceito potencialmente significativo é aquele minimamente capaz de interagir com subsunçores da estrutura cognitiva do aprendiz a ponto de ancorar-se à mesma. Para Ausubel, acontece assimilação ou ancoragem, quando uma nova proposição ou conceito potencialmente significativo é conectado a um subsunçor da estrutura cognitiva do educando, deste modo, tanto o novo conceito quanto o subsunçor sofrem modificações. A assimilação facilita a retenção de conceitos e ideias [17].

A aprendizagem de proposições e conceitos potencialmente significativos pode ser: a) subordinada, b) superordenada, e, c) combinatória. Na primeira, o subsunçor é mais inclusivo do que a nova informação, por isso, há a relação de subordinação da mesma. Na segunda, a nova informação é mais inclusiva, conseqüentemente, aumenta o grau de significado dos seus ancoradouros. Na terceira, a nova proposição é mais ampla e não pode ser assimilada, nem assimilar outras mais específicas, neste caso uma assimilação de mesmo nível, portanto as relações de subordinação e superordenação da nova informação só acontecem com conteúdo mais amplo preexistente na estrutura cognitiva do educando. Em decorrência da aprendizagem subordinada, os subsunçores sofrem uma diferenciação progressiva. No entanto, quando ocorre aprendizagem significativa, as proposições e conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do sujeito também podem ser reorganizadas e adquirir novos significados, a este processo denomina-se reconciliação integrativa. A reconciliação integrativa é uma forma de diferenciação progressiva da estrutura cognitiva do educando. Para Ausubel, da ideia de diferenciação progressiva, proposições e conceitos mais inclusivos devem ser introduzidos no início do processo instrucional, e diferenciados progressivamente de acordo com as respectivas especificidades. De

outro lado, da reconciliação integrativa, o processo instrucional deve explorar entre ideias, expor diferenças e similaridades fundamentais e reconciliar as rupturas eventuais observadas [17].

Quanto ao processo instrucional de acordo com a teoria da aprendizagem significativa, a estrutura cognitiva do educando pode ser influenciada:

“1) *substantivamente*, pela apresentação, ao aprendiz de conceitos e princípios unificadores e inclusivos, com maior poder exploratório e propriedades integradoras; 2) *programaticamente*, pelo emprego de métodos adequados de apresentação do conteúdo e utilização de princípios programáticos apropriados na organização sequencial da matéria de ensino” [17].

Para que novos conceitos e proposições sejam inseridos à estrutura cognitiva em um contexto de aprendizagem significativa, o professor deve estruturar o conteúdo que pretende trabalhar, para identificar os conceitos mais inclusivos, e, partindo destes, possa alcançar os mais específicos. Outro aspecto que deve ser considerado é o levantamento de conceitos prévios e subsunçores mais inclusivos da estrutura de conhecimento dos educandos, com isso o professor pode planejar a introdução dos conceitos mais disponíveis do conteúdo com aqueles mais relevantes da estrutura cognitiva do educando. Por fim, destaca-se que o método de ensino deve favorecer a aquisição do conteúdo a ser aprendido. Desta forma, o professor tem a função de auxiliar o educando a organizar a própria estrutura de conhecimento ante as interações das novas informações com aquelas preexistentes em sua estrutura cognitiva.

3.2 Teoria da mediação de Vygotsky

Para Vygotsky os processos mentais superiores, a saber: o pensamento, a linguagem e o comportamento volitivo, possuem origem em processos sociais. Deste modo, não há como compreender o desenvolvimento cognitivo de um indivíduo sem que sejam levadas em conta os indicadores do meio social em que o mesmo está inserido. Neste contexto, o desenvolvimento cognitivo acontece a partir das relações sociais. Segundo Vygotsky, é pela mediação que as relações sociais se tornam processos mentais superiores. A internalização, que é compreendida como o processo de reconstrução interna de uma operação externa, de atividades sociais, históricas e culturais acontece por mediação, e esta compreende instrumentos e signos [17].

Um instrumento é externo ao indivíduo e possui a função de realizar algo, enquanto que, um signo é interno e significa algo diferente. Signos indicadores

possuem relação de causa e efeito, signos icônicos representam aquilo que significam por imagem ou desenho, e, signos simbólicos apresentam aspectos abstratos com o que significam. Isto implica que o sujeito se desenvolve cognitivamente ao interiorizar, isto é, apropriar-se de instrumentos e signos – que são construções culturais – via relações sociais [17].

O foco de análise de Vygotsky é a interação social e o conhecimento é uma construção social, histórica e cultural. Neste sentido, a interação social é essencial no que se refere ao desenvolvimento cognitivo. Para que um signo seja internalizado, este deve ter atribuído a si algum significado. Por sua vez, o significado atribuído ao signo é fruto de interações sociais, isto é, os significados são captados por meio de interações sociais [17].

Com relação ao desenvolvimento cognitivo, é necessário que o sujeito tenha como ponto de partida as relações sociais provenientes de um determinado contexto, entretanto para que o mesmo alcance processos mentais superiores, este deve avançar em níveis mais abstratos, isto é, descontextualizados. Dos sistemas de signos de um indivíduo, a linguagem, seja falada, escrita ou matemática, é o mais importante, haja vista que a linguagem é potencial para conduzir o indivíduo do concreto ao abstrato [17].

A zona de desenvolvimento proximal (ZDP), constitui uma ideia chave quanto à aprendizagem. Ela pode ser definida como a distância entre o nível cognitivo do sujeito e o nível que o mesmo pode alcançar. Isto significa que no desenvolvimento cognitivo, a aprendizagem ocorre via interação social na ZDP, região onde as funções mentais passam por um processo ativo de amadurecimento. Cabe destacar que para Vygotsky a resposta final não é o objeto de maior destaque, mas sim, o processo meio pelo qual um indivíduo responde à determinada problemática [17].

Em síntese, segundo o exposto anteriormente com base na teoria, a interação: social, professor e aprendiz deve acontecer dentro da ZDP do educando, como fruto desta interação, ocorrem intercâmbios de significados que favorecem a captação de novos significados no sentido de conduzir o educando a processos mentais superiores aos que o mesmo domina. Disto, se destaca o caráter construtivista, no qual o professor tem a função de mediador.

4. Fundamentos Teóricos em Física

A seguir são apresentados alguns conceitos relacionados à concepção de fóton. Faz-se uma introdução a respeito do efeito fotoelétrico, em seguida, discute-se a respeito do funcionamento do diodo emissor de luz (LED), e, por fim, discorre-se sobre o sensor fotodiodo. A interpretação dos conceitos e proposições elencados aqui, resultam de interpretações a respeito da consulta a referenciais [21,22,23,24], que fundamentam o tema. Maiores detalhes relacionados aos aspectos teóricos referentes à concepção de fóton, estão disponíveis nos textos de apoio ao professor que compõem o Produto Educacional.

4.1 O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton

Quando determinado tipo de radiação luminosa incide sobre uma superfície metálica, pode ocorrer ejeção de elétrons da superfície, a este fenômeno denomina-se efeito fotoelétrico. Aplicações do efeito fotoelétrico estão presentes no dia a dia de muitas pessoas, desde, como por exemplo, o funcionamento de portas que se abrem e se fecham automaticamente e luzes de postes que se acendem assim que anoitece.

O físico alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) fez um detalhado estudo experimental a respeito do efeito fotoelétrico e concluiu que:

- A ejeção de elétrons ocorre a partir de determinada frequência denominada de frequência de corte.
- O valor da frequência de corte depende da substância na qual se incide a radiação eletromagnética.
- A frequência de corte da maioria dos metais corresponde à região do ultravioleta, no entanto corresponde à região do espectro visível para alguns óxidos de cério e de potássio.
- Quando a frequência da radiação eletromagnética incidente é inferior à frequência de corte, não ocorre o efeito fotoelétrico, mesmo que seja aumentada a intensidade da radiação que incide sobre a superfície metálica.
- Quando ocorre emissão, o número de fotoelétrons ejetados é proporcional à intensidade da radiação incidente.

Da análise realizada por Lenard, são apresentadas algumas contradições entre as previsões teóricas da Física Clássica e os resultados experimentais

- Quanto maior a intensidade de uma onda, maior é a amplitude desta, portanto maior é a energia transportada pela onda. Por exemplo, uma radiação eletromagnética com intensidade suficientemente elevada teria um campo elétrico associado que exerceria uma força elétrica suficientemente intensa para remover elétrons da superfície metálica, independentemente da frequência da radiação incidente.
- Se a intensidade da radiação eletromagnética incidente fosse muito baixa, um elétron levaria muito tempo, até algumas horas ao acumular energia para ser removido. Se a intensidade da radiação eletromagnética incidente fosse mais elevada, então o elétron demoraria menos tempo ao acumular a energia necessária para que fosse ejetado da superfície metálica. Entretanto, em 1928, observou-se experimentalmente que o intervalo de tempo entre a incidência da radiação eletromagnética sobre a superfície metálica e a emissão dos fotoelétrons era da ordem de nanossegundos (10^{-9} s), independentemente se a radiação incidente fosse mais ou menos intensa.

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), publicou a explicação do efeito fotoelétrico. Einstein fundamentou-se na teoria dos *quanta*, proposta em 1900, pelo físico alemão Max Planck (1858-1947). Segundo a teoria dos *quanta*, a energia é quantizada, a cada porção discreta de energia denomina-se de *quantum*, palavra que vem do latim, sendo que *quanta* é o plural de *quantum* e significa várias porções dessa energia. Contudo, Planck não afirmou que as radiações eletromagnéticas se propagavam em porções discretas de energia. Foi Einstein quem considerou que a energia das radiações eletromagnéticas é quantizada. A radiação eletromagnética passou a ser tratada como um feixe de partículas: os *quanta*. Depois de 1926, estas partículas com energias discretas foram denominadas fótons. Os fótons são partículas que transportam energia, mas não têm massa de repouso. Da interpretação teórica proposta por Einstein, os fótons são comparados com pacotes que transportam porções discretas de energia, e o valor da energia E de um fóton é definido pela equação 4.1,

$$E = hf, \quad 4.1$$

em que f é a frequência, medida em Hz, da radiação eletromagnética, e $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s é a constante de Planck. Segundo Einstein, o número de fótons emitidos é proporcional à intensidade da radiação eletromagnética que incide sobre

uma superfície metálica, e, a energia de cada fóton é proporcional à frequência desta radiação.

De acordo com a explicação de Einstein, quando um fóton interage com um elétron, o elétron absorve toda a energia do fóton, parte desta energia é utilizada para que o elétron seja ejetado da superfície metálica, a esta parcela de energia denomina-se de função trabalho, que é representada pela letra grega Phi, lê-se fi e se escreve Φ . A função trabalho corresponde à energia que os elétrons precisam receber para vencerem a barreira de potencial da superfície metálica. A barreira de potencial do metal corresponde à energia que aprisiona os elétrons ao mesmo. A parcela restante da energia que foi absorvida pelo elétron corresponde à energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ do fotoelétron. Do princípio da conservação da energia obtém-se a equação 4.2,

$$E = \Phi + E_{C(Máx)}. \quad 4.2$$

Da equação 4.2, verifica-se que há uma frequência de corte f_c definida pela equação 4.3,

$$f_c = \frac{\Phi}{h}, \quad 4.3$$

cuja energia cinética dos elétrons ejetados é nula, portanto destaca-se que só pode ocorrer ejeção de elétrons para frequências $f > f_c$.

4.2 A fotoemissão em um LED

Os LEDs, diodos emissores de luz, do inglês Light Emitting Diode, estão presentes em lanternas, automóveis, TVs, smartphones, por exemplo, enfim, existem várias aplicações modernas nas quais os LEDs estão presentes. Para explicar o funcionamento do diodo emissor de luz é preciso explorar alguns conceitos da Física do Estado Sólido: bandas de energias e o dispositivo semiconductor.

Uma banda de energia corresponde à configuração de energia do sólido. Denomina-se camada de valência, a camada mais externa do átomo que é ocupada pelos elétrons com maior nível de energia, também denominados de elétrons mais livres. No caso de um sólido, a banda de energia ocupada pelos elétrons mais livres é denominada de banda de valência. Para que elétrons de uma banda de valência totalmente ocupada possam participar da condução de eletricidade em um sólido,

estes precisam ser excitados ao receber energia suficiente de uma fonte externa, como por exemplo, de uma bateria. A banda de energia ocupada por elétrons excitados que podem participar da condução de eletricidade num sólido é denominada banda de condução. Podem haver valores não permitidos de energia, isto é, um elétron da banda de valência só é promovido à banda de condução se receber uma energia mínima necessária para a transição acontecer. Os valores de energia intermediários entre a banda de valência e a banda de condução compõem uma região denominada de banda proibida (GAP). Portanto, não há elétrons com energias correspondentes aos valores da banda proibida.

Devido aos diferentes níveis de energia, os elétrons podem ocupar diferentes espaços nas bandas de energia permitidas. Quando um espaço não é ocupado por nenhum elétron, este espaço é denominado de espaço vazio ou disponível. Materiais semicondutores possuem a banda de valência totalmente ocupada, no entanto, a banda proibida é relativamente estreita, por isso, elétrons de valência podem facilmente ser excitados à banda de condução. Se um elétron de valência é excitado à banda de condução, o espaço ocupado pelo elétron na banda de valência fica vazio, este espaço vazio é denominado de “buraco”. Não é possível que um espaço das bandas de energia esteja ocupado e vazio simultaneamente. Isto é, ao considerar determinado espaço das bandas de energia, ou há um elétron quando ocupado, ou há um buraco quando vazio. Por isso, determinado ponto de um sólido não pode conter um elétron e um buraco ao mesmo tempo.

Um diodo consiste na junção de dois materiais semicondutores, um tipo p (positivo) com maior quantidade de buracos, e outro tipo n (negativo) com excesso de elétrons. Devido à diferença de concentração de cargas positivas e negativas, ocorre uma transferência de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n. Como efeito da transferência de cargas para ambos os lados, aparece uma barreira de potencial elétrico U_B na junção pn. Um LED possui a mesma característica que um diodo retificador, isto é, um LED só conduz elétrons em um único sentido. Para não confundir corrente de buracos e de elétrons, que possuem sentidos contrários, adota-se a corrente convencional, na qual considera-se o movimento das cargas positivas (buracos), do polo positivo ao negativo.

A barreira de potencial elétrico U_B impõe certa dificuldade para que ocorra deslocamento de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n. Para ocorrer condução de corrente elétrica no diodo, este deve ter suas extremidades submetidas

à uma tensão elétrica capaz de vencer a barreira de potencial na junção. Ao conectar os lados p e n de um diodo aos polos de uma bateria, pode ocorrer dois tipos de polarização na junção pn:

- Ocorre polarização inversa quando se conecta o polo negativo ao lado p e o positivo ao lado n. Neste tipo de configuração a tensão elétrica aplicada pela bateria dificulta ainda mais o fluxo de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n.
- Ocorre polarização direta quando se conecta o polo positivo ao lado p e o negativo ao lado n. Quando a tensão externa vence a barreira de potencial da junção, aumenta a difusão de buracos para o lado n e de elétrons para o lado p, facilitando a condução de corrente elétrica pelo dispositivo.

O LED é um diodo de alta polarização e para que ocorra emissão de luz, elétrons e buracos são atraídos para a junção do dispositivo, de modo que quando um elétron é “recombinado” com um buraco ocorre a emissão de um fóton com energia definida pela equação 4.1 Cada elétron pode ocupar somente um espaço disponível, e cada espaço disponível pode ser recombinado apenas com um elétron, por isso, a cada recombinação elétron-buraco ocorre emissão de um fóton. Se ocorrer n recombinações, n fótons serão emitidos.

A cor da luz emitida pelo LED depende da energia cedida em cada recombinação elétron-buraco. Quanto mais larga for a banda proibida, maior será a energia do fóton emitido, portanto maior será a respectiva frequência da radiação eletromagnética emitida e a cor da luz independe da intensidade de corrente elétrica. No entanto, quanto maior for a corrente elétrica que percorre o dispositivo, maior será o número de fótons emitidos, consequentemente maior será a intensidade da luz emitida pelo LED. A cor e a frequência dependem de que tipo de impurezas são utilizadas na fabricação dos materiais semicondutores que constituem os diodos emissores de luz, estas impurezas interferem nas propriedades dos LEDs, deste modo, pode-se obter radiações eletromagnéticas com frequências diferentes.

Para calcular a frequência da radiação eletromagnética emitida por um diodo emissor de luz, é preciso determinar o potencial de corte U_c do mesmo. Para tanto, deve-se construir o gráfico a partir de pares corrente e tensão medidos nos terminais do LED. De modo que U_c corresponde ao valor de tensão no eixo U que é interceptado pela reta tangente ao trecho linear da curva gerada graficamente.

A energia necessária para conduzir um elétron de carga e , por um LED submetido à diferença de potencial elétrico U , é definida pela equação 4.4,

$$E = eU . \quad 4.4$$

Com o valor de U_C obtido graficamente, da combinação entre as equações 4.1 e 4.4, obtém-se uma expressão para a frequência da luz emitida pelo LED dada pela equação 4.5,

$$f = \frac{e}{h} U_C . \quad 4.5$$

4.3 O fotodiodo

O fotodiodo consiste em um dispositivo do tipo diodo sensível à radiação eletromagnética. Como se trata de um diodo, o dispositivo é formado pela junção de dois materiais semicondutores, um tipo p e outro tipo n, conforme apresentado anteriormente. Ao contrário do LED que pode emitir luz quando percorrido por uma corrente elétrica, o fotodiodo só conduz eletricidade quando recebe radiação eletromagnética com valores específicos de frequência.

O olho humano pode ser citado como um sensor biológico de luz, por exemplo, pois é sensível às radiações eletromagnéticas com determinados valores de frequência, estes valores são definidos em um intervalo denominado de região visível do espectro eletromagnético.

Assim como o olho humano, o fotodiodo é sensível a frequências específicas limitadas em determinada região do espectro eletromagnético. Dependendo do material utilizado na fabricação de fotodiodos, estes podem ser sensíveis a diferentes regiões do espectro eletromagnético. Como por exemplo, o fotodiodo constituído de germânio é sensível à região do infravermelho, enquanto que o constituído de silício é sensível ao ultravioleta.

Um fotodiodo pode ser sensibilizado por uma lâmpada desde que duas condições sejam satisfeitas:

- A mesma deve emitir radiação eletromagnética nas frequências que estejam contidas no intervalo do espectro eletromagnético cujos fótons interagem com o fotodiodo;
- Um número suficiente de fótons interagentes deve incidir sobre o fotodiodo.

Com relação à última condição citada, pode-se destacar que a probabilidade da luz emitida por uma lâmpada capaz de sensibilizar um fotodiodo depende da

intensidade de radiação incidente sobre o mesmo porque quanto maior for este valor, maior será o número de fótons que chegam ao fotodiodo. Observa-se que a intensidade depende da distância, de acordo com a equação 4.6,

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}, \quad 4.6$$

em que I corresponde à intensidade, P à potência (uma característica da lâmpada), A à área (geralmente é superfície esférica, cujo raio coincide com a distância entre a fonte e o receptor), e, d à distância da lâmpada (fonte) ao sensor (fotodiodo). Disto, pode-se concluir que se uma lâmpada emite radiação eletromagnética com frequência necessária para ativar o circuito, porém se a intensidade de radiação for muito pequena o sensor provavelmente não será acionado.

5. Materiais e Métodos

A seguir são elencados os aspectos mais relevantes referentes ao Produto desenvolvido, logo após, são discutidos alguns enfoques relativos à investigação da aplicação do mesmo em duas realidades distintas de ensino.

5.1 O Produto

O Produto, O fóton em foco: relações entre cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas, é constituído por três partes: 1) Planejamento, 2) Textos de Apoio ao Professor, e, 3) Conjuntos Experimentais. O planejamento é composto por um plano de unidade didática e por quatro Planos de Aula, observa-se que o desenvolvimento de cada Aula corresponde a duas horas-aula, deste modo a carga horária prevista para as quatro Aulas que compõe a citada unidade didática corresponde ao total de oito horas-aula. Os textos de apoio subsidiam o professor quanto aos fundamentos teóricos relacionados aos conceitos desenvolvidos em cada Aula. Os textos contemplam o efeito fotoelétrico, a fotoemissão em um LED, um método para determinar a frequência da radiação emitida por um LED, e o sensor fotodiodo. Quanto aos conjuntos experimentais utilizados, respectivamente, nas Aulas 2, 3 e 4, são apresentados alguns procedimentos de montagens e construções para facilitar a utilização do material proposto. Faz-se a ressalva de que a proposição de ensino utilizada na concepção do planejamento fundamenta-se essencialmente nas teorias construtivistas da aprendizagem significativa de Ausubel e da mediação de Vygotsky [17].

Nos Planos de Aulas são apresentados os objetivos de aprendizagem esperados para os educandos e o desdobramento das ações do professor em três momentos: a) a motivação, b) o desenvolvimento, e, c) a síntese integradora. A motivação consiste em diálogos para conciliar aquilo que o educando sabe e de algum modo percebe em seu contexto social com aquilo que se pretende abordar na Aula. O desenvolvimento remete-se às ações do professor frente: à exposição de proposições e conceitos novos, organização da turma para a execução de atividades, e diálogos. A síntese integradora tem papel de investigar, por meio das atividades realizadas em aula, dois aspectos:

- A aprendizagem dos conceitos e proposições por parte dos educandos em relação ao assunto trabalhado;

- E a eficácia das ações do professor quanto ao método e às estratégias de ensino adotados no sentido de facilitar a aprendizagem segundo o marco referencial teórico seguido.

Logo abaixo efetua-se uma descrição resumida das Aulas que constituem da unidade didática proposta. Para melhor compreensão a respeito dos encaminhamentos relacionados à execução de cada Aula, recomenda-se a leitura dos planos de Aulas disponíveis na seção de planejamento do Produto.

- Aula 1: A meta desta é a introdução da ideia de fóton a partir do efeito fotoelétrico. Conforme o planejamento, na motivação faz-se uma abordagem inicial a respeito de possíveis dispositivos tecnológicos que funcionam devido a algum tipo de interação com luz presentes no dia a dia dos educandos. No desenvolvimento da aula, efetua-se a discussão referente aos desdobramentos históricos desde a descoberta do efeito fotoelétrico, as controvérsias entre as previsões teóricas da Física Clássica e as observações experimentais do citado fenômeno até explicação de Einstein: o fóton emitido por uma fonte luminosa é definido como um pacote que transporta porções discretas de energia proporcional à frequência da respectiva radiação eletromagnética. No momento de síntese integradora, a atividade desenvolvida consiste na utilização de uma simulação computacional do efeito fotoelétrico [25] aliada a um questionário que tem a função de orientar a observação realizada via simulação. A finalidade da atividade é a percepção de que o fóton possui energia proporcional à frequência da radiação eletromagnética, e, para a luz visível, a frequência pode ser associada à cor da luz emitida.
- Aula 2: Esta tem por foco a descrição do funcionamento de LEDs. No momento da motivação efetua-se um levantamento dos conceitos vistos na Aula 1 e o reconhecimento de possíveis situações do cotidiano que os educandos verificam o uso de LEDs. No desenvolvimento, o funcionamento do LED é explicado a partir da concepção de níveis de energia nos átomos até a ideia de bandas de energia nos sólidos. A cor da luz emitida é relacionada à largura da banda proibida (GAP) do LED. Por fim, apresenta-se a proposição de que quanto mais larga for a banda proibida de um LED, maior será a energia dos fótons emitidos pelo mesmo, então, da definição de energia dos fótons emitidos, apresentada na Aula 1, conclui-se que quanto maior a energia dos fótons emitidos, maior será a frequência da respectiva radiação eletromagnética. Na síntese integradora

propõe-se uma atividade realizada em duas etapas: – a primeira é uma experiência mental, cujo objetivo é a elaboração de hipóteses referentes à probabilidade de um elétron ser conduzido por determinado LED associado em paralelo com outros três, sendo que cada LED emite frequência correspondente a uma cor (vermelho, amarelo, verde ou azul), e a segunda consiste no teste experimental com o circuito real, no teste os educandos deverão verificar se as hipóteses elaboradas na primeira etapa concordam com as observações experimentais. Da atividade realizada pretende-se a compreensão de que a energia dos fótons emitidos por um LED é proporcional à frequência da radiação emitida, e que a frequência pode ser conectada à cor. Neste sentido, pretende-se que os conceitos adquiridos na Aula 1, sejam modificados e tenham seus significados ampliados na estrutura cognitiva do Educando.

- Aula 3: Ao contrário da Aula 2, cujo enfoque é de caráter qualitativo, nesta desenvolve-se uma abordagem quantitativa cujo enfoque é determinar experimentalmente o valor da frequência emitida por um LED. Na motivação realiza-se um questionamento a fim de resgatar os elementos conceituais abordados nas Aulas 1 e 2. A meta, neste primeiro momento da aula, é que os educandos apontem a definição de energia de um fóton e a relação entre a largura da banda proibida de um LED, a cor da luz emitida e o valor da respectiva frequência. No desenvolvimento, parte-se da definição de energia do fóton, trabalhada na Aula 1, e, ampliada na Aula 2, que os educandos, em princípio, citaram no momento anterior aliada à definição de energia para transportar uma carga elétrica pelo LED submetido a certa diferença de potencial elétrico, então é introduzida a ideia de potencial de corte a partir de um esboço do gráfico corrente versus tensão em um diodo emissor de luz. Disto, obtém-se uma expressão para calcular a frequência da luz emitida por um LED a partir do potencial de corte. Na sequência, os educandos são organizados em grupos, cada grupo recebe um conjunto experimental com um LED que emite radiação eletromagnética no intervalo correspondente ao infravermelho, ao vermelho, ao azul ou violeta e. efetuam medidas de pares de corrente e tensão nos terminais do LED que receberam. Recomenda-se a construção do gráfico em um software de planilha eletrônica e a distribuição dos mesmos, impressos, para os educandos, estes por sua vez obtém o potencial de corte do LED a partir do gráfico e calculam a frequência da luz emitida pelo referido diodo. Por fim, na

síntese integradora todos os resultados são comparados com as previsões teóricas. Neste momento, são comparados os dados obtidos quantitativamente com as conclusões e hipóteses consolidadas qualitativamente na Aula 2.

- Aula 4: A última Aula desdobra-se com a intenção de determinar experimentalmente a região do espectro eletromagnético cujas frequências da radiação incidente sensibilizam um sensor fotodiodo. Na motivação da aula, é apresentado um circuito retirado do interior de uma vela que muda de cor, o circuito possui três LEDs (vermelho, verde e azul) que brilham alternadamente imprimindo cores diferentes na vela, o circuito é ativado por um sensor fotodiodo quando certo tipo de radiação incide sobre o mesmo. Ainda neste primeiro momento, questiona-se à turma sobre como se dá o acionamento do circuito mostrado. Após a discussão inicial, no desenvolvimento, o fotodiodo é comparado com o olho humano que é sensível a uma região muito estreita do espectro eletromagnético. Na sequência da aula, os educandos são organizados em grupos formulam hipóteses sobre o funcionamento do fotodiodo. Em seguida, cada grupo efetua testes experimentais expondo o circuito citado à luz de diferentes lâmpadas. Nesta etapa, os educandos sistematizam toda a observação realizada e retornam aos lugares e comparam as hipóteses iniciais com as observações realizadas com as lâmpadas. Na síntese integradora, o professor discute com toda a turma sobre as constatações das atividades e verifica quais foram as mudanças das proposições iniciais decorrente das observações experimentais. No final da aula, o professor propõe o teste com uma fonte de radiação correspondente ao infravermelho, o LED do controle remoto de uma TV, ao incidir a luz do LED do controle remoto sobre o fotodiodo o circuito é ativado. Este teste é mencionado como uma das possíveis aplicações de interações da luz com a matéria aplicada às tecnologias presentes no cotidiano dos educandos, como por exemplo, a comunicação entre o emissor do controle remoto (LED) e o receptor da TV (fotodiodo). Nesse contexto, pergunta-se quais seriam as possíveis consequências de um fotodiodo de um televisor ser sensível à luz visível.

5.2 A investigação referente à aprendizagem

A avaliação foi o meio utilizado para investigar o aprendizado de ideias e conceitos relacionados aos objetivos propostos na unidade didática. Os critérios de

avaliação foram estabelecidos em conformidade com o marco referencial teórico que orientou o planejamento das ações docentes.

De modo geral, a avaliação ocorreu de forma escrita e oral. Na forma escrita, observou-se as respostas a questionários, as anotações relativas às atividades experimentais, a formulação e a sistematização de hipóteses relativas à investigação de situações problema propostas. Na forma oral, que ocorreu de modo mais geral e abrangente nos momentos de síntese integradora, aconteceu por meio de questionamentos referentes aos objetivos específicos.

No caso de ocorrência de erros conceituais, houve diálogo com toda a turma no sentido de resgatar os detalhes teóricos vistos anteriormente e conciliá-los com as observações desenvolvidas. Além das formas escrita e oral, verificou-se a capacidade de resolução de situações problemas e a realização das atividades previstas.

Quanto aos aspectos quantitativos, verificou-se as respostas às atividades propostas em cada Aula. De outro lado, a análise referente aos aspectos qualitativos ocorreu de forma contínua, de modo que não foram consideradas apenas as respostas finais, mas também foram levados em conta os meios pelos quais os educandos se utilizaram para responder às atividades propostas.

A seguir são destacados os elementos essenciais observados em relação ao processo de avaliação desenvolvido em cada Aula.

- Avaliação 1: Ocorreu na forma escrita por meio do questionário utilizado na síntese integradora. Ocorreu na forma oral de acordo com as respostas dos educandos na correção do respectivo questionário. Como referência, espera-se que os educandos concluam que a propagação de uma radiação eletromagnética pode ser descrita como uma emissão de partículas denominadas fótons e que os fótons transportam energia proporcional à frequência da radiação eletromagnética, deste modo, para a luz visível, a energia dos fótons pode ser relacionada à cor da luz emitida.
- Avaliação 2: Ocorreu na forma escrita por meio das anotações referentes aos questionamentos propostos na etapa da experiência mental e por meio das modificações das mesmas após a observação experimental realizada na segunda etapa. Ocorreu na forma oral de acordo com as respostas dos educandos no levantamento das mesmas após a realização da atividade proposta. Como referência, espera-se que os educandos concluam que quanto maior for a frequência da luz emitida por um LED, menos provável será a

emissão de um fóton pelo mesmo quando comparado com outro que emite luz de menor frequência.

- Avaliação 3: Ocorreu na forma escrita por meio da coleta de dados experimentais para a construção do gráfico, da obtenção do potencial de corte do LED utilizado por meio do gráfico construído e do cálculo da frequência da luz emitida pelo LED utilizado. Ocorreu na forma oral de acordo com as observações apontadas pelos educandos na síntese integradora após a análise dos resultados da atividade experimental. Como referência, espera-se que os educandos verifiquem as relações entre a frequência da luz emitida por um LED, a cor da luz emitida, e, a energia dos fótons emitidos.
- Avaliação 4: Ocorreu na forma escrita por meio da formulação de hipóteses para responder aos questionamentos propostos e pelas respostas finais após as observações experimentais. Ocorreu na forma oral, de acordo com as respostas dos educandos no levantamento das mesmas após a realização da atividade proposta. Como referência, espera-se que os educandos concluam que o fotodiodo é sensível à região do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho.

5.3 A investigação referente ao método de ensino

Com relação ao método de ensino utilizado durante a aplicação do produto, procurou-se investigar a eficácia das ações executadas enquanto professor, no sentido de facilitar: 1) a captação de significados aos conceitos trabalhados via interações sociais, conforme a teoria da mediação de Vygotsky e 2) a aprendizagem significativa de proposições e conceitos por interações de informações novas com subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva do educando, segundo a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

Com relação à teoria de Vygotsky, efetuou-se a proposição de atividades que cuja finalidade consistiu na negociação de significados de conceitos explorados ao longo das Aulas, deste modo foram analisados os meios pelos quais os educandos utilizaram para resolver as situações-problema propostas.

De outro lado, quanto à teoria de Ausubel, efetuou-se o levantamento de conhecimentos prévios dos educandos necessários para a aplicação do Produto. Das atividades propostas nas aulas foram observados os aspectos que levaram os

educandos a refletir sobre conceitos vistos anteriormente para responder às problemáticas postas nas aulas.

Outro aspecto analisado, referente às ações do professor no processo de ensino-aprendizagem, foi o emprego de diferentes estratégias experimentais relacionadas à inserção de tópicos de FMC na EB. Neste contexto, as atividades foram analisadas e classificadas de acordo com as categorias de análise citadas por Araújo e Abib [8].

Destaca-se que a ocorrência de erros conceituais, frente aos objetivos propostos, de modo que se verificou: 1) a incidência de erros na fala dos educandos nos momentos de síntese das Aulas, bem como, 2) a eficácia das ações desenvolvidas, a saber, a interação dialogada, a revisão conceitual e/ou a retomada de alguma etapa das atividades realizadas, para:

- Reconciliar os conceitos abordados teoricamente com as observações e conclusões originadas a partir das atividades desenvolvidas em sala;
- Mediar o processo de captação de significados e negociações dos mesmos via diálogo com os educandos.

5.4 A concepção de avaliação

Diante do exposto e baseado em interpretações das ideias referentes ao ensino conforme as teorias de Ausubel e de Vygotsky [17], a avaliação, na perspectiva de aprendizagem significativa, não pode ser reduzida à aplicação de testes, sejam escritos ou orais, cuja finalidade é mensurar o quanto um indivíduo aprendeu sobre algo. Haja vista que a pura memorização, sem a atribuição de significados às novas informações com relação aos conceitos prévios da estrutura cognitiva do educando, é característica de uma avaliação mecânica.

Destaca-se que a avaliação também não pode ser restrita meramente às funções burocráticas e/ou demandas administrativas para determinar se o educando será aprovado ou reprovado em determinada disciplina. Como por exemplo, pode-se refletir a respeito de um caso hipotético no qual um educando gabaritou um teste sobre determinado assunto trabalhado em sala de aula, a partir da nota atribuída ao teste, pouco, talvez até nada se possa afirmar sobre a ocorrência de aprendizagem significativa.

Deste modo a avaliação adotada no Produto pode ser descrita como o instrumento cujas finalidades possibilitem:

- Com relação ao ensino
 - Efetuar o levantamento de conceitos preexistentes da estrutura cognitiva dos educandos;
 - Rever a própria prática e planejar-se para que as suas ações facilitem a ocorrência de aprendizagem significativa por parte dos educandos;
 - Identificar as dificuldades conceituais dos educandos e utilizar estratégias de ensino para saná-las;
 - Detectar erros e mediar o processo via diálogos e negociações de significados para a minimização dos mesmos;
 - Analisar a eficácia das estratégias de ensino utilizadas e investigar a potencialidade das mesmas quanto ao processo de ensino--aprendizagem.
- Aos educandos
 - Resolver situações-problema;
 - Efetuar negociação de significados via interações sociais;
 - Realizar interações entre novas informações e subsunçores da própria estrutura cognitiva no contexto da aprendizagem significativa;
 - Rever conceitos prévios da própria estrutura cognitiva e ampliá-los ao resolver situações problema;
 - Assumir um papel ativo no processo de aprendizagem;
 - Desenvolver o diálogo educando-educando e educando-professor;
 - Apontar dificuldades conceituais, como por exemplo, expor dúvidas com relação à interpretação de determinado conceito abordado nas aulas.

Para resolver a problemática da avaliação em relação às funções burocráticas e/ou demandas administrativas, a quantificação de notas ao longo das atividades obedeceu três critérios: a) presença, b) participação, e, c) cumprimento das atividades propostas. Deste modo, os educandos que contemplaram os critérios citados, obtiveram pontuação parcial no sistema de notas de acordo com o estabelecido nos projetos políticos pedagógicos das instituições de ensino nas quais houve aplicação do mencionado Produto.

6. Resultados e Discussões

O Produto foi aplicado em duas realidades de ensino distintas. A primeira aplicação ocorreu entre 27 de outubro e 5 de novembro de 2015, em duas turmas de segunda série do ensino médio, 2ª A e 2ª B, do período matutino de um colégio particular, C1, situado na cidade de Ponta Grossa (PR), o número de educandos nas turmas A e B, eram 25 e 27, respectivamente. A segunda aplicação ocorreu entre 4 a 27 de abril de 2016, em duas turmas de segunda série do ensino médio, 2ª F e 2ª G, do período noturno de um colégio público, C2, também situado na cidade de Ponta Grossa, o número de educandos nas turmas F e G, eram 30 e 32, respectivamente. Os educandos do colégio C1 tinha idades entre 15 e 16 anos e não trabalhavam. De outro lado, os educandos do colégio C2 apresentavam faixa etária muito variada, quase a totalidade dos educandos das turmas F e G trabalhava no contra turno e apresentava idade acima da prevista para a série.

A seguir, são apontados os relatos decorrentes das aplicações do Produto nas realidades de ensino citadas. Em ambas as realidades de ensino, colégios C1 e C2, efetuou-se um levantamento de conceitos prévios da estrutura cognitiva dos educandos, este levantamento deu-se após a abordagem de tópicos relacionados à ondulatória nas aulas de Física. Tal investigação ocorreu por meio de questionamentos orais direcionados aos educandos a respeito de conceitos relacionados ao conteúdo programático proposta na unidade didática do Produto Educacional. Verificou-se que os educandos conheciam os conceitos de: luz como onda eletromagnética, amplitude, período, frequência, comprimento e velocidade de propagação de ondas, elétrons e níveis de energia nos átomos. A maioria dos educandos tinha ouvido falar sobre fótons, ou até mesmo sobre o efeito fotoelétrico, no entanto não se pronunciaram quanto à definição de fótons, tampouco houve explicação do efeito fotoelétrico.

Após a verificação dos conceitos prévios da estrutura cognitiva dos educandos, foi solicitado que os mesmos procurassem observar em seu dia a dia na cidade de Ponta Grossa, dispositivos que funcionam devido a interações da luz com a matéria. Esta atividade teve por finalidade, aumentar o nível de contextualização dos assuntos de FMC abordados a partir da Aula 1.

A seguir apresenta-se um breve relato da aplicação das Aulas, bem como uma análise dos resultados das mesmas.

6.1 Aula 1

A primeira hora-aula foi iniciada com o diálogo sobre a pesquisa referente aos dispositivos tecnológicos que funcionam devido às interações da luz com a matéria, os educandos citaram postes de iluminação pública, portas automáticas, alarmes, sistemas de segurança em indústrias etc., alguns citaram que alguns dos dispositivos citados funcionavam de acordo com princípios relacionados ao efeito fotoelétrico.

Logo em seguida, efetuou-se a apresentação do conceito de fóton a partir de uma discussão a respeito do efeito fotoelétrico. Houve exposição dialogada a respeito dos desdobramentos históricos da descoberta do referido fenômeno físico, das controvérsias entre as previsões teóricas da Física Clássica e as observações experimentais do citado efeito até a explicação de Einstein. O fóton foi descrito como um pacote que transporta porções discretas de energia proporcional à frequência da respectiva radiação eletromagnética.

Na segunda hora-aula, utilizou-se uma simulação computacional do efeito fotoelétrico [25] aliada a um questionário, cujo objetivo constituiu em destacar que os fótons têm energia proporcional à frequência, e que, para a região visível do espectro eletromagnético, esta energia pode ser associada a cor da luz emitida. No colégio C1, os educandos foram organizados em grupos e nos mesmos utilizaram a simulação para responder ao questionário, entretanto no colégio C2, devido à falta de computadores, o professor executou a simulação e solicitou que os educandos sugerissem comandos relacionados à simulação. A partir da simulação, os educandos responderam ao questionário. Em ambos os casos, efetuou-se a correção do questionário, primeiro os educandos responderam às questões oralmente, em seguida, conforme necessário, ocorreram diálogos para resgatar elementos teóricos por meio da simulação.

No Quadro 6.1 estão dispostos os dados referentes à atividade proposta na Aula 1. Percebeu-se que nas turmas A e B os educandos apresentaram acerto integral do questionário, é possível justificar tal resultado pelo fato de que nas turmas citadas, os educandos utilizaram a simulação em grupos, neste sentido, percebeu-se maior diálogo nos grupos, melhor aproveitamento da simulação e mais segurança com relação às respostas.

Nas turmas F e G ocorreram erros e dúvidas no decorrer da atividade, constatou-se maior insegurança na fala dos educandos, mesmo com relação aos

acertos, provavelmente isto se deva ao fato de que o professor operou a simulação, isto é, a utilização da simulação nas turmas F e G foi de caráter demonstrativo, deste modo houve menor aproveitamento do recurso utilizado por parte dos educandos.

Quadro 6.1: Resultados do questionário aplicado na Aula 1

Turma	Questões	1	2	3	4	5	6	7	Total
A	Acertos	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Correção	-	-	-	-	-	-	-	-
B	Acertos	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Correção	-	-	-	-	-	-	-	-
F	Acertos	100 %	100 %	100 %	80 %	100 %	70 %	70 %	89 %
	Correção	-	-	-	100 %	-	100 %	100 %	100 %
G	Acertos	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	88 %	88 %	96 %
	Correção	-	-	-	-	-	100 %	100 %	100 %

Fonte: O Autor

A detecção de erros e dúvidas teve papel importante para a recuperação de conceitos, tal recuperação aconteceu durante a correção do questionário por meio de discussão dialogada com todos nas quatro turmas. O professor mediou o diálogo e solicitou que as respostas e eventuais dúvidas fossem expostas pela turma em uma discussão mais ampla. Neste sentido os educandos responderam às questões apresentadas e conforme solicitavam ao professor, os parâmetros de intensidade e comprimento de onda da simulação foram variados, deste modo a simulação teve função além de mera demonstração, mas sim, de instrumento de investigação e teste de proposições para reestruturação e coerência das respostas.

De modo generalizado, é possível inferir que houve aprendizagem significativa subordinada da proposição de fóton a partir de subsunçores mais inclusivos como energia e frequência. No término da Aula 1, os educandos explicaram o fóton como um pacote de energia proporcional à frequência da luz emitida e citaram que há uma relação entre a energia dos fótons, a frequência e a cor da luz emitida por uma fonte luminosa.

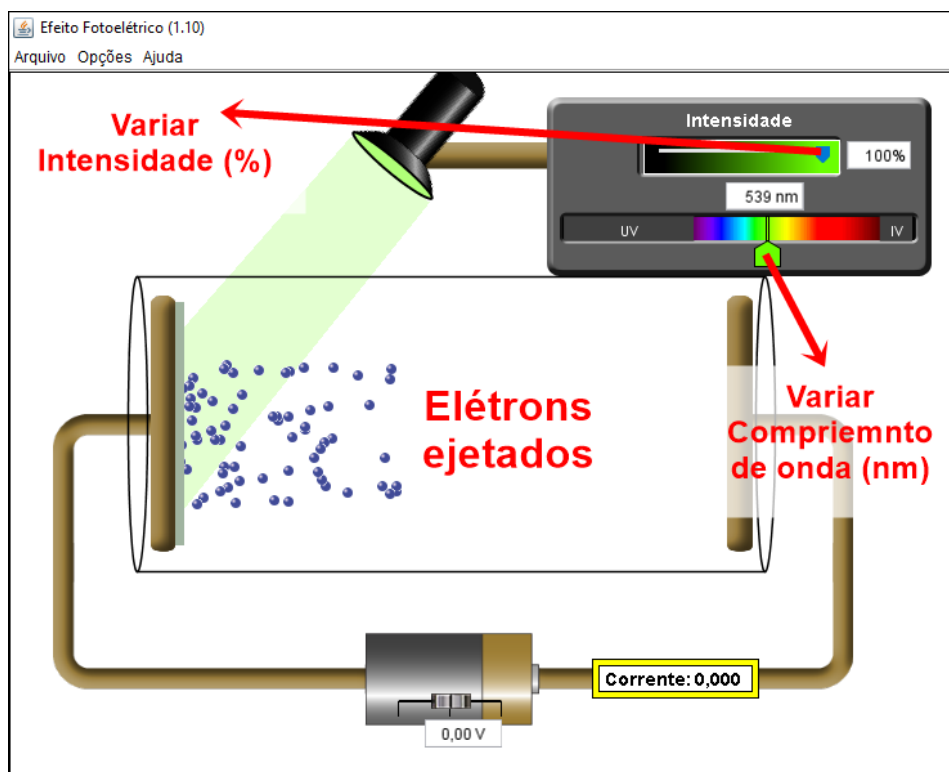
Com relação à teoria da mediação de Vygotsky, a discussão dialogada entre os envolvidos na aula indica a mediação via interação entre professor e educando com a finalidade de, possivelmente, promover negociação de significados dos conceitos trabalhados em aula. Também houve interações entre os educandos nos grupos e na discussão geral durante a correção. Destaca-se que as discussões foram válidas como meio para a aprendizagem de conceitos relacionados à ideia de fóton.

Em contraste com os diálogos, muitos educandos contentaram-se com a compreensão mais superficial, isto é, interagiram o necessário para compreender minimamente as respostas. Talvez não só isso, mas também as dificuldades em responder e em participar mais ativamente da discussão seja uma consequência do condicionamento imposto pelo treino atribuído às avaliações mecânicas na vivência escolar.

Quanto às categorias de análise apresentadas por Araújo e Abib [8], a atividade desenvolvida na Aula 1, a ênfase matemática foi de caráter qualitativo. O grau de direcionamento foi de investigação nas turmas A e B, e apresentou características de demonstração e de investigação nas turmas F e G. Houve utilização de novas tecnologias por meio da simulação computacional do efeito fotoelétrico mostrada na Figura 6.1.

Na atividade em si não houve montagem de experimentos, nem contextualização direta, no entanto, houve relação dos conceitos abordados em sala com o dia a dia dos educandos durante o momento de motivação, no qual efetuou-se o levantamento de dispositivos tecnológicos cujo funcionamento acontece devido a algum tipo de interação da luz com a matéria.

Figura 6.1: Simulação computacional utilizada na Aula 1



Fonte: O Autor

Nos diálogos desenvolvidos nas turmas F e G, contatou-se dificuldade por parte dos educandos em relacionar a energia cinética dos elétrons ejetados da superfície metálica à velocidade dos mesmos, isto poderia ser levado em conta durante a investigação referente aos subsunçores da estrutura cognitiva dos educandos.

6.2 Aula 2

No início da terceira hora-aula, Aula 2, houve um diálogo a respeito dos conceitos trabalhados na Aula 1, no diálogo os educandos explicaram o efeito fotoelétrico, citaram que o fóton é uma partícula que transporta energia proporcional à frequência da onda luminosa e que esta pode ser relacionada à cor luz. Logo depois houve um questionamento a respeito do reconhecimento de dispositivos nos quais são utilizados LEDs no dia a dia, como resposta, os educandos citaram semáforos de trânsito, lanternas, flashes de câmeras fotográficas, celulares, lâmpadas, TVs e automóveis.

Em seguida, discutiu-se a respeito de alguns tópicos teóricos que explicam o funcionamento dos LEDs (diodos emissores de luz), partiu-se da explicação de níveis de energia nos átomos até a concepção de bandas de energias nos sólidos. O diodo emissor de luz foi explicado como a junção de dois materiais semicondutores com uma barreira de potencial eletrostático na junção. A cor da luz emitida foi atribuída à largura da banda proibida do LED. Por sua vez, a largura da banda proibida (energia necessária para que um elétron seja promovido da banda de valência para a banda de condução), foi relacionada à energia dos fótons emitidos pelo LED. Deste modo, houve comparação da cor da luz emitida (relacionada à frequência) com a largura da banda proibida dos LEDs.

Na quarta hora-aula, Aula 2, os educandos foram organizados em grupo e ocorreu a realização de uma atividade em duas etapas, a primeira consistiu em um experimento mental em que se teve por objetivo promover uma discussão referente à probabilidade de um elétron receber energia proveniente de uma bateria e provocar a emissão de um fóton em um LED que emite determinada cor de luz.

Na segunda etapa, ocorreu o teste com o circuito no qual quatro LEDs que emitem cores diferentes (vermelho, amarelo, verde e azul) foram associados em paralelo e alimentados pela mesma bateria. Na execução dos testes com o circuito,

os educandos efetuaram a montagem do circuito e manipularam o mesmo, os LEDs foram retirados e acrescentados ao circuito em diferentes ordens.

Após a execução dos testes houve uma discussão e comparação das observações experimentais com os aspectos teóricos discutidos na etapa mental. Em seguida, ainda em grupos, os educandos reformularam suas respostas iniciais e discutiram com toda a turma, de forma generalizada, os educandos responderam que para o LED associado no circuito que emite luz de menor frequência, portanto de banda proibida mais estreita, mais provável é a emissão de fótons, logo maior é o brilho da luz emitida pelo respectivo LED, esta conclusão é válida para dois ou mais LEDs associados no circuito utilizado na aula.

No Quadro 6.2 são apresentados os dados referentes à pergunta proposta na Aula 2a respeito da probabilidade de um elétron emitir um fóton ao ser conduzido em um LED que emite determinada cor de luz. Pode-se observar que o nível de acerto geral na etapa do experimento mental, primeira etapa da Aula 2 foi de 45 %, deste resultado, pode-se afirmar que os educandos apresentaram maior dificuldade para responder à problemática. Da dificuldade em responder corretamente ao questionamento apresentado, conclui-se que no experimento mental os educandos ainda não tinham compreendido muito bem os aspectos teóricos relacionados à fotoemissão em um LED.

Quadro 6.2: Resultados da atividade aplicada na Aula 2

Turma	Etapa	Respostas					Acerto da Turma
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	
A	Experimento Mental	Vermelho	Azul	Azul	Vermelho	Todos iguais	40 %
	Após os Testes	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	100 %
B	Experimento Mental	Vermelho	Vermelho	Azul	Azul	Vermelho	60 %
	Após os Testes	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	100 %
F	Experimento Mental	Todos iguais	Azul	Vermelho	Azul	Vermelho	40 %
	Após os Testes	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	100 %
G	Experimento Mental	Azul	Todos iguais	Todos iguais	Vermelho	Vermelho	40 %
	Após os Testes	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	100 %

Fonte: O Autor.

Antes dos testes com o circuito, aconteceu interação dialogada apenas entre os educandos de cada grupo, no entanto tal diálogo inicial não foi suficiente para que a maioria dos educandos respondesse corretamente à questão proposta na etapa 1.

Na etapa dos testes com o circuito os educandos apresentaram maior curiosidade para verificar se tinham respondido corretamente à etapa 1. A reação de muitos foi de surpresa ao verificar que o LED que emite luz vermelha brilhava mais intensamente que os outros. Nos testes, os educandos foram retirando os outros LEDs, um a um, de modo que o diodo emissor de luz azul só acendia quando os outros LEDs estavam desconectados do circuito.

Das observações com a utilização do circuito, os educandos assumiram papel mais ativo na resolução da atividade proposta. A tarefa neste ponto da Aula 2 remeteu-se à discussão entre os integrantes de cada grupo para confrontar as observações experimentais com as hipóteses formuladas na etapa anterior, e responder à problemática proposta. Deste modo, os educandos refletiram sobre os aspectos teóricos abordados nas Aulas 1 e 2. Nesta etapa, os diálogos desenvolveram-se nos grupos de modo que os educandos se preocuparam em explicar suas observações experimentais a partir das discussões referentes ao funcionamento de LEDs e dos conceitos trabalhados na Aula 1. Das respostas compartilhadas nas turmas, os educandos citaram que é mais provável ocorrer emissão de fótons no LED que emite luz vermelha porque a energia é proporcional à frequência e quanto menor a frequência menor a energia.

Após a discussão com a turma, foi solicitado aos educandos que elaborassem uma resposta geral com a participação de toda a turma para responder à problemática apresentada na etapa 1 da atividade desenvolvida na Aula, para tanto, os educandos levaram em conta as observações realizadas com o experimento durante a etapa 2 e as colocações apresentadas na discussão com toda a turma. Os educandos concluíram que é mais provável que um elétron seja conduzido e provoque a emissão de um fóton no LED que: possui banda proibida mais estreita; emite luz de menor frequência; emite fótons de menor energia. Alguns educandos concluíram também que se fosse adicionado um LED emissor de infravermelho, seria bem provável que os outros LEDs do circuito apresentado não acendessem.

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, organizadores prévios na forma de esquemas construídos na lousa foram introduzidos para explicar o funcionamento do diodo emissor de luz por meio de representações

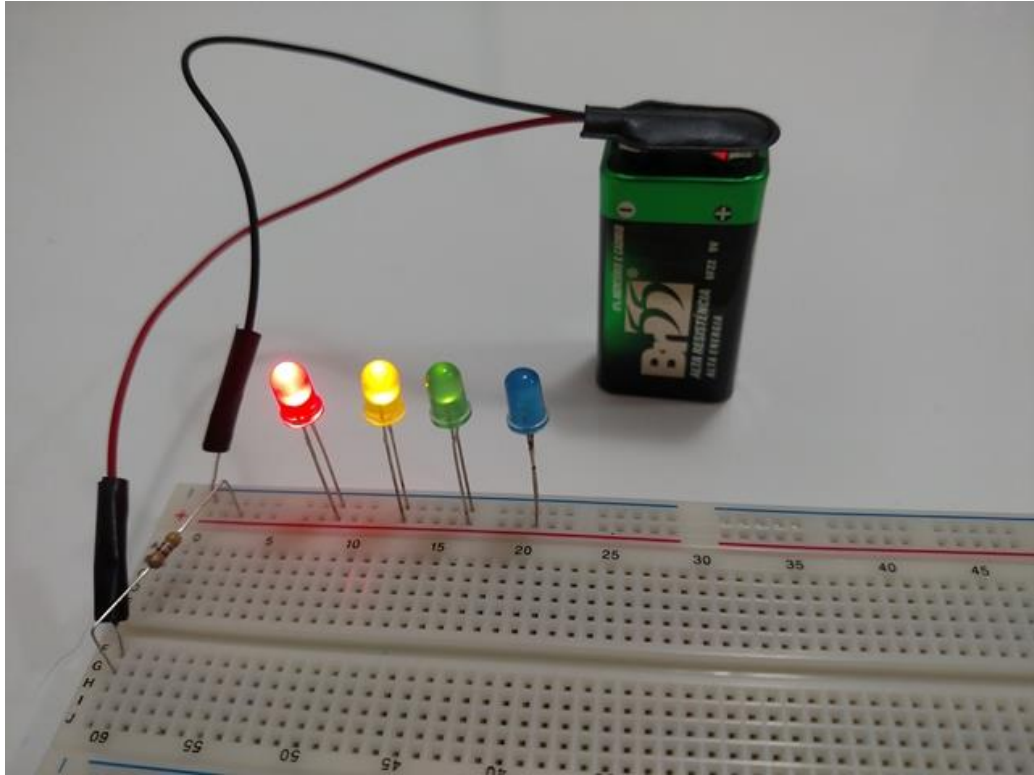
relacionadas às bandas de energia em um sólido, ao diodo como a junção pn de dois materiais semicondutores e à condução de corrente elétrica em materiais semicondutores. São citados os conhecimentos prévios necessários para o desenvolvimento da Aula 2: níveis de energia nos átomos, condutores e isolantes elétricos, corrente elétrica, energia dos fótons emitidos por uma fonte de luz e a relação entre cor e frequência de luz. No desenvolvimento da atividade da Aula 2, os educandos ampliaram os significados da relação entre cor, frequência e energia de fótons emitidos por uma fonte luminosa, neste caso o LED. Pode-se inferir que houve indícios de aprendizagem significativa subordinada da proposição de fotoemissão em um LED por meio de interações com as informações relacionadas em níveis de energia nos átomos. De mesmo modo, pode-se inferir que houve indícios de aprendizagem significativa superordenada na ampliação do significado da relação entre a cor e a frequência da luz emitida por um LED a partir de interações com os subsunçores menos inclusivos relacionados à largura da banda proibida de um LED e à definição de energia de um fóton.

Segundo a teoria da mediação de Vygotsky, assim como na Aula 1, os educandos interagiram por meio de diálogos para responder à atividade proposta, notou-se que nas quatro turmas houve maior interação entre os educandos do que na Aula 1, provavelmente isso se deva ao fato de que a atividade proposta tenha exigido maior participação e mais discussões por parte dos educandos para a elaboração das respostas, principalmente na etapa 2. Como resultado do diálogo entre os educandos houve negociação de significados para explicar as observações experimentais a partir de elementos teóricos discutidos em sala. Deste modo, a discussão generalizada em cada turma para a elaboração de uma resposta mais completa por meio da mediação aconteceu com maior interesse e participação dos educandos. Esta atividade ocorreu em uma perspectiva de ser trabalhada na ZDP porque partiu de ideias que os educandos sabiam para responder a uma situação que exigia maior nível de abstração de conceitos e generalizações.

Conforme as categorias de análise propostas por Araújo e Abib [8], a atividade realizada na Aula 2 possui ênfase matemática de caráter qualitativo, grau de direcionamento de investigação. A atividade não requer o uso de novas tecnologias. Houve relação indireta com o cotidiano dos educandos no levantamento de dispositivos tecnológicos nas quais são utilizados LEDs. A atividade consiste na montagem de um circuito mostrado na Figura 5.2, conforme indicado na seção 4.1 do

Produto. Segundo exposto anteriormente, a utilização do circuito foi importante para comparação entre as hipóteses formuladas e os elementos teóricos discutidos em sala para responder à atividade frente às observações experimentais.

Figura 6.2: Circuito utilizado na Aula 2



Fonte: O Autor

Quanto às ações do professor, destaca-se que os conceitos de condutores e isolantes elétricos, e de corrente elétrica poderiam ter sido levados em conta na investigação de conhecimentos prévios.

6.3 Aula 3

Na quinta hora-aula, Aula 3, ocorreu o resgate dos conceitos abordados nas Aulas 1 e 2, os educandos citaram a definição de energia de fótons, relacionaram a cor da luz emitida à frequência da luz e no caso dos LEDs associaram a energia dos fótons emitidos, a cor e a frequência da luz emitida à largura da banda proibida dos referidos componentes. Posteriormente, os educandos foram organizados em cinco grupos (exceto os da turma G do colégio C2, na qual foram organizados em três grupos devido ao número de educandos presentes na aula, cada grupo recebeu um conjunto experimental para montagem do circuito utilizado para determinar a

frequência da luz emitida por um LED específico (infravermelho, vermelho, vermelho de encapsulamento tingido, azul e violeta).

Os educandos foram organizados em cinco grupos nas turmas A, B e F, e em três na turma G. Nas turmas A e F, cada grupo recebeu um conjunto experimental e estes tiveram que efetuar a montagem do circuito, nas turmas B e G, os educandos receberam os circuitos montados e efetuaram trocas de alguns componentes quando necessário. Este início de aula distinto fez uma grande diferença em relação ao planejamento do professor.

Nas turmas A e F, ao apresentar os componentes do circuito e seguir com a montagem do circuito com a turma, o professor teve que demandar um tempo maior em cada grupo, uma vez que para muitos dos educandos era a primeira vez que tinham contato com alguns dos componentes utilizados e montavam um circuito. Ocorreu a exposição de dúvidas que precisaram da ação direta do professor junto aos grupos. Este fato não necessariamente é um fator negativo porque é saudável que uma ação como esta possibilite questionamentos que auxiliam o processo de ensino-aprendizagem, porém ressalta-se a adequação do tempo ao planejamento do professor de acordo com o que este planejou para a aula em questão. Devido ao fato de que os educandos das turmas B e G não terem montado o circuito, os mesmos não manipularam os componentes e o circuito como os das turmas que efetuaram a montagem. Nas turmas B e G a aula seguiu com o tempo melhor distribuído e de acordo com o que o professor havia planejado.

Para as quatro turmas, o processo seguiu com a mediação do professor para toda a turma com momentos de: explicação de conceitos envolvidos; explicação referente à função dos componentes utilizados na prática, medição e anotação de pares tensão e corrente elétricas em uma tabela para a construção de um gráfico. Vale ressaltar que em todo o processo das aulas com as duas turmas, de maneira geral, houve participação da maioria dos alunos e nos momentos em que o professor se dedicava a um grupo específico, os demais aguardavam a vez.

Na aplicação no colégio C1, os educandos tiveram acesso a um roteiro experimental antecipadamente, em função disso, apresentaram menor dificuldade para a montagem do circuito e coleta de dados experimentais. Em contrapartida, no colégio C2 observou-se que na maioria dos grupos, os educandos apresentaram algumas dificuldades e insegurança tanto para efetuar a montagem do circuito, quanto para efetuar a coleta de dados experimentais. Devido a referida dificuldade, houve

orientação individualizada em cada grupo para a montagem do circuito e coleta de dados, por isso o tempo de realização da prática experimental foi maior nas turmas do colégio C2, entretanto foi possível realizar as medidas e organização dos valores medidos em uma tabela nas quatro turmas. No término da aula, os educandos entregaram a tabela com as medidas realizadas em cada grupo.

Na sexta hora-aula, Aula 3, os educandos foram organizados nos mesmos grupos da aula anterior. Houve uma discussão referente ao porquê da atividade experimental realizada na coleta de dados, pois a partir dos dados coletados, efetuou-se a construção de gráficos necessários para o cálculo das frequências da luz emitida pelos LEDs utilizados no circuito, um gráfico para cada LED. Então, cada grupo recebeu o gráfico impresso corrente elétrica versus tensão elétrica, construído a partir dos dados coletados da aula anterior em forma de tabela.

Em seguida, houve orientação de como obter o potencial de corte, então em cada grupo foi obtido o referido valor para o LED utilizado. Em seguida, foi calculada a frequência da luz emitida pelo LED. O cálculo foi realizado a partir das definições de energia do fóton e de trabalho realizado para conduzir um elétron pelo LED.

No Quadro 6.3 estão dispostos os valores obtidos em cada grupo. No fim da aula houve comparação entre os resultados dos grupos e os respectivos intervalos teóricos previstos e os educandos fizeram relações entre a cor, a energia fotônica e a frequência da luz emitida por um LED. Destaca-se que o experimento realizado possibilitou a três grupos a determinação da frequência da luz correspondente à região do infravermelho, deste modo obteve-se a frequência de uma luz invisível ao olho humano.

Quadro 6.3: Dados da atividade proposta na Aula 3

Turma	Frequências calculadas em 10^{12} Hz				
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
	(Infravermelho)	(Vermelho)	(Vermelho tingido)	(Azul)	(Violeta)
A	265	446	422	651	748
B	258	439	424	651	742
F	274	436	426	638	715
G	---	443	426	---	735
Intervalo teórico	< 405	405-480	405-480	620-680	680-790

Fonte: O Autor

Na discussão referente aos resultados, os educandos perceberam que a frequência calculada aumentava à medida em que a região do espectro eletromagnético analisada se deslocava do infravermelho para o violeta.

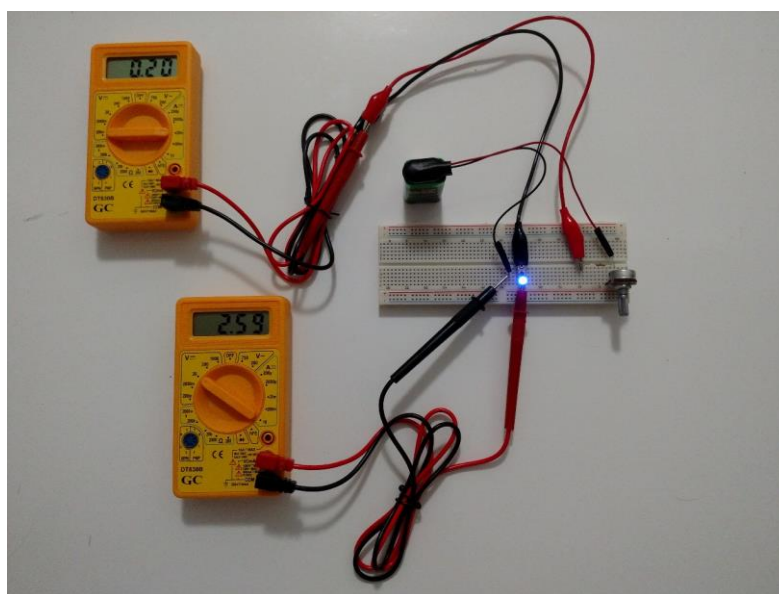
Quanto à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, na atividade experimental desenvolvida na Aula 3, as explicações do método para calcular a frequência da luz emitida por um LED e do procedimento experimental para a coleta de dados foram introduzidas na forma de organizadores prévios. As proposições de fóton e de largura da banda proibida em um dispositivo semicondutor foram ampliadas ao longo da Aula 3. Pelas afirmativas de alguns alunos, foi possível perceber que eles entenderam melhor quando se fez uso de números, ou seja, de forma quantitativa que a energia dos fótons é proporcional à frequência. Houve relação entre os experimentos das Aulas 2 e 3, no momento das discussões dos resultados houve percepção de que tanto a frequência calculada quanto o potencial de corte do LED utilizado estavam relacionados com a cor. Destaca-se que energia fotônica e a relação entre a cor e a frequência de uma radiação eletromagnética podem servir de subsunçores para a realização da atividade proposta na Aula 3.

De acordo com a teoria da mediação de Vygotsky, houve interações nos grupos, muitos educandos demonstraram-se entusiasmados em realizar a atividade proposta. Para todos, o procedimento experimental foi uma novidade, pois segundo relato dos educandos, foi a primeira vez que os mesmos vivenciaram uma aula na qual teriam que fazer medidas experimentais, só o fato da execução de medidas para resolver à problemática de calcular a frequência da luz emitida pelo LED, pode ser considerada uma atividade desenvolvida na perspectiva da ZDP de cada educando. Uma vez que alguns educandos se mostraram mais capazes em realizar a atividade e, de certo modo, coordenaram as ações da equipe para a realização das medidas e simultânea coleta de dados. Os diálogos nos grupos desenvolveram-se no sentido de executar a tarefa proposta. Durante a coleta de dados houve participação e colaboração dos integrantes dos grupos, as tarefas foram partilhadas de modo que todos participaram ativamente da prática proposta. Com relação ao fato mencionado anteriormente, de que os educandos das turmas A e B tiveram contato com um roteiro experimental antecipadamente e, em função disto, apresentaram menor dificuldade quanto à execução dos procedimentos experimentais, pode-se dizer que os mesmos tiveram um preparo a mais, no entanto isto não significa que estes não tenham experimentado interações cuja finalidade fosse a mesma dos educandos que não

tiveram contato com o roteiro antes da prática. A diferença observada foi que nas turmas A e B os educandos dependeram menos de diálogos com o professor. No diálogo desenvolvido com toda a turma durante a síntese integradora os educandos compararam os valores de frequência obtidos por cada grupo, neste diálogo houve ampliação dos significados decorrentes da relação de cor, frequência e energia dos fótons emitidos por uma fonte de radiação eletromagnética.

Conforme as categorias de análise propostas por Araújo e Abib [8], a atividade experimental desenvolvida na Aula 3 possui ênfase matemática de caráter quantitativo, no entanto houve maior destaque aos conceitos do que aos dados. Quanto ao grau de direcionamento, o experimento pode ser classificado como atividade de verificação com relação ao cálculo da frequência, todavia, pode ser classificado como atividade de investigação quando o enfoque é analisar qualitativamente e quantitativamente a relação entre cor, frequência e energia fotônica de uma radiação eletromagnética. Os educandos não utilizaram novas tecnologias para realizar a prática. Houve contextualização com relação à utilização de LEDs na Aula 2, entretanto tal relação não se deu diretamente no desenvolvimento da atividade da Aula 3. A prática experimental constitui uma montagem e utilização de circuito elétrico mostrado na Figura 6.3, o procedimento para a montagem do conjunto experimental e roteiro para o professor estão disponíveis nas seções 4.2 e 4.3 do Produto.

Figura 6.3: Circuito utilizado na Aula 3



Fonte: O Autor

Alguns educandos observaram que conforme a cor de LED que se queira utilizar em um circuito, deve-se pensar bem para usar uma fonte de tensão apropriada evitar correr o risco de que o circuito não funcione adequadamente. Muitos educandos demonstraram ter gostado de efetuar medidas, utilizar os dados coletados e comparar os resultados com previsões teóricas, alguns afirmaram ter tido uma ideia melhor sobre a ciência Física, além de fazer cálculos e cálculos dentro da sala de Aula.

Com relação às ações do professor, destaca-se que é necessário acompanhamento e supervisão dos procedimentos executados em cada grupo, ficou um pouco mais complicado tal acompanhamento nas turmas maiores, mesmo assim a realização prática proposta foi bem-sucedida em todas as turmas. Algumas instruções particularizadas para determinado grupo foram repetitivas com relação aos demais, isso ocasionou tempo de inatividade em algumas equipes que estavam travadas em alguns aspectos e aguardavam o atendimento pelo professor para dar continuidade à realização da atividade, portanto deve-se prever algumas dificuldades e tratá-las de modo generalizado com a turma toda para não comprometer o tempo da aula. Quanto à montagem dos circuitos, se esta for realizada pelos educandos, então o tempo de montagem deve ser levado em conta no planejamento da atividade para não prejudicar o desenvolvimento da mesma. Além do fator tempo, pode-se considerar que é mais provável a ocorrência de maior exploração tanto do circuito, quanto dos componentes utilizados se a montagem for efetuada pelos educandos.

6.4 Aula 4

No início da sétima hora-aula, Aula 4, utilizou-se um circuito com três LEDs que emitem luz visível (vermelho, verde e azul), removido de uma vela que muda de cor, o circuito foi acionado quando um sensor fotodiodo conectado ao mesmo ficava exposto próximo à chama de uma vela, e, no caso das turmas do turno A e B, o circuito também era ativo quando o fotodiodo ficava exposto à luz do dia. Então, questionou-se como se dava a ativação do circuito mostrado, muitos responderam que o circuito funcionava com luz, outros disseram que podia ter algo relacionado com calor.

Os educandos foram organizados em cinco grupos, cada grupo recebeu uma folha para a realização das atividades da Aula 4. Na primeira atividade, elaboraram uma hipótese relacionada ao funcionamento do sensor fotodiodo no circuito. Na segunda atividade proposta, os educandos expuseram o circuito à luz de cinco lâmpadas diferentes, duas fluorescentes, uma incandescente, uma negra e uma LED,

dispostas em uma caixa, cada lâmpada poderia ser ativada individualmente, conforme a seção 4.4 do Produto. Nas observações os educandos poderiam variar a distância entre o sensor do circuito e as lâmpadas, durante as observações deveriam ser anotadas as regularidades observadas de acordo com os testes experimentais.

Cada grupo efetuou os testes durante o tempo aproximado de três minutos, de modo que apenas os integrantes de cada grupo poderiam observar os testes realizados na caixa que ficava de costas para o restante da turma, no início das atividades foi combinado que os educandos trocariam informações entre os grupos e que não haveriam interações entre os grupos sem expressa orientação.

Após a realização das observações com a caixa, os educandos retornaram aos lugares e realizaram a terceira atividade, na qual reformularam a hipótese inicial de acordo com as observações realizadas com as lâmpadas, então as hipóteses reestruturadas foram apresentadas à turma em uma discussão geral, nas quatro turmas os educandos chegaram à conclusão de que aquele fotodiodo seria sensível às radiações eletromagnéticas com frequências correspondentes à região do infravermelho. No final da aula foi usado um controle remoto comum de aparelho televisão com um LED que emite infravermelho, o circuito era ativado quando um botão qualquer do controle era pressionado, com o LED do controle apontado para o sensor.

Por fim, foi discutido o motivo de um LED que emite infravermelho ser utilizado em um controle remoto, a conclusão generalizada foi que, caso o sensor da TV fosse sensível à luz visível, seria bem complicado o funcionamento de qualquer dispositivo que também ficasse exposto à luz visível. Na oitava hora-aula, Aula 4, buscou-se realizar a reconciliação integrativa segundo a perspectiva de Ausubel. Neste sentido, foram retomados os conceitos abordados em sala ao longo das Aulas 1, 2 e 3, discutiu-se sobre a importância dos conceitos estudados para a sociedade e a utilização de tecnologias nas quais estão presente alguns princípios relacionados às interações da luz com a matéria.

Alguns exemplos relacionados ao dia a dia dos educandos foram citados: O desligamento automático das lâmpadas de postes públicos quando amanhece, o abrir de portas automaticamente quando uma pessoa se posiciona próximo às mesmas, os dispositivos de segurança nas portas de elevadores, sistemas de alarme etc.. Então, houve um levantamento a respeito da avaliação das aulas realizados por parte dos educandos. Muitos afirmaram importante para o aprendizado a utilização de

experimentos. Outros afirmaram que gostaram de interagir com os experimentos, pois era diferente de uma rotina normal de sala de aula à qual estravam acostumados.

No Quadro 6.4 estão os dados das hipóteses elaboradas pelos educandos antes e após os testes com o circuito exposto à luz das lâmpadas na caixa. De modo geral, das hipóteses iniciais, 40 % dos grupos cogitou que o circuito deveria ser acionado pela luz visível, uma vez que a chama da vela também emite luz visível, 30 % das equipes propôs que o circuito seria ativado quando exposto à radiação correspondente ao infravermelho, pois acreditavam que a causa da ativação do circuito poderia ter algo relacionado à emissão de calor, e 30 % dos grupos ponderou que a radiação eletromagnética que liga o circuito corresponde ao ultravioleta, visto que quanto maior for a frequência da luz, maior deverá ser a energia dos fótons emitidos.

Após os testes com as lâmpadas, a primeira região do espectro a ser descartada pelos grupos foi a do visível, os educandos ficaram na dúvida entre o infravermelho e o ultravioleta, no entanto devido aos testes com a lâmpada negra, eliminaram a possibilidade do ultravioleta. O fato de que o circuito era ativado quando muito próximo das lâmpadas foi observado em todos os grupos, mas não foi explicado em nenhum.

Quadro 6.4: Dados da atividade proposta na Aula 4

Turma	Etapa	Hipóteses					Acerto da Turma
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	
A	Antes dos Testes	Visível	Visível	UV	UV	UV	0 %
	Após os Testes	IV	IV	IV	IV	IV	100 %
B	Antes dos Testes	Visível	UV	UV	IV	Visível	20 %
	Após os Testes	IV	IV	IV	IV	IV	100 %
F	Antes dos Testes	IV	Visível	IV	IV	Visível	60 %
	Após os Testes	IV	IV	IV	IV	IV	100 %
G	Antes dos Testes	UV	Visível	IV	Visível	IV	40 %
	Após os Testes	IV	IV	IV	IV	IV	100 %

Fonte: O Autor.

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, no início da Aula 4, a partir da concepção dos educandos a respeito do funcionamento de

sensores de luz e possíveis aplicações dos mesmos no cotidiano, o funcionamento do dispositivo fotodiodo foi introduzido na forma de organizador prévio, para tanto, o referido componente foi relacionado a um sensor biológico de luz: o olho humano. No diálogo ocorrido no desenvolvimento da Aula, os educandos reconheceram que o olho humano é sensível à determinado intervalo do espectro eletromagnético denominado região visível, portanto somente fótons com frequências compreendidas na região do visível podem ser percebidos pelo olho humano.

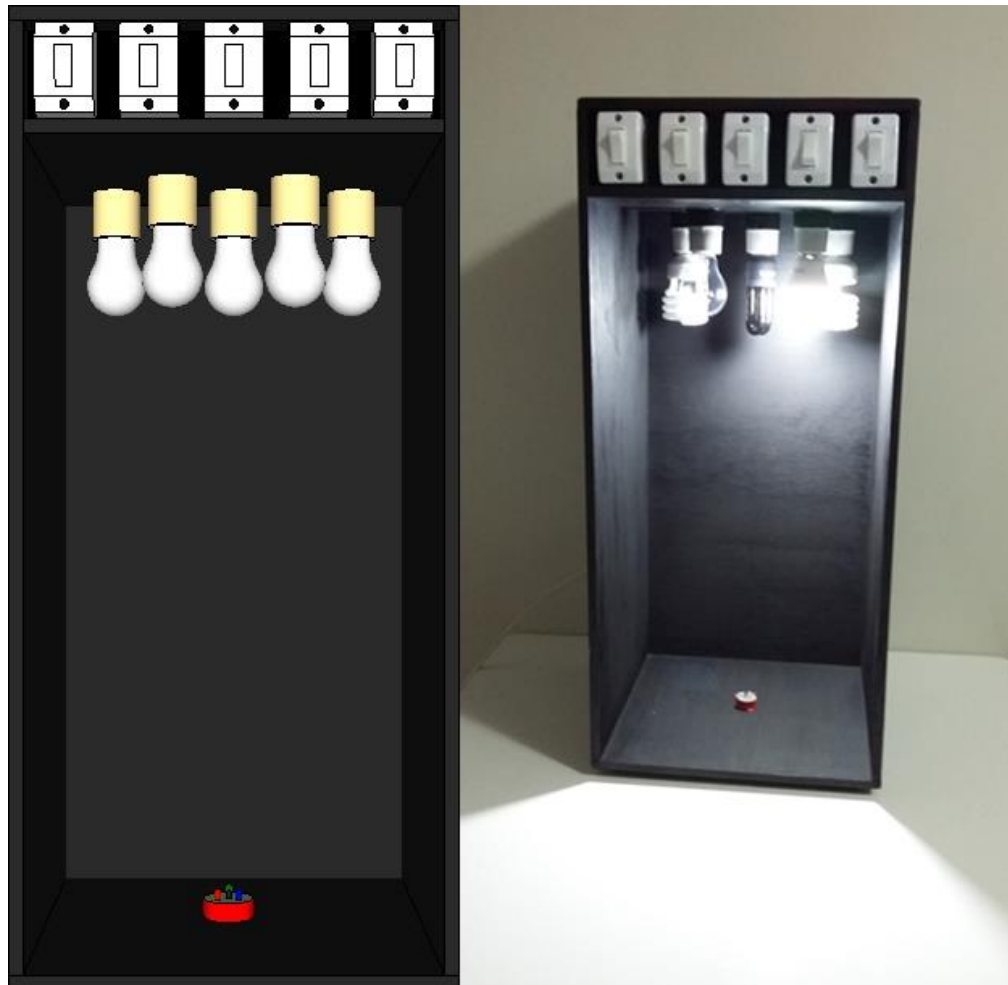
Durante estruturação de hipóteses efetuada antes dos testes com as lâmpadas, os educandos recorreram a alguns conhecimentos prévios que possivelmente atuam para identificar qual seria a região do espectro eletromagnético cujas frequências sensibilizam o sensor fotodiodo. Após as observações experimentais, os educandos efetuaram comparações entre as hipóteses iniciais e as observações experimentais, deste modo as hipóteses iniciais referentes ao funcionamento do fotodiodo foram reestruturadas, para isso, ocorreram novas interações entre informações da estrutura cognitiva dos educandos, em decorrência de tais interações, e a partir da fala dos educandos, pode-se inferir indícios de que houve aprendizagem significativa subordinada do funcionamento do fotodiodo com relação à fotoemissão em LEDs e à concepção do olho humano como um sensor de luz biológico.

Conforme a fala de alguns educandos no momento das discussões gerais após a reestruturação das hipóteses nos grupos, foi possível perceber que houve percepção de que fótons com energia proporcional a determinadas frequências interagiriam com o fotodiodo, e, de acordo com as discussões nos grupos após os testes experimentais, de modo geral, nas quatro turmas de aplicação do Produto, os educandos propuseram que o fotodiodo deveria ser sensível a fótons cuja frequência associada corresponde ao infravermelho. Também houve citação por parte dos educandos de que em alguns casos seria mais provável que o circuito fosse ativado quanto maior fosse o número de fótons com frequências correspondentes ao infravermelho que incidissem sobre o referido sensor, deste modo ocorreu ampliação da relação entre a intensidade de radiações eletromagnéticas com o número de fótons emitidos pela fonte. Os conhecimentos prévios para esta aula são: regiões visível, infravermelho e ultravioleta do espectro eletromagnético; o olho humano com um sensor biológico de luz visível; e relação entre intensidade o número de fótons emitidos por uma fonte luminosa.

Quanto à teoria da mediação de Vygotsky, o diálogo foi importante para a negociação de significados. Das discussões referentes às hipóteses finais apresentadas pelos grupos à turma, não houve grande dificuldade em propor que a região do espectro eletromagnético cujas frequências associadas aos fótons que interage com o fotodiodo correspondem ao infravermelho, entretanto, constatou-se de modo geral que muitos apresentaram dificuldades em explicar o fato do circuito poder ser ativado quando próximo das lâmpadas contidas na caixa. Neste momento houve mediação dialogada pelo professor por meio de questionamentos com a finalidade de proporcionar a compreensão de que além da lâmpada incandescente, as outras também poderiam emitir fótons capazes de interagir com o fotodiodo, porém em menor quantidade, foi discutido que a intensidade depende da distância, isto é, quanto menor for a distância, maior será a intensidade de radiação eletromagnética incidente sobre o sensor, conseqüentemente mais fótons chegam ao dispositivo. Durante a mediação, alguns educandos concluíram que a lâmpada incandescente deve emitir mais infravermelho que as outras contidas na caixa utilizada na atividade, isto foi relacionado à proibição da comercialização de lâmpadas incandescentes comuns, pois grande parte da energia utilizada no funcionamento das mesmas corresponde à emissão de luz invisível ao olho humano, conseqüentemente estas são menos eficientes que as lâmpadas fluorescentes e LED.

Das categorias de análise propostas por Araújo e Abib [8], a atividade desenvolvida possui ênfase matemática de caráter qualitativo com maior atenção aos conceitos. O grau de direcionamento da atividade caracteriza investigação. Não houve uso de novas tecnologias. Houve contextualização com o cotidiano dos educandos ao relacionar: o olho como um sensor biológico de luz; possíveis aplicações de sensores de luz, como por exemplo em alarmes, elevadores, sistemas de detecção de presença, dispositivos de segurança; a comunicação entre um LED emissor infravermelho de um controle remoto e o fotorreceptor de um aparelho televisor etc.; e identificar regiões do espectro eletromagnético correspondentes às frequências emitidas por lâmpadas comuns presentes no dia a dia dos educandos. O conjunto experimental utilizado representado na Figura 5.4 consiste em uma montagem conforme indicado na seção 4.4 do Produto.

Figura 6.4: Conjunto experimental utilizado na Aula 4



Fonte: O Autor

Das ações adotadas pelo professor, observa-se que poderia ser utilizada uma simulação [26] que relaciona a temperatura da cor com a região de maior emissão no espectro eletromagnético, talvez isto potencializasse ainda mais as interações nos grupos e a capacidade de investigação e estruturação das hipóteses dos educandos, para isso deveria ser necessário repassar para os educandos a temperatura da cor de cada lâmpada, com isso a atividade proposta de atividade na Aula 4, também incluiria o uso de novas tecnologias.

7. Considerações Finais

O Produto desenvolvido consiste em um material didático potencial para a abordagem de assuntos relacionados à FMC na EB. Das aplicações do material desenvolvido, verificou-se que este pode ser adequado à realidade de ensino a qual se pretende utilizar a mencionada proposta, isto é, tanto no colégio C1, privado com aulas durante o período matutino, quanto no colégio C2, público com aulas durante o período noturno, obteve-se resultados satisfatórios com relação ao alcance dos objetivos de aprendizagem por parte dos educandos. No colégio C2, por exemplo, vários educandos chegavam para a aula direto do trabalho, todavia, empenharam-se na realização das atividades ocorridas ao longo das quatro Aulas da unidade didática.

Da aplicação do Produto foi possível abordar assuntos relacionados à FMC no nível médio da EB. Ao longo das quatro Aulas foram abordadas, sempre que possível com aplicações às tecnologias presentes no cotidiano dos educandos, a concepção de fótons sob as perspectivas do efeito fotoelétrico, da fotoemissão em LEDs e do funcionamento do fotodiodo.

Conforme a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel [17], as ações do professor aconteceram no sentido de viabilizar a ocorrência de interações entre informações novas com outras preexistentes na estrutura cognitiva dos educandos. Tais interações ocorreram mais intensamente no decorrer das atividades propostas ao longo das quatro Aulas. Antes da aplicação das Aulas, efetuou-se uma investigação a respeito do conhecimento prévio dos educandos para a adequação do planejamento da unidade didática do Produto. Mediante a falta de conhecimentos prévios que podem indicar falta de subsunçores adequados para explorar determinados assuntos de FCM, conforme necessário, foram introduzidos organizadores prévios [19]. Ao longo das Aulas desenvolvidas, verificou-se por meio de atividades escritas e pela fala dos educandos, a provável ocorrência de diferenciação progressiva das relações entre cor, frequência e energia fotônica de radiações eletromagnéticas. Dada a diversidade de abordagens metodológicas ao longo das atividades desenvolvidas, a expectativa é que tenha ocorrido reconciliação integrativa da concepção de fóton sob os enfoques do efeito fotoelétrico, da fotoemissão em LEDs e do funcionamento do sensor fotodiodo, tal reconciliação ocorre em decorrência das modificações da estrutura cognitiva dos educandos, de

modo que alguns subsunçores da referida estrutura podem ter sofrido ampliação de significado ao longo das atividades desenvolvidas.

Segundo a teoria da mediação de Vygotsky [17], ao professor atribuiu-se a função de mediação ao longo da realização das atividades propostas. Tal mediação ocorreu via interações dialogadas cuja finalidade deu-se em torno da negociação de significados das respostas elaboradas pelos educandos na resolução das situações-problema apresentadas à turma. Para Vygotsky, tanto a linguagem, quanto o pensamento são processos superiores indispensáveis para a formação social de um indivíduo, portanto são elementos essenciais à aprendizagem, em razão disto, destaca-se que as atividades das Aulas 2 e 4, exigiram por parte dos educandos a elaboração de hipóteses e proposição de ideias para explicar determinado fenômeno observado experimentalmente, tanto a linguagem quanto o pensamento foram elementos necessários e presentes na execução das atividades. De modo geral, nas quatro Aulas de aplicação do Produto, a interação dialogada entre todos os envolvidos foi fundamental à aprendizagem no sentido de perceber a coerência na fala dos educandos e oportunizar o resgate conceitual se constatada a ocorrência de erros e/ou dúvidas por parte dos mesmos. Faz-se a ressalva de que as atividades propostas não possuíam caráter de apenas verificar se houve alcance dos objetivos de aprendizagem por parte dos educandos, mas também de investigar a aprendizagem por meio da resolução de problemáticas propostas.

De acordo com Araújo e Abib [8], Borges [9], Oliveira et al. [10] e Arantes et al. [12], as atividades experimentais, seja por meio do experimento físico, seja pela simulação computacional, sugeridas no Produto, consistem em práticas que proporcionam determinado grau investigativo e exploratório, de modo que os educandos possam assumir papel mais ativo na experimentação. Tais atividades não buscam comprovar leis, ou fenômenos físicos, tampouco se reduzem à realização exaustiva de medidas, coleta de dados e cálculos desprovidos de análise e interpretação ante aos elementos teóricos discutidos em sala de aula.

Quanto à proposta de ensino, as atividades propostas foram concebidas no sentido de facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Os experimentos propositalmente foram idealizados de modo que fosse possível apresentar diferentes estratégias de ensino de FMC aliadas à experimentação no EF. As atividades das Aulas 2 e 4 apresentam similaridade com relação à elaboração de hipóteses para explicar o funcionamento de determinado dispositivo seguida de testes decorrentes

de interações com o experimento e reestruturação das hipóteses iniciais frente às observações experimentais e à reflexão dos aspectos teóricos discutidos em sala de aula. A diferença se dá pelo fato de que na Aula 4, pode-se efetuar o teste com o LED emissor de infravermelho de um controle remoto, tal ação permite validar ou refutar as hipóteses finais, com relação ao EF.

O Produto desenvolvido pode ser definido como uma ferramenta de apoio ao professor para a inserção de FMC. As aulas foram elaboradas a fim de se propor um material que incentive a abordagem de temas atuais, conforme apontado por Silva e Schirlo [18], para que o educando possa compreender um pouco mais o mundo e as tecnologias ao seu redor.

O planejamento apresentado na seção 2 do Produto, não deve ser estático, tampouco engessado, ao contrário, deve ser adaptável a qualquer que seja a realidade de ensino em que se pretende aplicar a proposta. Cabe destacar que devido ao número de aplicação da proposta em quatro turmas, os resultados são contextuais. Os textos de apoio dispostos na seção 3 do Produto, foram redigidos para facilitar a interpretação da concepção de fótons sob as perspectivas do efeito fotoelétrico, da fotoemissão em LEDs e do funcionamento do fotodiodo e dos conceitos que se pretende trabalhar em sala de aula. Os materiais indicados na montagem dos conjuntos experimentais são relativamente acessíveis. A partir dos procedimentos de montagem e utilização dos recursos experimentais indicados na seção 4 do Produto, espera-se contribuir com algumas estratégias para a experimentação no EF.

Com relação aos trabalhos futuros, pretende-se divulgar, testar e aprimorar o Produto desenvolvido para contribuir com pesquisas providas de resultados e reflexões ao que tange a problemática tanto da inserção de FMC no EF, quanto no desenvolvimento de estratégias aliadas à experimentação no EF.

Referências

1. CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 298-316, 2001.
2. OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.
3. OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.
4. MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.
5. VALADARES, E. C.; MOREIRA, M. A. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, p. 359-372, 1998.
6. OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.
7. PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.
8. 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, p. 176-194, 2003.
9. BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
10. OLIVEIRA, M. M. L. et al. Práticas experimentais de Física no contexto do ensino pela pesquisa: uma reflexão. **Experiências em Ciências**, v. 5, n. 3, p. 29-38, 2010.

11. HODSON, D. Experiments in Science and Science Teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, p. 53-66, 1988.
12. ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no Ensino de Física: usando simulações do PhET. **Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010.
13. MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. Simulações computacionais como ferramentas para o Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 1, p. 562-613, 2012.
14. SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: uma experiência para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.
15. CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 24-29, 2002.
16. MOURA, S. L. et al. Constante de Planck: uma nova visão para o Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 246-251, 2011.
17. MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ª. ed. São Paulo: EPU, 2015.
18. SILVA, S. C. R.; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o Ensino de Física ante a nova realidade social. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.
19. MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2012.
20. PEREIRA, A. P.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 72-92, 2009.
21. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2014.
22. NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. São Paulo: Blucher, v. 4, 2014.

23. TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. **Física Moderna**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
24. DIAS, I. F. L.; TEIXEIRA, R. C.; DUARTE, J. L. **Intrudução aos semicondutores e sua aplicações tecnológicas**. 1ª. ed. Londrina: EDUEL, 2005.
25. LEMASTER, R. et al. Photoelectric Effect. **PhET Interactive Simulations**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>. Acesso em: Junho de 2016.
26. DUBSON, M.; PERKINS, K.; ADAMS, W. Blackbody Spectrum. **PhET Interactive Simulations**, 2011. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/blackbody-spectrum>. Acesso em: Junho de 2016.

Anexo

O FÓTON EM FOCO:
*relações entre cor, frequência e energia de radiações
eletromagnéticas*

Romeu Nunes de Freitas
André Maurício Brinatti
Jeremias Borges da Silva

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**MESTRANDO: PROF. ROMEU NUNES DE FREITAS
ORIENTADOR: PROF. DR. ANDRÉ MAURÍCIO BRINATTI
COORIENTADOR: PROF. DR. JEREMIAS BORGES DA SILVA**

**UNIDADE DIDÁTICA:
“O FÓTON EM FOCO: RELAÇÕES ENTRE COR, FREQUÊNCIA E ENERGIA DE
RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS”**

**PONTA GROSSA
2016**

Apresentação

Muitos trabalhos acadêmicos sugerem propostas de ensino de Física Moderna e Contemporânea no nível médio da Educação Básica, no entanto, pode-se afirmar que trabalhar tal tema no Ensino Médio é um desafio e tanto. Frente ao desafio de abordar assuntos de Física Moderna de modo contextualizado em uma perspectiva de aprendizagem significativa, elaborou-se esta proposta de Ensino de Física cujo enfoque é a concepção de fóton e as relações de cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas¹.

Este material foi produzido como uma ferramenta potencial para professores de Física de modo que oferece algumas possibilidades de abordar determinados assuntos de Física Moderna no nível médio da Educação Básica.

O material didático desenvolvido está disposto em três partes que contém, respectivamente, os planejamentos relativos às quatro Aulas, textos de apoio ao professor e conjuntos experimentais. Em cada uma das Aulas propõe-se a realização de uma atividade, tais atividades são elencadas como diferentes maneiras de se realizar experimentação no Ensino de Física.

De acordo com a análise decorrente da aplicação deste Produto Educacional, em cada Plano de Aula consta a seção Momentos da Aula com dicas referentes à motivação, ao desenvolvimento, à avaliação, à síntese integradora, à avaliação e observações relacionadas a possíveis dificuldades e sugestões para contornar as mesmas.

¹ Nota: Esta proposição de trabalho foi concebida no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, portanto partes do texto podem estar reproduzidas, mesmo que reescritas na dissertação “FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: uma abordagem experimental com ênfase em algumas interações da luz com a matéria”, decorrente da análise da aplicação deste material no Ensino Médio

Sumário

1. Introdução	71
2. Planejamento	73
2.1 Plano de Unidade Didática	74
2.2 Aula 1: O Efeito fotoelétrico e o conceito de fóton	76
2.3 Aula 2: A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida	81
2.4 Aula 3: A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida	84
2.5 Aula 4: Os fótons que interagem com o fotodiodo	87
3. Textos de apoio ao professor	93
3.1 O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton	94
3.2 A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida	100
3.3 A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida	107
3.4 Os fótons que interagem com o fotodiodo	109
4. Conjuntos experimentais	111
4.1 Conjunto experimental utilizado na Aula 2	112
4.2 Conjunto experimental utilizado na Aula 3	115
4.3 Roteiro experimental utilizado na Aula 3	119
4.4 Conjunto experimental utilizado na Aula 4	122
Referências	128

1. Introdução

Segue uma breve descrição referente às ideias das aulas que compõem este produto educacional que visa a inserção de conceitos relacionados à Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Na primeira aula: Aula 1, o assunto abordado é o efeito fotoelétrico sob uma ótica histórica desde a observação do respectivo fenômeno, as controvérsias entre as observações experimentais e as previsões teóricas da Física Clássica, até a explicação de Einstein que utilizou conceitos da Física Quântica. O fóton emitido por uma fonte de radiação eletromagnética é apontado como um pacote de energia, cujo valor de energia é proporcional à frequência da referida radiação eletromagnética.

Nesta Aula, tem-se uma sugestão de atividade na qual se utilize uma simulação computacional acompanhada de um questionário cujo objetivo é verificar que há uma relação entre os conceitos de cor, energia e frequência de uma radiação eletromagnética. Uma vez que é estabelecida a relação de que um fóton de energia E , emitido por uma fonte de radiação eletromagnética de frequência f , possui energia E proporcional à frequência f , e, que para a região visível do espectro eletromagnético, a cor da luz emitida é associada ao valor da frequência f . Então, é possível concluir que se duas fontes de luz $F1$ e $F2$ emitem cores diferentes, os fótons emitidos são tais que possuem energias $E1 \neq E2$.

Por sua vez, nos desdobramentos desenvolvidos na segunda aula: Aula 2, são explorados determinados assuntos referentes ao funcionamento do diodo emissor de luz (LED), como por exemplo, a teoria de bandas de energia nos sólidos, a condução de eletricidade em materiais semicondutores, o funcionamento de um diodo e a fotoemissão.

No item relacionado à fotoemissão, apresenta-se uma relação entre a cor da luz emitida por um LED e a energia dos fótons emitidos. A atividade sugerida nesta aula é de caráter qualitativo e consiste em duas etapas. A primeira é uma experiência mental, após uma exposição teórica que explica a emissão de fótons em um LED, realizada por meio de um questionamento referente à probabilidade de um elétron provocar a emissão de um fóton em um circuito com 4 LEDs associados em paralelo (cada um emite uma cor diferente). O objetivo desta etapa é elaborar a hipótese de que a probabilidade do elétron provocar emissão de um fóton é maior no LED que emite radiação eletromagnética de menor frequência. Na segunda etapa deve-se

verificar experimentalmente se a hipótese elaborada na primeira estava correta. No caso da hipótese levantada estiver inconsistente com a prática experimental, deve-se comparar os resultados observados com os aspectos teóricos apresentados anteriormente a fim de que haja concordância entre ambos.

Na terceira aula: Aula 3, apresenta-se um roteiro detalhado para a realização de uma atividade experimental de caráter quantitativo, cujo objetivo é determinar o valor da frequência da radiação eletromagnética emitida por um LED. O experimento consiste na montagem de um circuito em uma placa protoboard, variação da tensão elétrica em um LED, medição dos pares tensão e corrente elétricas nos terminais do LED, organização dos dados obtidos experimentalmente em uma tabela para a construção do gráfico corrente elétrica versus tensão elétrica.

Do gráfico, deve-se obter o potencial de corte para calcular o valor da frequência emitida pelo LED. Recomenda-se comparar os valores teóricos com os resultados obtidos experimentalmente para cada cor. Sugere-se que os educandos sejam organizados em grupos, de modo que em cada grupo seja calcula a frequência emitida por um LED que emite uma “cor” diferente. Recomenda-se ainda que em um dos grupos se obtenha o valor da frequência de um LED que emite infravermelho. Esta prática possibilita medir a frequência de uma radiação eletromagnética invisível ao olho humano. Com relação aos aspectos teóricos, alguns elementos trabalhados nas aulas anteriores subsidiam a realização da atividade experimental. Ao fim da prática experimental realizada na Aula 3, pode-se efetuar uma comparação entre os resultados e as observações do experimento proposto na Aula 2.

Por fim, na quarta aula: Aula 4, é descrito o funcionamento de um fotodiodo. O referido dispositivo eletrônico pode ser percorrido por uma corrente elétrica na presença de luz. Na atividade proposta, é utilizado um circuito com um sensor fotodiodo. O objetivo da atividade é identificar a região do espectro eletromagnético, cujos valores de frequência dos fótons incidentes sobre o fotodiodo são tais que o circuito é ativado.

2. Planejamento

O planejamento das ações docentes é de suma importância para que o professor organize suas ações metodológicas com relação ao que se pretende ensinar. Apresenta-se a seguir o Planejamento de Unidade Didática “o fóton em foco: relações entre cor, energia e frequência de radiações eletromagnéticas” e das Aulas 1, 2, 3 e 4, que compõem a referida unidade didática. O Plano de Unidade desenvolvido neste produto educacional direcionado ao Ensino de Física é composto por:

- Identificação – exposição do tema, da disciplina e do respectivo público alvo;
- Ementa – apresenta os assuntos mais abrangentes;
- Objetivos gerais – relaciona as concepções que se pretende a contemplação por parte dos educandos ao longo das aulas;
- Conteúdo programático – são os conceitos e que se pretende trabalhar na sequência didática;
- Método – indica como as aulas serão desenvolvidas;
- Avaliação – aponta os critérios de investigação para identificar a ocorrência de aprendizagem com relação aos objetivos específicos propostos.

O planejamento das aulas que compõem a unidade didática contém:

- Carga horária – o tempo previsto para a realização de cada Aula;
- Assunto – relativo ao conteúdo programático;
- Competências e habilidades – são relacionadas às atitudes aprendidas e desenvolvidas por parte dos educandos;
- Objetivos específicos – referem-se a ações verificáveis dos educandos relacionadas à aprendizagem do assunto abordado;
- Momentos da Aula – motivação, é a etapa que em procura-se despertar interesse nos educandos com relação ao assunto proposto. Desenvolvimento, refere-se às ações adotadas pelo professor após a motivação. E, síntese integradora, é o momento em que se investiga a aprendizagem dos conceitos trabalhados;
- Avaliação – aponta os critérios de investigação para identificar a ocorrência a aprendizagem em cada aula.

O planejamento foi efetuado a partir das teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e da Mediação de Vygotsky, conforme apresentado por Moreira [1].

2.1 Plano de Unidade Didática

Identificação

Unidade: O fóton em foco: relações entre cor, energia e frequência de radiações eletromagnéticas.

Disciplina: Física, segunda série do nível médio da Educação Básica.

Carga Horária: 8 horas-aula.

Ementa

Abordagem do conceito de fóton sob quatro perspectivas: efeito fotoelétrico, funcionamento de um diodo emissor de luz (LED), frequência da radiação emitida por um LED, funcionamento de um fotodiodo.

Objetivos Gerais:

- Compreender conceitos e teorias que abrangem assuntos relacionados à Luz, suas aplicações na abordagem de fenômenos naturais e de dispositivos tecnológicos;
- Perceber a relação da energia de uma onda luminosa com a sua frequência sob o ponto de vista da ideia de fóton;
- Estabelecer conexões entre a energia, a frequência, o comprimento de onda e a cor da luz;
- Relacionar as contribuições e aplicações dos conhecimentos científicos à tecnologia.

Conteúdo Programático

- O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton;
- A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida;
- A frequência da luz emitida por um LED;
- Infravermelho, visível e ultravioleta – os fótons que interagem com o fotodiodo.

Método

Aulas teóricas e experimentais, dialogadas, com a utilização de vários meios como recursos didáticos, tais como: lousa, conjuntos experimentais, computador, simulação computacional etc.

Avaliação

Avaliação do processo de ensino e aprendizagem:

Avaliação de forma contínua, cumulativa e sistemática da situação de aprendizagem dos educandos;

Verificar o domínio da aprendizagem dos educandos com relação aos conceitos novos trabalhados nas aulas;

Indicar os efeitos do método utilizado;

Verificar se os objetivos gerais (Plano de Unidade) e específicos (Planos de Aulas) propostos foram alcançados;

Instrumentos de avaliação:

Avaliação escrita: questionários, anotações relativas às atividades experimentais, formulação e sistematização de hipóteses relativas à investigação de situações problema propostas;

Avaliação oral: de modo mais geral e abrangente, está prevista nos momentos de síntese integradora da cada aula. Acontecerá por meio de questionamentos referentes aos objetivos específicos, no caso de ocorrência de erros conceituais, recomenda-se, o diálogo com toda a turma no sentido de resgatar os detalhes teóricos vistos anteriormente e conciliá-los com as observações desenvolvidas nas aulas;

Resolução de situações problemas;

Execução de atividades experimentais.

Observação: segue uma lista de conceitos prévios como requisitos para abordar as aulas constituintes desta unidade didática

- Ondas eletromagnéticas;
- A luz como uma onda eletromagnética;
- Elementos de uma onda: amplitude, período, frequência, comprimento e velocidade de propagação;
- A relação entre cor e a frequência de uma radiação eletromagnética;
- Espectro eletromagnético e as regiões correspondente ao infravermelho, ao visível e ao ultravioleta.

No caso da falta parcial, ou completa dos conceitos prévios citados, recomenda-se que o professor use duas horas-aula para introduzi-los.

2.2 Aula 1: O Efeito fotoelétrico e o conceito de fóton

Carga Horária

Duas horas-aula (100 min)

Assunto

Conceituação de fóton a partir do efeito fotoelétrico.

Competências e Habilidades

- Relacionar os desdobramentos históricos referentes ao efeito fotoelétrico e à concepção de fóton;
- Identificar as grandezas físicas relacionadas ao efeito fotoelétrico;
- Utilizar linguagem simbólica (esquemas, gráficos e expressões matemáticas), na interpretação do efeito fotoelétrico;
- Analisar cientificamente o efeito fotoelétrico por meio de simulação computacional relacionada ao fenômeno físico.

Objetivos Específicos

- Descrever o fóton emitido por uma fonte de radiação eletromagnética como uma partícula com energia proporcional à frequência da referida radiação;
- Explicar que no efeito fotoelétrico, a ocorrência de ejeção de elétrons depende da frequência da luz incidente sobre a superfície metálica;
- Comentar que quanto maior for a intensidade da luz incidente sobre uma superfície metálica, maior será o número de elétrons ejetados pela superfície metálica;
- Citar que quando um fóton colide com um elétron, este transfere toda a sua energia para o elétron, parte da energia é utilizada para que ocorra a emissão (função trabalho) e outra parte é convertida em energia cinética.

Meios

Lousa e giz, datashow, computador, simulação computacional do efeito fotoelétrico [2] e questionário.

Momentos da Aula

Motivação

Questionar aos educandos:

- Vocês sabem explicar como a lâmpada de um poste acende automaticamente quando anoitece? Ou como as lâmpadas dos postes se apagam quando amanhece?

Prováveis respostas baseadas na aplicação deste produto:

- Isso deve ter algo relacionado com a luz;
- A lâmpada do poste desligar quando amanhece devido ao aumento da intensidade luminosa sobre um sensor específico no poste;
- Ocorre devido à variação de intensidade luminosa sobre um componente eletrônico denominado LDR, do inglês, light dependent resistor – resistor dependente de luz;
- Este fato é relacionado ao efeito fotoelétrico.

Fala do professor: para compreender este e outros fenômenos relacionados às interações da luz com a matéria introduziremos o conceito de fóton a partir do efeito fotoelétrico.

Desenvolvimento

Explicar, de modo dialogado, o efeito fotoelétrico e o conceito de fóton de acordo com a seção 3.1, deste material:

- Abordar o efeito fotoelétrico como a ejeção de elétrons de uma superfície metálica devido à incidência de radiação eletromagnética sobre a referida superfície;
- Discutir o desdobramento histórico relacionado ao efeito fotoelétrico;
- Apresentar os paradigmas relacionados ao experimento do efeito fotoelétrico e as previsões da Física Clássica;
- Expor a luz como um feixe de partículas (os fótons).
- Apresentar o fóton, como um pacote que transporta certa quantidade definida de energia definida pela expressão $E = hf$;
- Abordar a transferência de energia do fóton para o elétron: parte da energia absorvida pelo elétron é utilizada para que ocorra a ejeção (função trabalho) e outra parte da energia é convertida em energia cinética ($hf = \Phi + E_c$)

Síntese Integradora

Utilizar a simulação Efeito Foto Elétrico [2], aliada ao questionário disposto neste Plano de Aula. A simulação permite explorar principalmente as variações da frequência e da intensidade luminosa. Portanto, na utilização da simulação deve-se variar a frequência e a intensidade da luz incidente sobre a superfície metálica.

- Abram o aplicativo Efeito Fotoelétrico, varie os parâmetros intensidade (%) e comprimento de onda (nm), para responder ao questionário. Notem que a frequência de uma onda é inversamente proporcional ao respectivo comprimento de onda.

Após a resolução do questionário o professor fará a correção do mesmo da seguinte forma: citará uma pergunta do questionário obedecendo a ordem numérica das questões, em seguida solicitará a resposta da referida questão por parte dos educandos em forma oral, após a resposta dos educandos o professor deverá perceber se a resposta está correta, neste caso poderá complementar a resposta de acordo com a solução comentada disponível no Apêndice A. No caso da ocorrência de erro – isto o professor poderá identificar ao indagar se alguém respondeu algo diferente – o professor deverá conduzir o raciocínio com finalidade de resgatar elementos teóricos discutidos na aula em conjunto com a simulação usadas na aula. Este procedimento deverá ser efetuado até a última questão.

Avaliação

A simulação deve ser utilizada em conjunto com o questionário como meio para verificar se os objetivos propostos foram contemplados. Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio do questionário utilizado na síntese integradora. A avaliação oral acontecerá de acordo com as respostas dos educandos na correção do respectivo questionário utilizado na síntese integradora. Caso as respostas discordem dos objetivos previstos, a utilização da simulação deve subsidiar o professor à adequação das respostas por parte dos educandos.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Síntese: no caso de não haver computadores suficientes para que os educandos interajam com a simulação, pode-se optar por uma das estratégias:

- O professor pode efetuar a simulação em um computador conectado a um multimídia;

- Em último caso, pode solicitar que os educandos realizem (segundo a disponibilidade de cada um) a atividade que envolve a resolução do questionário e a interação com a simulação computacional como tarefa extraclasse. Sendo esta opção escolhida, recomenda-se que o professor efetue a correção do questionário com a turma na próxima aula.

Questionário: Com relação aos conceitos discutidos em aula, e, das observações realizadas na simulação do efeito fotoelétrico, responda as questões que seguem.

1. A energia do fóton incidente é relacionada:
☐ à intensidade da luz incidente;
☐ à frequência da luz incidente.
2. A cor da luz, independentemente do meio, é relacionada:
☐ à intensidade da luz incidente;
☐ à frequência da luz incidente.
3. Para o espectro visível, a energia do fóton incidente é relacionada:
☐ à amplitude da onda eletromagnética;
☐ à cor da luz.
4. Com relação à ejeção de elétrons de uma superfície metálica devido ao efeito fotoelétrico, a intensidade da luz influencia:
☐ no número de elétrons ejetados;
☐ na velocidade dos elétrons ejetados.
5. Quando um fóton colide com um elétron, o fóton transfere:
☐ toda a sua energia para o elétron;
☐ parte de sua energia para o elétron;
☐ nenhuma energia para o elétron.
6. A energia que o elétron precisa receber para que seja ejetado da superfície metálica é denominada:
☐ Função Trabalho;
☐ Energia Cinética.
7. Um elétron recebeu energia superior à necessária para que fosse ejetado, a esse excesso de energia denomina-se:
☐ Função Trabalho;
☐ Energia Cinética.

Solução comentada do questionário utilizado na Aula 1

1. A energia do fóton incidente é relacionada:

() à intensidade da luz incidente;

(X) à frequência da luz incidente.

A energia do fóton é definida por $E = hf$, em que f é a frequência da luz incidente.

2. A cor da luz, independentemente do meio, é relacionada:

() à intensidade da luz incidente;

(X) à frequência da luz incidente.

Se a luz se propaga num meio cujo índice de refração é $n > 1$, da expressão $n = \frac{c}{v}$, tem-se que $v < c$, como $v = \lambda f$, o comprimento de onda da luz neste meio é menor do que quando a luz se propaga no vácuo ($n = 1$), a grandeza que permanece inalterada é a frequência, que indica o número de oscilações da onda por unidade de tempo independentemente do meio em que a luz se propaga. Portanto, pode-se relacionar a cor da luz à frequência, pois esta não depende do meio.

3. Para o espectro visível, a energia do fóton incidente é relacionada:

() à amplitude da onda eletromagnética;

(X) à cor da luz.

A cor da luz depende de sua frequência, como $E = hf$, para o espectro visível a energia do fóton é relacionada à cor da luz incidente.

4. Com relação à ejeção de elétrons de uma superfície metálica devido ao efeito fotoelétrico, a intensidade da luz influencia:

(X) no número de elétrons ejetados;

() na velocidade dos elétrons ejetados.

Quanto maior a intensidade da luz emitida por uma fonte, mais fótons são emitidos. Logo, quanto mais fótons colidirem contra elétrons na superfície da placa, mais elétrons são ejetados.

5. Quando um fóton colide com um elétron, o fóton transfere:

(X) toda a sua energia para o elétron;

() parte de sua energia para o elétron;

() nenhuma energia para o elétron.

Quando um fóton colide com um elétron, este transfere toda a sua energia para o elétron.

6. A energia que o elétron precisa receber para que seja ejetado da superfície metálica é denominada:

(X) Função Trabalho;

() Energia Cinética.

Parte da energia recebida é utilizada para que ocorra a emissão, a esta parcela de energia denomina-se função trabalho.

7. Um elétron recebeu energia superior à necessária para que fosse ejetado, a esse excesso de energia denomina-se.

() Função Trabalho;

(X) Energia Cinética.

Quando ocorre ejeção de elétrons, parte da energia absorvida é atribuída à função trabalho e o restante é convertido em Energia Cinética.

2.3 Aula 2: A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida

Carga Horária

02 horas-aula (100 min)

Assunto

Funcionamento do Diodo Emissor de Luz.

Competências e Habilidades

- Desenvolver a capacidade de investigação científica, levando os educandos, de forma qualitativa, a classificar, organizar, sistematizar observações referentes ao fenômeno físico investigado;
- Identificar parâmetros relevantes, a compreensão e utilização de leis e teorias físicas;
- A investigação de situações-problema.

Objetivos Específicos

- Explicar a condução de corrente elétrica por um LED;
- Relacionar a cor da luz emitida pelo LED com a energia dos fótons emitidos.

Meios

Lousa e giz e conjunto experimental da Aula 2, disponível na seção 4.1.

Momentos da Aula

Motivação

Diálogo entre professor e educandos com questões e prováveis respostas baseadas na aplicação deste Produto:

Professor: Vocês podem citar exemplos de equipamentos nos quais os LEDs estão presentes? Quais?

Educandos: Semáforos de trânsito, automóveis, lâmpadas, celulares, câmeras fotográficas, TVs e lanternas.

Professor: Já vimos na aula passada que a luz pode ser considerada como um feixe de fótons, sabemos que os fótons possuem energia proporcional à frequência da luz emitida. No caso dos LEDs, como eles funcionam?

Educandos: Funciona como uma lâmpada qualquer.

Professor: Há alguma relação dos fótons estudados na aula anterior com a luz emitida por um LED?

Educandos: Não. Não sei. Sim. Talvez. Creio que sim, pois os LEDs podem emitir diferentes cores, então a frequência e a energia dos fótons emitidos também poderão ser diferentes.

Desenvolvimento

Explicar a fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida de acordo com a seção 3.2, deste material:

- Apresentar do diodo emissor de luz;
- Discutir a respeito das bandas de energias em sólidos;
- Conceituar materiais isolantes, condutores e semicondutores com relação às bandas de energias;
- Explanar a condução de eletricidade nos materiais semicondutores e as polarizações em uma junção pn;
- Explicar a fotoemissão em um LED;
- Estabelecer uma relação entre a cor da luz emitida, a energia dos fótons emitidos e a largura de GAP do LED.

Síntese Integradora

Este momento da aula consiste em uma atividade experimental que deve ser efetuada em duas etapas. Para cada etapa os educandos devem ser organizados em grupos, sugere-se cinco grupos. Toda a discussão deve ser efetuada em grupo durante as duas etapas.

Primeira: Experiência Mental

- Quatro LEDs – cada um pode emitir um tom de luz: vermelho, laranja, verde e azul – são ligados em paralelo, todos alimentados pela mesma bateria.
- Considere um elétron qualquer com energia suficiente para provocar a emissão de um fóton em qualquer um dos LEDs mencionados. Ao ser conduzido pelo circuito o elétron apresentará maior probabilidade de provocar a emissão de um fóton em qual LED? _____. Justifique sua resposta!
- Qual LED apresentará maior intensidade luminosa? _____. Por quê?

Segunda: Teste com o circuito (O tutorial para a montagem do circuito está disponibilizado na seção 4.1)

- Ao efetuarem os testes com o circuito, verifiquem se as hipóteses levantadas antes do experimento estão corretas. No caso de as hipóteses levantadas estiverem incompatíveis com a observação experimental confrontem as observações experimentais com os aspectos teóricos apresentados nas aulas.
- Dica: Pense na relação entre a cor e a energia do fóton emitido.

Após a realização das duas etapas, deve-se efetuar uma discussão com a turma toda a fim de comparar as conclusões obtidas em cada grupo. Para efetuar o levantamento das respostas, o professor poderá perguntar: quais foram os aspectos relevantes observados com o experimento em relação às perguntas na etapa anterior aos testes? As respostas-hipótese elaboradas na etapa mental concordaram com as observações experimentais?

Conclusão esperada: Quanto maior a frequência da luz emitida pelo LED, maior é a energia necessária para a emissão de luz, neste caso menos provável será a emissão de um fóton.

Na ocorrência de respostas equivocadas após a realização da atividade, é necessário o diálogo conciliar elementos teóricos vistos anteriormente que concordem com as observações experimentais,

Avaliação

As duas etapas da atividade experimental proposta na síntese integradora servem como meio para verificar o alcance dos objetivos propostos. Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio das anotações referentes aos questionamentos propostos na etapa da experiência mental, e, por meio das modificações das mesmas após a observação experimental realizada na segunda etapa. A avaliação oral acontecerá de acordo com as respostas dos educandos no levantamento das mesmas após a realização da atividade proposta.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Síntese: durante a montagem dos circuitos, deve-se orientar a turma para não conectar os terminais dos LEDs diretamente, isto é, sem o resistor, aos polos da bateria, a fim de que os LEDs não sejam queimados. Recomenda-se ainda que o professor leve consigo alguns LEDs extras para viabilizar a continuidade da prática no caso de alguns queimarem durante a manipulação do circuito por parte dos educandos.

2.4 Aula 3: A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida

Carga Horária

02 horas-aula (100 min)

Assunto

Determinação da frequência emitida por um LED.

Competências e Habilidades

- Desenvolver a capacidade de investigação científica, levando os educandos, de forma quantitativa, a classificar, organizar, sistematizar dados referentes à grandeza física investigada;
- Efetuar medidas de corrente elétrica e diferença de potencial elétrico;
- Analisar e interpretar gráficos;
- Comparar resultados experimentais com previsões teóricas.

Objetivos Específicos

- Coletar dados experimentais (pares de corrente e tensão nos terminais dos LEDs).
- Obter graficamente (corrente versus tensão) o potencial elétrico de corte nos LEDs infravermelho, vermelho, azul e violeta;
- Calcular frequências emitida pelos LEDs infravermelho, vermelho, azul e violeta, a partir dos valores dos potenciais de corte e da constante de Planck.

Meios

Lousa e giz, datashow, computador, software de planilha eletrônica (como por exemplo, o Libre Office), conjunto experimental da Aula 3, disponível na seção 4.2, e roteiro experimental para o professor, disponível na seção 4.3.

Momentos da Aula

Motivação

Abrir a aula com a fala: “no experimento da aula anterior, verificamos que a cor da luz emitida pelo LED depende da frequência dos fótons emitidos”.

Neste momento deve-se efetuar a retomada dos conceitos trabalhados nas aulas anteriores. A retomada poderá ser efetuada por meio de perguntas como:

- Como é definida a energia do fóton emitido por um LED?
- Do ponto de vista energético, o que se pode afirmar a respeito da largura de banda proibida de um LED?

Prováveis respostas dos educandos:

- $E = hf$;
- Quanto mais larga a banda proibida de um LED, maior será a energia necessária para que um elétron ao ser conduzido pelo LED provoque a emissão de um fóton;
- Quanto maior for a largura da banda proibida, maior será a energia dos fótons emitidos pelo LED;
- Quanto maior for a energia dos fótons emitidos maior será a frequência a luz emitida pelo LED.

Continuar a fala: nesta aula vamos verificar experimentalmente o valor da frequência da luz emitida pelos LEDs a partir da definição de energia de um fóton.

Desenvolvimento

Explicar a energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida de acordo com a seção 3.3, deste material.

Iniciar o procedimento experimental de acordo com a seção 4.3 deste material:

- Organizar os educandos em grupos, cada grupo receberá um conjunto experimental com um LED que emite infravermelho, vermelho, azul ou violeta;
- Montar o circuito na placa protoboard;
- Com o circuito ligado, variar a resistência no potenciômetro para e coletar pares de tensões e das respectivas correntes no LED;
- A partir dos dados coletados, construir o gráfico corrente versus tensão. Do gráfico deve-se obter o potencial de corte do referido LED;
- Calcular o valor da frequência da luz emitida pelo LED.
- Apresentar os resultados da prática experimental.
- Discutir os resultados da prática experimental.

Nota: o professor pode escolher montar os circuitos com os educandos, ou levar os circuitos já montados. Esta escolha depende do conhecimento da realidade escolar à qual a Aula será desenvolvida. No entanto, recomenda-se que o professor construa os gráficos após a coleta de dados. Para isso, sugere-se que a primeira hora-aula

utilizada seja concluída até o término da coleta de dados. Deste modo, na segunda hora-aula, o professor poderá levar os gráficos impressos e efetuar a distribuição dos mesmos de acordo com a organização dos grupos, isto é, cada gráfico deverá ser entregue ao grupo que realizou as medidas relativas à construção do mesmo.

Síntese Integradora

Comparar os valores obtidos com os valores teóricos relacionados no Quadro 3.1 da seção 3.1, deste material. Da comparação dos valores obtidos por cada grupo, deve-se retomar as ideias discutidas na motivação da aula, principalmente no quesito de efetuar a observação de que as frequências calculadas apresentam valores na ordem crescente do infravermelho ao violeta.

Avaliação

Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio da coleta de dados experimentais para a construção do gráfico, da obtenção do potencial de corte do LED utilizado através do gráfico construído e do cálculo da frequência da luz emitida pelo LED utilizado. Ocorrerá avaliação na forma oral de acordo com as observações apontadas pelos educandos na síntese integradora em decorrência da análise dos resultados da atividade experimental.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Desenvolvimento: Se o professor optar pela montagem do circuito por parte dos educandos, é provável que alguns demonstrem certa dificuldade nas etapas do referido procedimento. O professor pode comprometer o tempo de aula ao dedicar-se à orientação individualizada em cada grupo, haja vista que algumas dificuldades detectadas em determinado grupo podem ser reincidentes nos demais. Para não exceder o tempo de montagem do circuito, cerca de 10 minutos, recomenda-se que o professor faça algumas orientações gerais para a turma toda, conforme disposto na seção 4.3 deste material. Em seguida, sugere-se que o professor supervisione individualmente cada grupo e conforme necessário aponte ajustes na montagem do circuito.

2.5 Aula 4: Os fótons que interagem com o fotodiodo

Carga Horária

02 horas-aula (100 min)

Assunto

A comunicação entre sensor (receptor) fotodiodo e emissor infravermelho.

Competências e Habilidades

- Desenvolver a capacidade de investigação científica, levando os educandos, de forma qualitativa, a classificar, organizar, sistematizar e observação referentes ao fenômeno investigado;
- Investigar a situação problema proposta;

Objetivos Específicos

- Identificar o tipo de frequência que aciona o sensor do circuito localizado no interior de uma vela que “muda de cor”.
- Descrever o funcionamento de um sensor fotodiodo.
- Relacionar a comunicação entre TV e controle remoto ao funcionamento de um fotodiodo, a fim de que ocorra a percepção de que as aplicações deste conhecimento científico podem chegar às casas das pessoas de modo geral.

Meios

Lousa e giz, conjunto experimental da Aula 4, disponível na seção 4.4, e questionário, disponível neste Plano de Aula.

Momentos da Aula

Motivação

Acender a chama de uma vela que “muda de cor”. Em seguida, mostrar o circuito contido no interior da vela (este circuito deve ser retirado de outra vela que muda de cor). Apresentar o componente localizado no centro da parte superior do circuito: o fotodiodo. Então questionar aos educandos oralmente:

- Como este circuito é ativado?
- Será que qualquer frequência de luz pode acionar o dispositivo?

Prováveis respostas dos educandos:

- O dispositivo funciona com a luz, deve ter algo relacionado com o calor;
- Deve funcionar com frequências mais elevadas, pois a energia dos fótons é maior.

Desenvolvimento

Explicar o funcionamento de um fotodiodo de acordo com a seção 3.4 deste material:

- Expor o fotodiodo como um sensor de luz;
- Comparar o funcionamento do fotodiodo com o funcionamento de um LED;
- Expor os intervalos do espectro eletromagnético analisados na aula: infravermelho, visível e ultravioleta;
- Citar o caso do olho humano que é sensível à região visível do espectro eletromagnético.
- Questionar qual é a região do espectro eletromagnético cujas frequências acionam o circuito retirado do interior da vela?

Iniciar o procedimento experimental:

Etapa 1:

- Organizar os educandos em grupos;
- Entregar a cada grupo uma cópia do questionário relacionado à prática experimental para que os educandos possam elaborar hipóteses referentes à situação problema proposta;
- Nos grupos deve ser efetuado um levantamento de hipóteses, nesta etapa os educandos não poderão efetuar testes com o circuito.

Etapa 2:

- Cada grupo deve efetuar testes com o circuito expondo-o à luz de cada lâmpada da caixa.

Etapa 3:

- Após os testes, os educandos ainda reunidos em grupos, deverão comparar as hipóteses levantadas com as observações realizadas, sendo que as hipóteses iniciais poderão ser modificadas.

Mediação do professor: o circuito é acionado quando o fotodiodo é exposto à luz do dia, à luz a chama da vela e à luz de uma lâmpada incandescente (ou halógena). Há a possibilidade de o circuito ser acionado quando próximo das outras lâmpadas.

Nota: para os casos em que o circuito é ativado quando ocorre aproximação da lâmpada. Isto é explicado pelo fato de que além da lâmpada incandescente, as outras

lâmpadas também podem emitir radiação com frequência correspondente à necessária para o funcionamento do circuito, porém com menor intensidade.

Síntese Integradora

Perguntar quais foram as conclusões da turma, com relação ao questionamento proposto na aula frente às observações e discussões realizadas nos grupos.

Na ocorrência de respostas equivocadas após a realização da atividade, é necessário o diálogo conciliar elementos teóricos vistos anteriormente que concordem com as observações experimentais. Para isso, sugere-se que o professor desenvolva um diálogo com a turma, neste diálogo o professor faz a pergunta, então, após ouvir as respostas dos educandos, efetua-se a negociação de significados se identificada a incoerência na fala dos educandos.

Diálogo:

Professor: O circuito deve ser acionado pela luz visível? Se o sensor fosse ativado com luz visível, o que deveria acontecer com o circuito no interior da vela após ser esta ser apagada?

Resposta esperada: A radiação que ativa o circuito não deve ser visível, pois se assim fosse, ao apagar a vela o circuito não seria desativado, uma vez que a própria luz dos LEDs serviria para manter o circuito ativo.

Professor: Por que deveríamos excluir a radiação UV?

Resposta esperada: O uso de lâmpadas que emitem radiação UV em ambientes diversos (casas, escolas, hospitais etc.), poderia causar danos à saúde.

Professor: A radiação que aciona o circuito deve ser correspondente à região do infravermelho?

Teste de verificação: uma maneira de verificar tal suposição é efetuar o uso de um emissor infravermelho conhecido – o LED de um controle remoto – ao direcionar o emissor de um controle remoto comum para uma câmera de celular, podemos identificar uma luminosidade na tela do aparelho – esta corresponde à radiação do infravermelho que não é totalmente filtrada pela câmera. Ao apontar o emissor do controle remoto para o fotodiodo do circuito, quando se aperta qualquer botão do controle, o circuito é ativado.

Nota: o professor pode citar no final da aula que as lâmpadas incandescentes saíram de circulação comercial. A maior parte da energia utilizada no funcionamento de uma

lâmpada incandescente é convertida em calor (relacionado ao infravermelho), enquanto que uma pequena parcela desta energia é convertida em luz visível.

No fim da aula o professor pode questionar quais as possíveis implicações práticas de um televisor funcionar com um fotodiodo sensível à luz visível? Uma possível resposta seria que a TV não funcionaria corretamente caso uma porta janela fosse aberta, amanhecesse, alguém desligasse a lâmpada do ambiente etc.

Avaliação

Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio da formulação de hipóteses para responder aos questionamentos propostos, e, pelas respostas finais após as observações experimentais. A avaliação oral acontecerá de acordo com as respostas dos educandos no levantamento das mesmas após a realização da atividade proposta.

Questionário:

Etapas 1: efetuem um levantamento de hipóteses fundamentadas nos conceitos estudados anteriormente para responder os questionamentos:

Como o circuito do interior da vela é ativado?

Qual região do espectro eletromagnético cujas frequências sensibilizam o sensor que aciona o referido circuito? Dica: pense nas regiões correspondentes ao infravermelho, ao visível e ao ultravioleta.

Etapa 2: Sistematizem toda a observação efetuada com o circuito e as lâmpadas (Observem as regularidades e façam comparações).

Etapa 3: Reorganizem a resposta da Atividade 1 com base na observação experimental com o circuito e as lâmpadas.

Prováveis respostas para o questionário utilizado na Aula 4

Etapa 1:

Como o circuito do interior da vela é ativado?

- O circuito precisa de luz, ou de calor para ser ativado.

Qual região do espectro eletromagnético cujas frequências sensibilizam o sensor que aciona o referido circuito?

- Infravermelho, pois tem algo relacionado com o calor liberado pela chama da vela, ou com o calor que vem do Sol até o circuito.
- Visível, pois a vela emite luz visível, assim como o Sol.
- Ultravioleta, pois os fótons com maior frequência transferem mais energia ao fotodiodo.

Etapa 2: Sistematizem toda a observação efetuada com o circuito e as lâmpadas

- Pode-se verificar que o circuito é acionado pela lâmpada incandescente.
- Há uma probabilidade de que o circuito seja acionado por quando muito perto das lâmpadas, no entanto, é menos provável que seja acionado pela luz da lâmpada LED.
- As lâmpadas que esquentam mais oferecem maior probabilidades de acionar o circuito.

Etapa 3: Reorganizem a resposta da Atividade 1 com base na observação experimental com o circuito e as lâmpadas.

- Talvez, deva ser excluída a possibilidade do visível, pois não acende quando longe da maioria das lâmpadas, mesmo que chegue luz visível ao sensor. Caso fosse visível o circuito deveria se manter ativo a partir do momento que os LEDs fossem acesos.
- Provavelmente não deva ser UV, pois só acendeu muito perto da lâmpada negra, que também esquentava, ou seja ela não emite só UV e parte do espectro visível.
- É possível que seja o infravermelho, afinal quanto mais esquentava a lâmpada, mais infravermelho ela emite, neste caso observa-se que a incandescente emite a maior parte da radiação no infravermelho, enquanto que a LED emite muito pouco nessa região do espectro.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Desenvolvimento: Deve-se verificar se algum educando possui celular com emissor de infravermelho. Caso isto ocorra, recomenda-se que o referido aparelho permaneça guardado durante toda a Etapa 2, para não prejudicar o andamento da mesma.

3. Textos de apoio ao professor

A seguir são apresentados alguns textos de apoio ao professor para subsidiar sua prática com relação à aplicação deste produto educacional direcionado ao Ensino de Física. Os textos contemplam os assuntos programados para as Aulas que compõem a unidade didática “O Fóton em Foco: relações entre cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas”.

Em primeiro lugar aborda-se o conceito de fóton a partir do efeito fotoelétrico, a respeito do mencionado fenômeno físico, são elencados: o contexto histórico; os conflitos entre a Física Clássica e o efeito fotoelétrico; a explicação quântica para o efeito fotoelétrico; e a energia cedida pelo fóton e absorvida pelo elétron.

Na sequência discorre-se a respeito do funcionamento de um diodo emissor de luz (LED), em que são explanados os conceitos referentes a: bandas de energia; condução de eletricidade nos sólidos; materiais condutores, isolantes e semicondutores; corrente elétrica em um material semicondutor; diodos; fotoemissão; e à cor da luz emitida pelo LED.

Após a discussão referente ao funcionamento de um LED, segue uma análise matemática com relação à energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida, em que se destaca o procedimento para efetuar o cálculo da frequência da luz emitida por um LED por meio do potencial de corte do mesmo.

Por fim, efetua-se a exposição do sensor fotodiodo e discute-se sobre seu funcionamento com relação à região do espectro eletromagnético cujas frequências podem sensibilizar o referido componente.

Para a elaboração dos textos de apoio ao professor, efetuou-se a consulta nas seguintes referências: Halliday et al. [3], Nussenzveig [4], Tipler [5], Valadares e Moreira [6], Cavalcante e Tavoraro [7], Moura et al. [8] e Dias et al. [9].

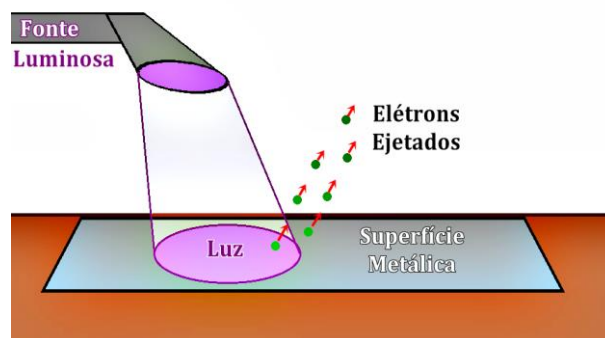
3.1 O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton

O efeito fotoelétrico

Existem muitas aplicações tecnológicas presentes em nosso cotidiano nas quais são utilizados dispositivos que interagem com a luz. O dispositivo que liga/desliga a lâmpada de um poste, como por exemplo, funciona devido ao efeito fotoelétrico. Quando determinado tipo de radiação luminosa incide sobre uma superfície metálica, pode ocorrer ejeção de elétrons da superfície, este fenômeno está ilustrado na representação na Figura 3.1.

Tal fenômeno foi denominado de efeito fotoelétrico. Este fenômeno está presente no dia-a-dia de muitas pessoas, desde, como por exemplo, o funcionamento de portas que se abrem e se fecham automaticamente, luzes de postes que se acendem assim que anoitece.

Figura 3.1: Ilustração representativa do efeito fotoelétrico



Fonte: O Autor.

O efeito fotoelétrico não pôde ser explicado teoricamente pela Física Clássica. Em 1921 o renomado físico Albert Einstein (1879-1955), recebeu o Prêmio Nobel pela explicação satisfatória do efeito fotoelétrico sob o ponto de vista teórico da Física Quântica.

A proposição teórica da Física Quântica provocou uma série de quebras de paradigmas com a Física Clássica. A Teoria Clássica então não era satisfatória para explicar alguns fenômenos físicos, como por exemplo, o próprio efeito fotoelétrico. Havia controvérsias entre a Teoria Clássica e as observações experimentais, por isso houve a necessidade de propor outra explicação que estivesse de acordo com as observações experimentais. O fato é que a teoria clássica funciona muito bem para alguns fenômenos físicos, no entanto, para outros não, por isso, a razão de outra teoria que melhor explique tais fenômenos da Física.

O contexto histórico

Em 1872, o físico russo Alexander Stoletov (1839-1896), ao extrair ar de um pequeno frasco que continha duas placas metálicas ligadas aos terminais de uma bateria e isoladas eletricamente uma da outra, constatou uma corrente elétrica na bateria quando a luz de uma lâmpada de mercúrio atingia uma das placas. Por volta de 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), propôs um modelo matemático de equações que unificava leis relacionadas a fenômenos elétricos e magnéticos. As Equações de Maxwell mencionavam que se um campo elétrico variava com o tempo, este induzia um campo magnético, e, se um campo magnético variasse com o tempo, este induzia um campo elétrico. Portanto, se em determinada região do espaço forem gerados campos elétrico e magnético variáveis com o tempo, nessas condições um campo torna possível à existência do outro, com isso os campos elétrico e magnético coexistem e podem propagar-se. A propagação de campos elétrico e magnético variáveis com o tempo denomina-se de radiação eletromagnética.

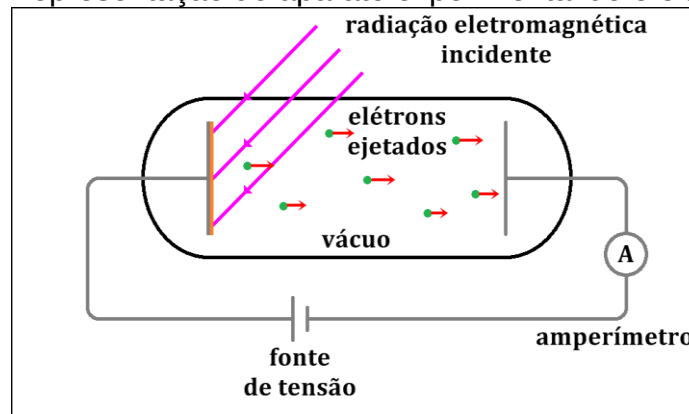
Em 1887, os físicos alemães Heinrich Hertz (1857-1894) e seu assistente Wilhelm Hallwachs (1859-1922) investigavam a natureza eletromagnética da luz de acordo com as previsões teóricas de Maxwell. Quando Hertz e Hallwachs realizavam um experimento relacionado à propagação de ondas eletromagnéticas, ocorriam descargas elétricas entre duas esferas metálicas, observou-se que o comprimento da centelha ficava maior quando uma radiação ultravioleta incidia sobre a superfície metálica da esfera ligada ao terminal negativo da bateria, esse fenômeno foi denominado de fotoeletricidade. Hallwachs propôs que ao absorver a energia da onda eletromagnética, as cargas elétricas são excitadas a ponto de escapar da superfície do metal.

A existência do elétron foi detectada em 1897, pelo físico britânico Joseph John Thomson (1856-1940). Neste mesmo ano as cargas elétricas emitidas pela superfície metálica nos fenômenos observados Stoletov e Hertz foram identificadas como elétrons. No efeito fotoelétrico, os elétrons ejetados da placa mediante a incidência de certa radiação luminosa sobre uma superfície metálica foram denominados de fotoelétrons. De acordo com a teoria clássica, os elétrons recebiam energia da luz incidente, a energia recebida para que ocorresse a emissão de elétrons da placa deveria ser proporcional à intensidade da luz, entretanto, isto não foi verificado experimentalmente.

Os conflitos entre a Física Clássica e o efeito fotoelétrico

O físico alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) fez um detalhado estudo experimental a respeito do efeito fotoelétrico, cujo aparato utilizado está ilustrado na Figura 3.2, onde o amperímetro foi utilizado para detectar o movimento dos elétrons. A placa metálica que recebeu radiação eletromagnética estava conectada ao polo positivo da bateria para que não ocorresse ejeção de elétrons devido ao campo elétrico entre as placas.

Figura 3.2: Representação do aparato experimental do efeito fotoelétrico



Fonte: O Autor.

Lenard concluiu que:

- A ejeção de elétrons ocorre a partir de determinada frequência denominada de frequência de corte.
- O valor da frequência de corte depende da substância na qual se incide a radiação eletromagnética.
- A frequência de corte da maioria dos metais corresponde à região do ultravioleta. No entanto, corresponde à região do espectro visível para alguns óxidos de césio e de potássio.
- Quando a frequência da radiação eletromagnética incidente é inferior à frequência de corte não ocorre o efeito fotoelétrico, mesmo que seja aumentada a intensidade da radiação que incide sobre a superfície metálica.
- Quando ocorre emissão, o número de fotoelétrons ejetados é proporcional à intensidade da radiação incidente.

Da análise realizada por Lenard, são apresentadas algumas contradições entre as previsões teóricas da Física Clássica e os resultados obtidos experimentalmente:

- Quanto maior a intensidade de uma onda, maior é a amplitude desta. Portanto, maior é a energia transportada pela onda. Por exemplo, uma radiação eletromagnética com intensidade suficientemente elevada teria um campo elétrico associado que exerceria uma força elétrica suficientemente intensa para remover elétrons da superfície metálica, independentemente da frequência da radiação incidente.
- Se a intensidade da radiação eletromagnética incidente fosse muito baixa, um elétron levaria muito tempo, até algumas horas ao acumular energia para ser removido. Se a intensidade da radiação eletromagnética incidente fosse mais elevada, então o elétron demoraria menos tempo ao acumular a energia necessária para que fosse ejetado da superfície metálica. Entretanto, em 1928, observou-se experimentalmente que o intervalo de tempo entre a incidência da radiação eletromagnética sobre a superfície metálica e a emissão dos fotoelétrons é da ordem de nanossegundos (10^{-9} s), independentemente se a radiação incidente fosse mais ou menos intensa.

A explicação quântica para o efeito fotoelétrico

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), publicou a explicação do efeito fotoelétrico. Einstein fundamentou-se na teoria dos *quanta*, proposta em 1900, pelo físico alemão Max Planck (1858-1947). Segundo a teoria dos *quanta*, a energia é quantizada, a cada porção discreta de energia denomina-se de quantum, em que, do latim *quanta* é o plural de *quantum*. Contudo, Planck não afirmou que as radiações eletromagnéticas se propagavam em porções discretas de energia. Einstein considerou que a energia das radiações eletromagnéticas é quantizada. A radiação eletromagnética passou a ser tratada como um feixe de partículas: os *quanta*, depois de 1926, estas partículas com energias discretas foram denominadas de fótons.

Os fótons são partículas que transportam energia, mas não têm massa de repouso. Da interpretação teórica proposta por Einstein, os fótons são comparados com pacotes que transportam porções discretas de energia, e, o valor da energia E de um fóton é definido pela equação 3.1, em que f é a frequência, medida em Hz, da radiação eletromagnética, e, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s é a constante de Planck. Segundo Einstein o número de fótons emitidos é proporcional à intensidade da radiação eletromagnética que incide sobre uma superfície metálica, e, a energia de cada fóton é proporcional à frequência desta radiação,

$$E = hf. \quad 3.1$$

A energia cedida pelo fóton e absorvida pelo elétron

De acordo com a explicação de Einstein, quando um fóton interage com um elétron, o elétron absorve toda a energia do fóton, parte desta energia é utilizada para que o elétron seja ejetado da superfície metálica, a esta parcela de energia denomina-se de função trabalho, que é representada pela letra grega Phi, lê-se fi e se escreve Φ . A parcela restante da energia absorvida pelo elétron corresponde à energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ do fotoelétron. Do princípio da conservação da energia obtém-se a definição:

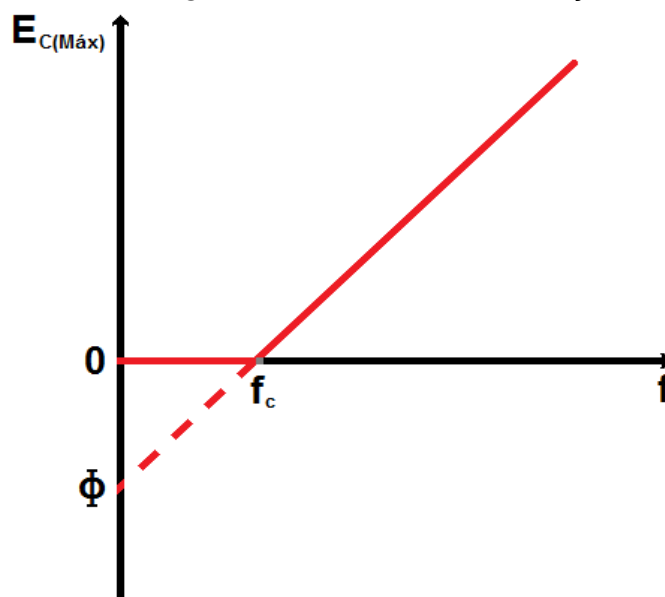
$$E = \phi + E_{C(Máx)}. \quad 3.2$$

Ao combinar as igualdades dadas pelas equações 3.1 e 3.2, tem-se que:

$$E_{C(Máx)} = hf - \Phi. \quad 3.3$$

De modo que, se $hf < \Phi$, não ocorre emissão de fotoelétrons. Nota-se que a equação 3.3 é função linear, logo da representação gráfica da energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ em função da frequência f obtém-se uma reta conforme indicado na Figura 3.3, em que o valor da energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ será superior a 0 J, se a frequência f da radiação eletromagnética incidente for superior à frequência de corte f_c .

Figura 3.3: Energia cinética máxima em função da frequência



Fonte: O Autor.

A função trabalho corresponde à energia que os elétrons precisam receber para vencerem a barreira de potencial da superfície metálica. A barreira de potencial do metal corresponde à energia aprisiona os elétrons ao mesmo. Em 1916, o físico norte-americano Robert Andrews Millikan (1868-1953), confirmou experimentalmente o valor da constante de Planck a partir do coeficiente angular da reta do gráfico da energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ em função da frequência f para diferentes materiais. Millikan obteve retas com frequências de corte diferentes. No entanto, as inclinações das retas (coeficiente angular) eram equivalentes à constante de Planck h , expressa na equação 3.4, de modo que para $f \geq f_c$:

$$h = \frac{\Delta E_{C(Máx)}}{\Delta f}. \quad 3.4$$

A energia dos fótons tem valor muito pequeno, por isso, utiliza-se o elétron-volt² como unidade de energia no efeito fotoelétrico, de modo que 1,0 eV corresponde à energia equivalente à aproximadamente $1,6 \cdot 10^{-19}$ J.

Para o espectro de luz visível, a frequência pode ser relacionada à cor conforme dados apresentados no Quadro 3.1, que apresenta valores de comprimento de onda, frequência e energia dos fótons emitidos por uma fonte de radiação eletromagnética. É importante destacar que mesmo que uma onda mude de um meio para outro, sua frequência permanece inalterada.

Quadro 3.1: Relação de cor e suas quantidades correspondentes.

Cor	Comprimento de Onda (10^{-9} m)	Frequência (10^{12} Hz)	Energia dos Fótons emitidos (eV)
Vermelho	~625-740	~405-480	~1,68-1,99
Laranja	~590-625	~480-510	~1,99-2,11
Amarelo	~565-590	~510-530	~2,11-2,20
Verde	~500-565	~530-600	~2,20-2,49
Ciano	~485-500	~600-620	~2,49-2,56
Azul	~440-485	~620-680	~2,56-2,83
Violeta	~380-440	~680-790	~2,83-3,27

Fonte: O Autor.

² Um elétron-volt é a unidade de energia que corresponde ao trabalho τ realizado pela força elétrica para que um elétron de carga $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, se desloque do repouso entre dois pontos cuja diferença de potencial elétrico seja $U = 1$ V:

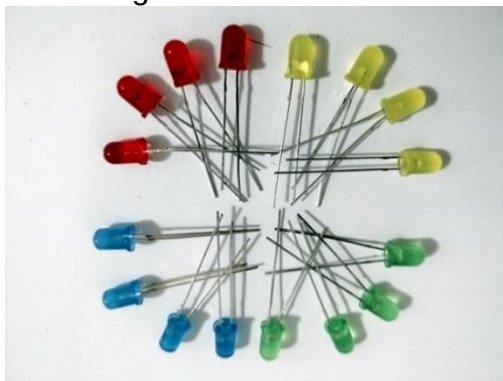
$$\tau = qU \Rightarrow 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

3.2 A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida

O diodo emissor de luz

LED, do inglês – Light Emitting Diode: Diodo Emissor de Luz. Os LEDs, como os apresentados na Figura 3.4 estão presentes em lanternas, automóveis, TVs, smartphones, por exemplo. Existem várias aplicações modernas nas quais os LEDs estão presentes. Para explicar o funcionamento do diodo emissor de luz é preciso explorar alguns conceitos da Física do Estado Sólido, especificamente bandas de energias e o dispositivo semiconductor.

Figura 3.4: Imagem de LEDs de diferentes cores



Fonte: O Autor.

Bandas de energias

Uma banda de energia corresponde à configuração de energia do sólido. Denomina-se camada³ de valência, a camada mais externa do átomo que é ocupada pelos elétrons com maior nível de energia, também denominados de elétrons mais livres.

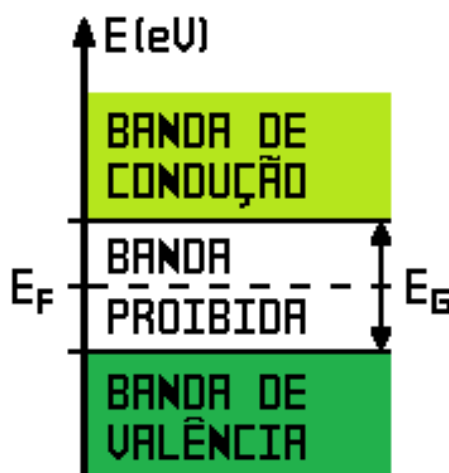
No caso de um sólido, a banda de energia ocupada pelos elétrons mais livres é denominada de banda de valência. Para que elétrons de uma banda de valência totalmente ocupada possam participar da condução de eletricidade em um sólido, estes precisam ser excitados ao receber energia suficiente de uma fonte externa, como por exemplo, de uma bateria. A banda de energia ocupada por elétrons excitados que podem participar da condução de eletricidade num sólido é denominada de banda de condução. Podem haver valores não permitidos de energia, isto é, um

³ As camadas K, L, M, N, O, P, e Q de um átomo são associadas ao número quântico principal $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6,$ e 7 , este número indica os níveis de energia de um elétron. Elétrons com maior nível de energia estão nas camadas mais externas do átomo. Quanto maior for o nível de energia de um elétron, este estará mais afastado do núcleo, portanto, mais fracamente ligado ao núcleo, por isso, estes elétrons são denominados de elétrons mais livres. Em geral, são os elétrons mais livres que participam de ligações químicas.

elétron da banda de valência só é promovido à banda de condução se receber uma energia mínima necessária para a transição acontecer.

Os valores de energia intermediários entre a banda de valência e a banda de condução compõem uma região denominada de banda proibida. Portanto, não há elétrons com energias correspondentes aos valores da banda proibida. Na Figura 3.5 é apresentado uma representação de diagrama de bandas de energia mencionadas anteriormente, suas respectivas larguras juntamente com a indicação do valor de energia correspondente à largura da banda proibida denotado por E_G , Energia de GAP, e o valor de energia no centro da banda proibida denominado de E_F , Energia de Fermi. A unidade de energia utilizada nos diagramas de bandas de energia é o eV.

Figura 3.5: Representação de um diagrama de Bandas de Energia



Fonte: O Autor.

Condução de eletricidade nos materiais

Os materiais apresentam propriedades distintas, entre elas destacam-se a resistividade elétrica e a largura da banda proibida (GAP), que são características importantes para determinar se um material é condutor, isolante ou semiconductor.

A resistividade elétrica é uma propriedade microscópica dos materiais, esta é relacionada à resistência elétrica, quanto menor for o valor da resistividade de um material, maior será a condutividade elétrica do mesmo. Os metais são bons exemplos de condutores porque apresentam resistividade elétrica muito baixa. De outro lado os bons isolantes possuem resistividade elétrica muito elevada e por isso são maus condutores de eletricidade. Sob esta perspectiva, materiais semicondutores apresentam resistividade elétrica intermediária.

Devido aos diferentes níveis de energia, os elétrons podem ocupar diferentes espaços nas bandas de energia permitidas. Quando um espaço não é ocupado por nenhum elétron, este espaço é denominado de espaço vazio ou disponível. A seguir, para entender melhor a condução de eletricidade em materiais, serão apresentados aspectos relacionados às bandas de energia em condutores, isolantes e semicondutores.

Condutores

Para que um material seja classificado como condutor, pelo menos uma das condições a seguir deve ser satisfeita:

- A banda de valência pode ser parcialmente ocupada. Neste caso, elétrons de valência podem ser excitados em níveis próximos de energia, cuja situação está representada no diagrama de bandas de energia na Figura 3.6a;
- A banda de valência pode coincidir parcialmente com a banda de condução, situação representada no diagrama de bandas de energia na Figura 3.6b.

Isolantes

Isolantes elétricos são dispositivos que oferecem alta resistência à condução de eletricidade. Um sólido é classificado como isolante elétrico se a banda de valência estiver totalmente ocupada, e, se a largura da banda proibida for superior a aproximadamente 2,0 eV, sendo que o diagrama de bandas de energia para estes tipos de materiais é mostrado na Figura 3.6c.

Devido às características de um isolante elétrico, para que elétrons de valência sejam promovidos à banda de condução, é necessário que estes recebam energia razoavelmente alta. Denomina-se de ruptura da rigidez do dielétrico quando acontece condução de elétrons num material isolante.

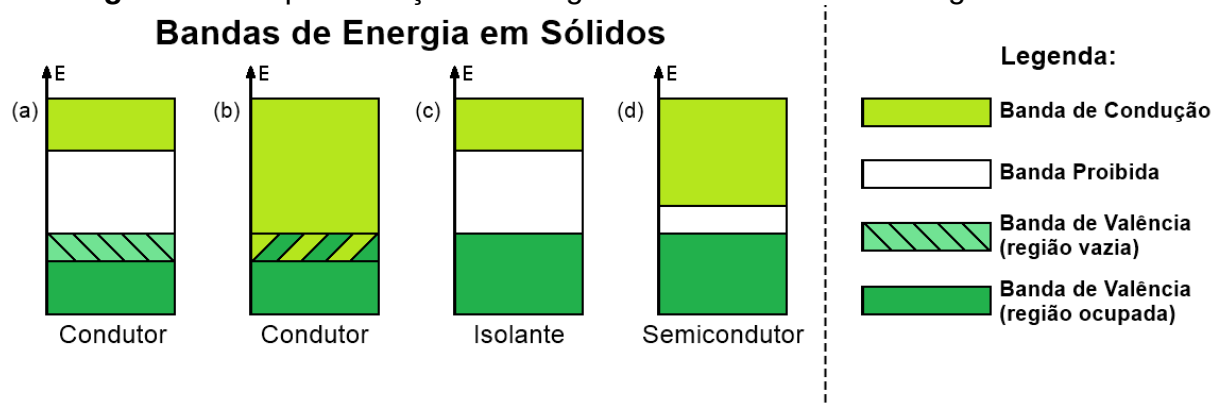
Semicondutores

Materiais semicondutores possuem a banda de valência totalmente ocupada. No entanto, a banda proibida é relativamente estreita conforme a representação dada na Figura 3.6d, deste modo elétrons de valência podem facilmente ser excitados à banda de condução. Se um elétron de valência é excitado à banda de condução, o espaço que era ocupado pelo elétron na banda de valência fica vazio, este espaço vazio é denominado de “buraco”. Quando uma tensão elétrica aplicada num sólido

semicondutor transfere um elétron de valência de um átomo para um espaço desocupado de outro átomo próximo, pode-se afirmar que:

- No primeiro átomo surgiu um buraco devido à saída do elétron de valência.
- No segundo átomo o elétron transferido ocupou o espaço que estava vazio, portanto, o buraco que havia inicialmente no segundo átomo desapareceu.
- O elétron e o buraco foram deslocados em sentidos contrários.

Figura 3.6: Representação em diagramas de bandas de energia em sólidos



Não é possível que um espaço das bandas de energia esteja ocupado e vazio simultaneamente. Isto é, ao considerar determinado espaço das bandas de energia, ou haverá um elétron quando o espaço estiver ocupado, ou existirá um buraco quando o referido espaço estiver vazio. Por isso, determinado ponto de um sólido não pode conter um elétron e um buraco ao mesmo tempo.

Corrente elétrica em um material semicondutor

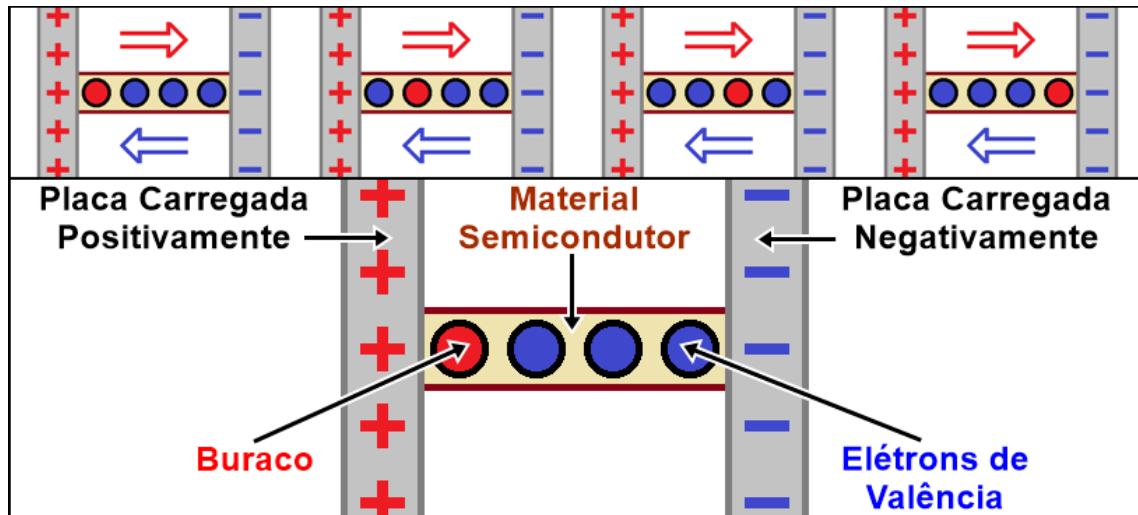
Quando ocorre condução de eletricidade em determinado material, tem-se um movimento “ordenado” de cargas elétricas, este movimento é denominado de corrente elétrica. O sentido da corrente elétrica depende de como é considerado o movimento das cargas, isto é, se for levado em conta o deslocamento dos elétrons⁴, o movimento tem um sentido: os elétrons são repelidos⁵ pelo polo negativo e atraídos pelo positivo, de uma bateria, como por exemplo. No entanto, se o deslocamento dos buracos for levado em conta, então o sentido do movimento é outro: os buracos são repelidos pelo polo positivo e atraídos pelo negativo. Portanto, a corrente de elétrons possui sentido

⁴ Os elétrons são portadores de cargas elétricas de sinal negativo. Como um buraco consiste na falta de um elétron, os buracos são portadores de cargas elétricas de sinal positivo.

⁵ A interação entre cargas elétricas de mesmo sinal é de afastamento, enquanto que, a interação entre cargas elétricas de sinais contrários é de aproximação.

contrário ao da corrente de buracos. A Figura 3.7 a ilustra de forma esquematizada o movimento de elétrons e de buracos.

Figura 3.7: Ilustração de Corrente de buracos e de elétrons em um material semiconductor



Fonte: O Autor.

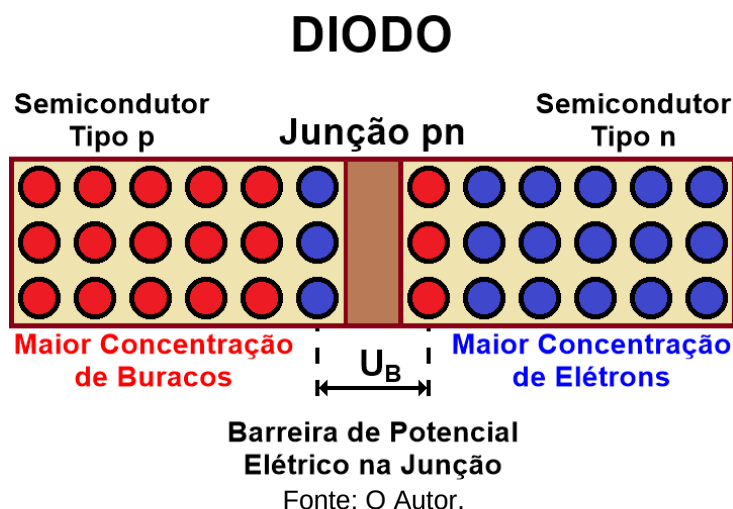
Diodos

Um diodo consiste na junção de dois materiais semicondutores, um tipo p (positivo) com maior quantidade de buracos⁶, e, outro tipo n (negativo) com excesso de elétrons⁷. Devido à diferença de concentração de cargas positivas e negativas, ocorre uma transferência de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n. Como efeito da transferência de cargas para ambos os lados, aparece uma barreira de potencial elétrico U_B na junção pn. Na Figura 3.8 está representado um diodo retificador constituído pela junção uma junção pn, este permite o fluxo de elétrons em um único sentido.

⁶ Átomos aceitadores de elétrons.

⁷ Átomos doadores de elétrons.

Figura 3.8: Ilustração de uma junção pn

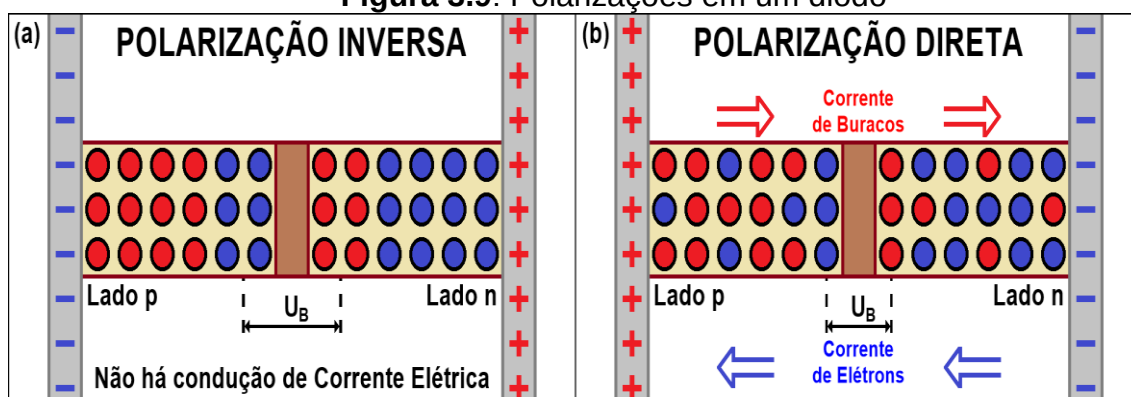


Um LED possui a mesma característica que um diodo retificador, isto é, um LED só conduz elétrons em um único sentido. Para não confundir corrente de buracos e de elétrons, que possuem sentidos contrários, adota-se a corrente convencional, na qual considera-se o movimento das cargas positivas (buracos), do polo positivo ao negativo⁸.

A barreira de potencial elétrico U_B impõe certa dificuldade para que ocorra deslocamento de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n. Para ocorrer condução de corrente elétrica no diodo, este deve ter suas extremidades submetidas à uma tensão elétrica capaz de vencer a barreira de potencial na junção. Ao conectar os lados p e n de um diodo aos polos de uma bateria, pode ocorrer dois tipos de polarização na junção pn, situações mostradas na Figura 3.9:

- Ocorre Polarização Inversa quando se conecta o polo negativo ao lado p e o positivo ao lado n, conforme representado na Figura 3.9a. Neste tipo de configuração a tensão elétrica aplicada pela bateria dificulta ainda mais o fluxo de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n.
- Ocorre Polarização Direta quando se conecta o polo positivo ao lado p e o negativo ao lado n, conforme representado na Figura 3.9b. Quando a tensão externa vence a barreira de potencial da junção, aumenta a difusão de buracos para o lado n e de elétrons para o lado p, facilitando a condução de corrente elétrica pelo dispositivo.

⁸ Como apontado anteriormente, não há problemas em se usar o sentido convencional para a corrente elétrica. Vale a pena destacar que a corrente de elétrons é denominada de corrente real.

Figura 3.9: Polarizações em um diodo

Fonte: O Autor.

A fotoemissão

O LED é um diodo de alta polarização em que a corrente elétrica que percorre o componente é razoavelmente elevada, de aproximadamente 20 mA⁹. Para que ocorra emissão de luz, elétrons e buracos são atraídos para a junção do dispositivo, de modo que quando um elétron é “recombinado” com um buraco ocorre a emissão de um fóton com energia definida pela equação 3.1 e por comodidade é apresentada em seguida,

$$E = hf. \quad 3.1$$

No lado p da junção, quando elétrons da banda de condução são transferidos para espaços disponíveis (buracos) na banda de valência há liberação¹⁰ de energia em forma de radiação eletromagnética (fótons). No lado n, quando elétrons de valência são excitados e passam a ocupar espaços disponíveis na banda de condução, a energia excedente também é liberada em forma de luz. Cada elétron pode ocupar somente um espaço disponível, e, cada espaço disponível pode ser recombinado apenas com um elétron, por isso, a cada recombinação elétron-buraco ocorre emissão de um fóton. Se ocorrer n recombinações, n fótons serão emitidos.

A cor da luz emitida pelo LED

Conforme apresentado na Seção 3.1, há uma relação entre a energia do fóton e a cor da luz emitida. Cores diferentes procedem de valores distintos de frequências. Como por exemplo, se um LED emitir fótons com energia $E = 1,75$ eV, a

⁹ Se a corrente for de 20 mA, então no intervalo de 1 s, passam cerca de 10^{17} pela junção do LED.

¹⁰ Elétrons da banda de condução possuem níveis maiores de energia, quando estes elétrons são transferidos para espaços disponíveis na banda de valência, os mesmos passam a ocupar níveis de energia inferiores, por isso, a diferença de energia é liberada em forma de luz.

respectiva frequência da radiação eletromagnética seria $f \cong 420.10^{12}$ Hz, este valor corresponde à luz ao vermelho. A cor da luz emitida pelo LED depende da energia cedida em cada recombinação elétron-buraco. Quanto mais larga for a banda proibida (GAP), maior será a energia do fóton emitido. Portanto, maior será a respectiva frequência da radiação eletromagnética emitida. No entanto, a cor da luz independe da intensidade de corrente elétrica. Quanto maior for a corrente elétrica que percorre o dispositivo, maior será o número fótons emitidos, consequentemente maior será a intensidade da luz emitida pelo LED. A cor e a frequência dependem de que tipo de impurezas são utilizadas na fabricação dos materiais semicondutores que constituem os diodos emissores de luz, estas impurezas interferem nas propriedades dos LEDs, deste modo pode-se obter radiações eletromagnéticas com frequências diferentes. Para a obtenção de algumas cores de luz mais específicos, existem outros fatores externos à fabricação dos LEDs, por exemplo, o encapsulamento do dispositivo pode ser tingido.

3.3 A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida

Cálculo da frequência da luz emitida por um LED

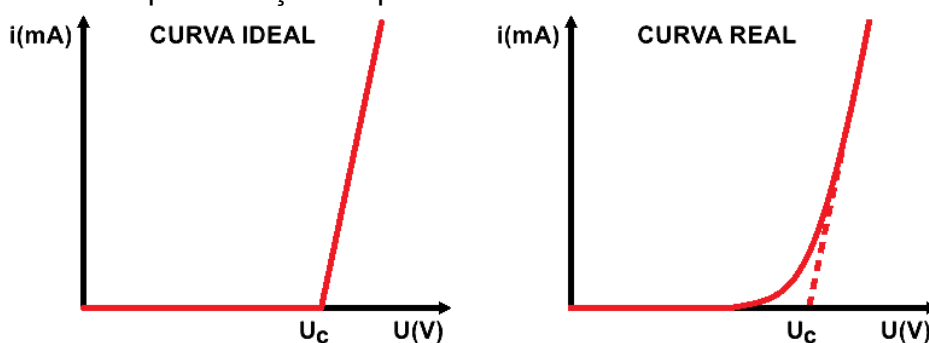
Da definição de trabalho realizado pela força elétrica para transportar uma carga elétrica, tem-se que a energia para transportar cada elétron de carga elétrica $q = 1,6.10^{-19}$ C, entre as extremidades de um LED submetido à diferença de potencial elétrico U é:

$$E = qU. \quad 3.5$$

Quando um elétron é conduzido pelo LED, ocorre a emissão de um fóton de energia:

$$E = hf, \quad 3.1$$

em que $h = 6,63.10^{-34}$ J.s é a constante de Planck, e, f é a frequência da radiação eletromagnética emitida. O LED apresenta uma barreira de potencial elétrico associado à sua estrutura, isto implica que a condução de corrente elétrica ocorre a partir de determinado valor de U que pode ser verificado graficamente pela curva característica $i \times U$ representada na Figura 3.10.

Figura 3.10: Representação esquemática da curva características de um LED

Fonte: O Autor.

A curva característica de um LED é obtida ao variar a tensão elétrica nos terminais do referido componente. Dos pares corrente e tensão elétricas é construído o gráfico corrente versus tensão no LED, a curva gerada é denominada de curva característica. Idealmente um LED deveria conduzir corrente elétrica a partir de um valor de tensão específico denominado de potencial de corte, entretanto o que se verifica experimentalmente é que pode ocorrer condução de corrente para tensões menores que o potencial de corte.

Da curva característica de um LED (Figura 3.1), U_c é denominado potencial de corte do LED. Para um LED ideal, i aumenta linearmente com $U \geq U_c$. Para um LED real o valor de U_c é obtido ao traçar uma reta tangente ao trecho linear da curva $i \times U$ do LED. Com o valor de U_c obtido graficamente, da combinação entre as equações 3.1 e 3.5, obtém-se

$$\begin{aligned} hf &= qU_c, \\ f &= \frac{q}{h} U_c. \end{aligned} \quad 3.6$$

A equação 3.6, possibilita obter o valor experimental da frequência da luz emitida por um LED, este valor pode ser comparado com previsões teóricas apresentadas no Quadro 3.1, apresentado anteriormente.

3.4 Os fótons que interagem com o fotodiodo

Sensores de luz

Existem várias finalidades relacionadas à utilização de sensores de luz, seguem alguns exemplos nos quais determinados dispositivos funcionam com componentes sensíveis à presença e/ou variação de luz:

- O sensor de luminosidade que “liga ou desliga” a lâmpada de um poste do sistema de iluminação pública. Durante o dia o sensor desliga a lâmpada, enquanto que, durante a noite o sensor mantém a lâmpada ligada;
- O sensor de presença que faz com que uma porta seja aberta quando alguém se posiciona próximo à mesma;
- O sensor de alarme que é ativado quando algum movimento é captado pelo dispositivo.

Há muitas outras aplicações de sensores na indústria e em diversas tecnologias.

O fotodiodo

O fotodiodo consiste em um diodo sensível à radiação eletromagnética. Como se trata de um diodo, o dispositivo é formado pela junção de dois materiais semicondutores, um tipo p e outro tipo n, conforme apresentado anteriormente na seção 3.2. Ao contrário do LED que pode emitir luz quando percorrido por uma corrente elétrica, o fotodiodo só conduz eletricidade quando recebe radiação eletromagnética com valores específicos de frequência.

Por exemplo, o olho humano pode ser citado como um sensor biológico de luz, pois é sensível às radiações eletromagnéticas com determinados valores de frequência, estes valores são definidos em um intervalo denominado de região visível do espectro eletromagnético.

Esta região é limitada entre os valores de frequência correspondentes às cores vermelho e violeta. O olho humano não consegue perceber radiações eletromagnéticas cujos valores de frequência são:

- Inferiores a $405 \cdot 10^{12}$ Hz, frequência limite inferior para o vermelho, estes valores de frequência compõem certa região do espectro eletromagnético denominada de infravermelho.

- Superiores a $790 \cdot 10^{12}$ Hz frequência limite superior para o violeta, estes valores de frequência compõem outra região do espectro eletromagnético denominada de ultravioleta.

Existem outras regiões do espectro cujas radiações eletromagnéticas são invisíveis ao olho humano, no entanto, nesta seção atém-se às regiões infravermelho, visível e ultravioleta do espectro eletromagnético.

Assim como o olho humano, o fotodiodo é sensível a frequências específicas limitadas em determinada região do espectro eletromagnético. Dependendo do material utilizado na fabricação de fotodiodos, estes podem ser sensíveis a diferentes regiões do espectro eletromagnético. Como por exemplo, o fotodiodo constituído de germânio é sensível à região do infravermelho, enquanto que o constituído de silício é sensível ao ultravioleta.

Um fotodiodo pode ser sensibilizado por uma lâmpada desde duas condições sejam satisfeitas:

- A mesma deve emitir radiação eletromagnética cujas frequências estejam contidas no intervalo do espectro eletromagnético cujos fótons interagem com o fotodiodo;
- Um número suficiente de fótons interagentes com o fotodiodo deve incidir sobre o mesmo.

Com relação à última condição citada, pode-se destacar que a probabilidade da luz emitida por uma lâmpada capaz de sensibilizar um fotodiodo depende da intensidade de radiação incidente sobre o mesmo, pois quanto maior a for este valor, maior será o número de fótons que chegam ao fotodiodo. Observa-se que a intensidade depende da distância:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi d^2}. \quad 3.7$$

Em que I corresponde à intensidade, P à potência (uma característica da lâmpada), A à área (geralmente é superfície esférica, cujo raio coincide com a distância entre a fonte e o receptor), e, d à distância da lâmpada (fonte) ao sensor (fotodiodo). Disto, pode-se concluir que se uma lâmpada emite radiação eletromagnética com frequência necessária para ativar o circuito, porém se a intensidade de radiação for muito pequena o sensor provavelmente não será acionado.

4. Conjuntos experimentais

Para facilitar a compreensão referente à organização dos conjuntos experimentais utilizados nas Aulas que compõe este produto educacional, são apresentados os procedimentos para as montagens dos mesmos.

O primeiro conjunto, utilizado na Aula 2, consiste em um circuito elétrico de 4 LEDs associados em paralelo. O uso do circuito permite verificar qualitativamente que quanto menor for a frequência da luz emitida por um LED, maior será a probabilidade de um elétron ser conduzido pelo mesmo e provocar a emissão de um fóton.

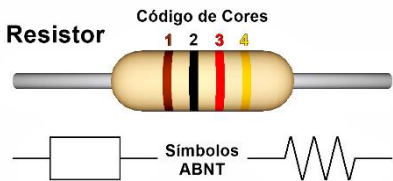
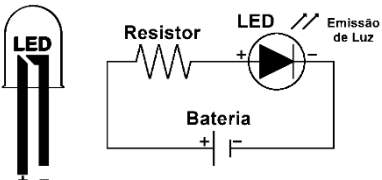
O segundo conjunto, utilizado na Aula 3, é composto por um circuito elétrico acompanhado de dois multímetros. A prática desenvolvida na Aula 3 tem por objetivo efetuar o cálculo da frequência da luz emitida por um LED a partir da definição de energia de um fóton. Aliado ao referido conjunto, tem-se um roteiro experimental para nortear as ações do professor quanto aos procedimentos necessários à realização da atividade proposta.

Por fim, o último conjunto, utilizado na Aula 4, é constituído por uma caixa que contém 5 lâmpadas, estas emitem diferentes radiações eletromagnéticas. Outro componente que integra o conjunto citado, é o circuito elétrico retirado do interior de uma vela, este faz com que a mesma mude de cor. O circuito é acionado por um sensor fotodiodo mediante a incidência de luz com frequências específicas correspondentes à determinada região do espectro eletromagnético sobre o mesmo. Expor o circuito à luz emitida por cada lâmpada e efetuar diferentes testes experimentais são tarefas para investigar hipóteses para identificar a região do espectro eletromagnético cujas frequências acionam o circuito.

4.1 Conjunto experimental utilizado na Aula 2

Materiais

No Quadro 4.1 são apresentados os materiais e respectivas funções para a montagem do circuito utilizado na Aula 2. No Quadro 4.2 há um orçamento¹¹ dos referidos materiais.

Quadro 4.1: Materiais utilizados para montagem do circuito da Aula 2	
Materiais	Funções
Placa Protoboard 	O circuito utilizado na prática experimental deverá ser montado sobre uma placa protoboard.
Resistor $R = 1\text{ k}\Omega$ 	O resistor R terá a função de “regular a corrente”, isto é, se o LED for conectado diretamente à bateria de tensão $U = 9,0\text{ V}$, as chances de queimar o componente são altas. O valor da resistência do componente utilizado no circuito é $R = 1\text{ k}\Omega$.
4 LEDs 	Serão utilizados 4 LEDs de emissão nas cores: vermelho, amarelo (ou laranja), verde e azul (ou violeta).
Bateria de 9 Volts (Corrente Contínua) 	Como fonte de tensão será utilizada uma bateria de corrente contínua e tensão nominal $U = 9,0\text{ V}$.

Fonte: O Autor

¹¹ Realizado na cidade de Ponta Grossa em agosto de 2015.

Quadro 4.2: Orçamento dos materiais utilizados para montagem do circuito proposto na Aula 2

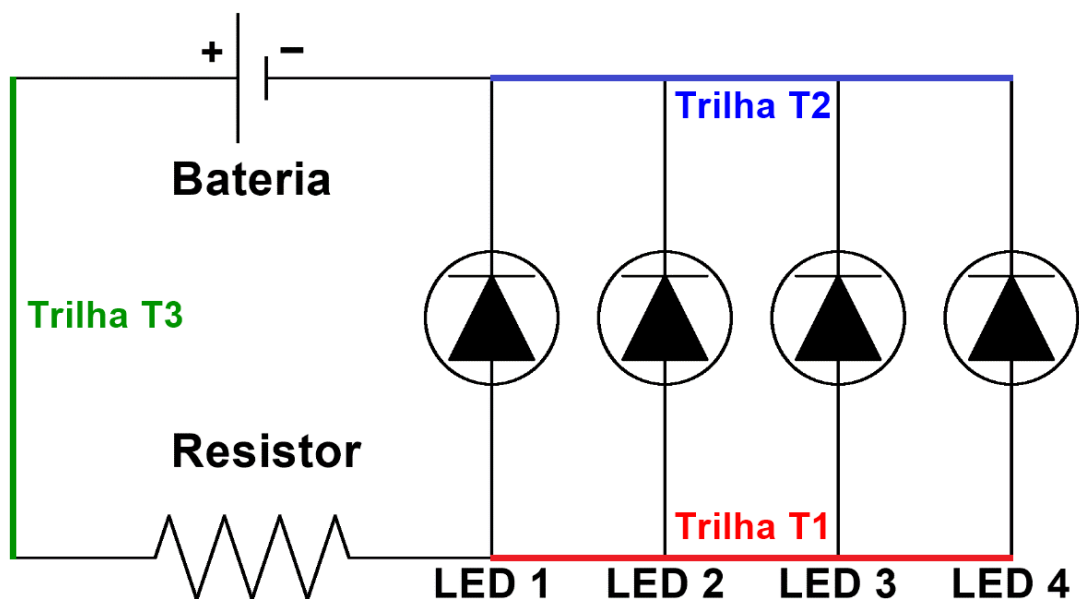
Materiais	Quantidade	Custo aproximado
Placa protoboard	1	R\$ 35,00
Bateria (9 v) c/ conector	1	R\$ 5,00
Led 5 mm (cores)	4	R\$ 12,00
Resistor 1 k Ω	1	R\$ 0,50
Total (1 conjunto)	1	R\$ 52,50

Fonte: O Autor.

Procedimentos para montagem do circuito (Figura 4.1)

- Associe todos os LEDs em paralelo de modo que o terminal positivo de cada LED esteja conectado a uma mesma trilha T1, e, cada negativo sobre outra trilha T2;
- Conecte um dos terminais do resistor e o polo positivo (fio vermelho) da bateria a outra trilha separada T3;
- Ligue o outro terminal do resistor à trilha T1 que contém o terminal positivo de cada LED;
- Conecte o polo negativo (fio preto) da bateria à trilha T2 que contém o terminal negativo de cada LED.

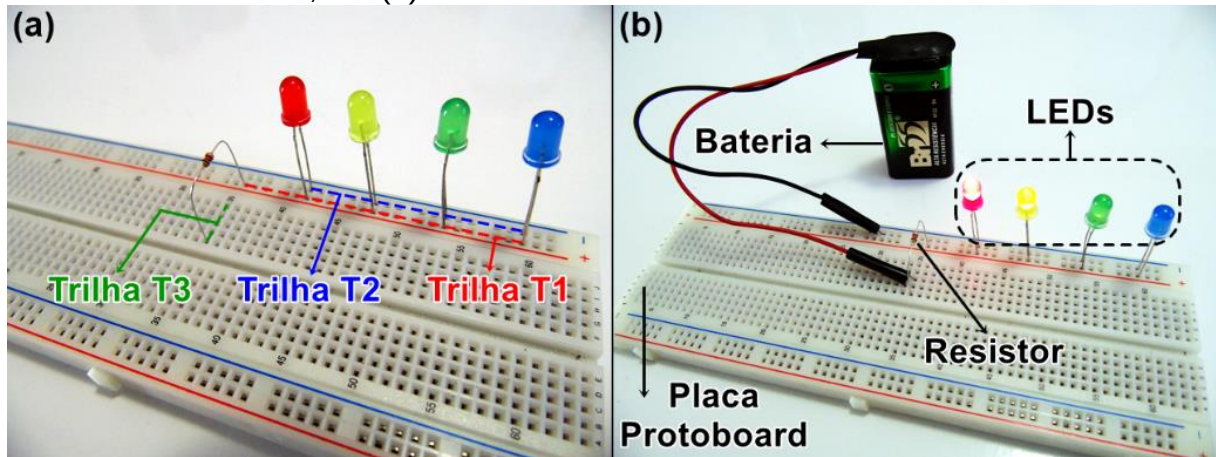
Figura 4.1: Representação do circuito com 4 LEDs de diferentes cores associados em paralelo utilizados na Aula 2



Fonte: O Autor.

Na Figura 4.2 estão apresentados a indicação das trilhas T1, T2 e T3 na placa protoboard e o circuito em funcionamento. Da observação do circuito em funcionamento com os quatro LEDs associados em paralelo pode-se verificar que o LED emissor de luz vermelha brilha mais intensamente que os outros, enquanto que o LED emissor de luz azul não acende.

Figura 4.2: Circuito utilizado na Aula 2, em (a) são indicadas as trilhas T1, T2 e T3, e, em (b) tem-se o circuito em funcionamento



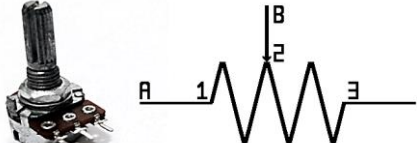
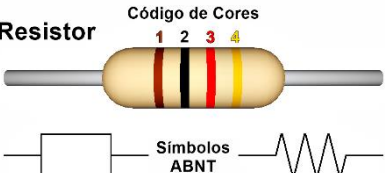
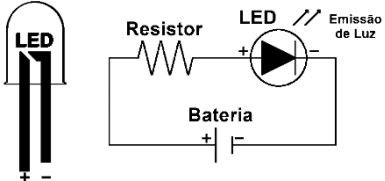
Fonte: O Autor.

4.2 Conjunto experimental utilizado na Aula 3

Materiais

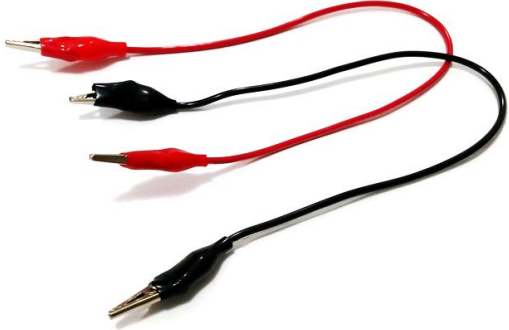
No Quadro 4.3 seguem os materiais necessários e respectivas funções para a montagem do circuito utilizado na Aula 3. No Quadro 4.4 é apresentado um orçamento¹² dos referidos materiais.

Quadro 4.3: Materiais utilizados para montagem do circuito da Aula 3
(continua)

Materiais	Funções
Placa Protoboard 	O circuito utilizado na prática experimental deverá ser montado sobre uma placa protoboard.
Potenciômetro  Contatos 1 2 3	O potenciômetro terá a função de variar a resistência equivalente do circuito, deste modo pode-se obter valores diferentes de corrente e tensão nos terminais do LED.
Resistor  Código de Cores Resistor Símbolos ABNT	O resistor R terá a função de “regular a corrente”, isto é, se o LED for conectado diretamente à bateria de tensão $U = 9,0 \text{ V}$, as chances de queimar o componente são altas. O valor da resistência do componente utilizado no circuito é $R = 1 \text{ k}\Omega$.
LED  LED Resistor Bateria Emissão de Luz	Cada grupo receberá um LED de emissão: infravermelho, vermelho, azul ou violeta.
Multímetro 	Para efetuar as medidas no circuito, serão utilizados dois multímetros. Um associado em paralelo ao LED, para medir a tensão elétrica $U(\text{V})$ no dispositivo. Outro em série com o LED, para medir a intensidade de corrente elétrica $i(\text{mA})$ que passa pelo mesmo.

¹² Realizado na cidade de Ponta Grossa em agosto de 2015.

Quadro 4.3: Materiais utilizados para montagem do circuito da Aula 3
(continuação)

Materiais	Funções
1 par de Cabos com Garras Jacaré 	Os cabos com garras jacaré serão utilizados para conectar as pontas dos cabos do multímetro que deve ser ligado em série com o circuito.
Bateria de 9 Volts (Corrente Contínua) 	Como fonte de tensão será utilizada uma bateria de corrente contínua e tensão nominal $U = 9,0 \text{ V}$.

Fonte: O Autor

Quadro 4.4: Orçamento dos materiais utilizados para montagem do circuito proposto na Aula 3

Materiais	Quantidade	Custo aproximado
Multímetro digital	2	R\$ 40,00
Placa protoboard	1	R\$ 35,00
Bateria (9 v) c/ conector	1	R\$ 5,00
Cabos c/ garras jacaré (vermelho e preto)	2	R\$ 5,00
Potenciômetro (1 k Ω)	1	R\$ 3,50
Potenciômetro (20 k Ω)	1	R\$ 3,50
Led 5 mm (cores)	1	R\$ 3,00
Resistor 1 k Ω	1	R\$ 0,50
Total (1 conjunto)	1	R\$ 95,50

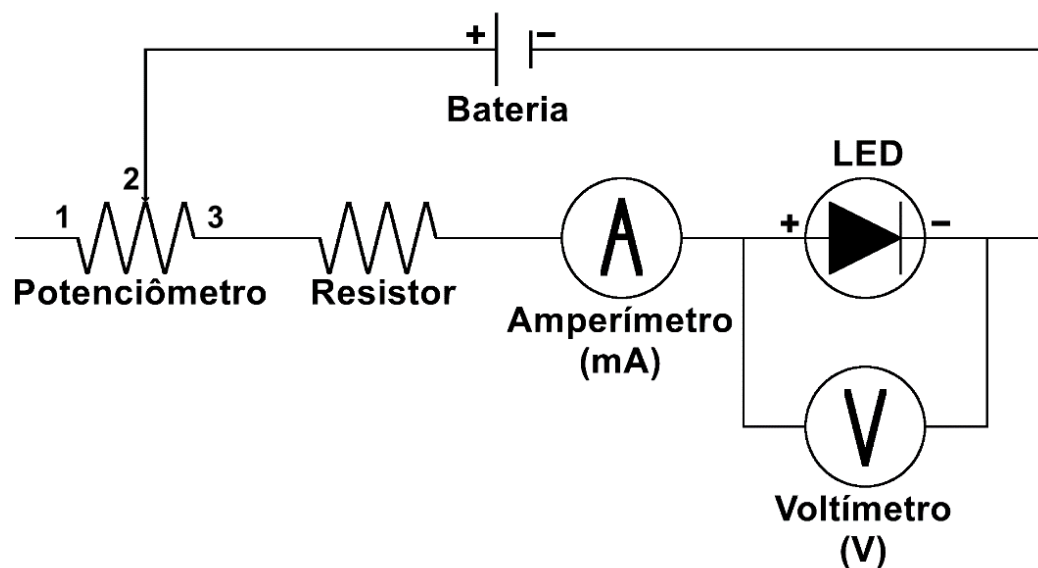
Fonte: O Autor.

Procedimentos para a montagem do circuito, de acordo com a Figura 4.3

- O potenciômetro de 20 k Ω deve ser colocado na placa próximo ao canto inferior esquerdo na coluna A, de modo que os contatos 1, 2 e 3 do componente sejam conectados, respectivamente, no início das linhas 01, 03 e 05;
- Atrás do potenciômetro, na coluna E, deve ser conectado o polo positivo da bateria (fio vermelho) na mesma trilha (linha 03) que o contato 2 do potenciômetro;
- Ainda atrás do potenciômetro, na coluna E, deve ser conectado um dos contatos do resistor de 1 k Ω na mesma trilha (linha 5) que o contato 3 do potenciômetro. O resistor não deve encostar na estrutura metálica do potenciômetro. O outro contato do resistor deve ser conectado na coluna E em uma trilha afastada do potenciômetro, como por exemplo, na linha 12;
- O cabo vermelho com garras jacaré deve ser conectado à extremidade do resistor que está afastada do potenciômetro (coluna E, linha 12). A extremidade livre do cabo vermelho com garra jacaré deve ser conectada ao contato do cabo vermelho (mA) do amperímetro (multímetro usado para medir corrente contínua com escala selecionada em 20mA);
- Na coluna A deve ser conectado o contato positivo do LED (maior), na linha 20. O contato negativo (menor) do mesmo deve ser conectado à linha 24 na coluna A;
- O cabo preto com garras jacaré deve ter uma de suas extremidades conectadas ao contato do cabo preto (COM) do amperímetro, e, a outra conectada ao contato do contato positivo do LED (coluna A e linha 20);
- O contato do cabo vermelho do voltímetro (multímetro usado para medir tensão elétrica com escala selecionada em 20 V) deve ser encostado ao contato positivo do LED (coluna A e linha 20). O contato do cabo preto (COM) do voltímetro deve ser encostado no contato negativo do LED (coluna A e linha 24);
- Após certificar que todos os procedimentos listados acima foram executados, o polo negativo (fio preto) da bateria deve ser conectado na coluna E, na mesma trilha que o contato negativo do LED (linha 24).

Observação: Em dado momento, conforme apresentado na Seção 4.3, o potenciômetro de 20 k Ω deve ser substituído pelo potenciômetro de 1 k Ω nas mesmas condições.

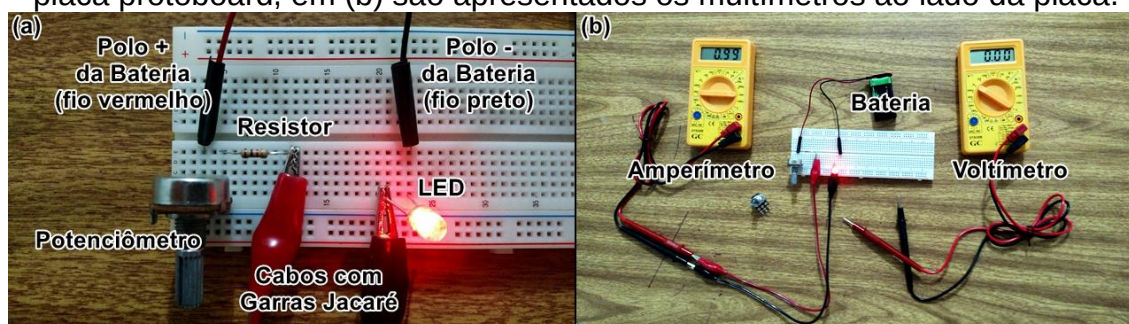
Figura 4.3: Representação do circuito utilizado na Aula 3.



Fonte O Autor

Na Figura 4.4 é mostrado o circuito utilizado na Aula 3. Em (a) tem-se os componentes ligados à placa protoboard. Em (b) tem-se os multímetros, à esquerda o amperímetro selecionado em 20mA e à direita o voltímetro selecionado em 20V. Para efetuar as medidas de tensão elétrica nos terminais do LED, deve-se encostar as extremidades dos cabos do voltímetro nos contatos do referido componente.

Figura 4.4: Circuito utilizado na Aula 3, em (a) tem-se os componentes ligados à placa protoboard, em (b) são apresentados os multímetros ao lado da placa.



Fonte: O Autor.

4.3 Roteiro experimental utilizado na Aula 3

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Coleta de dados

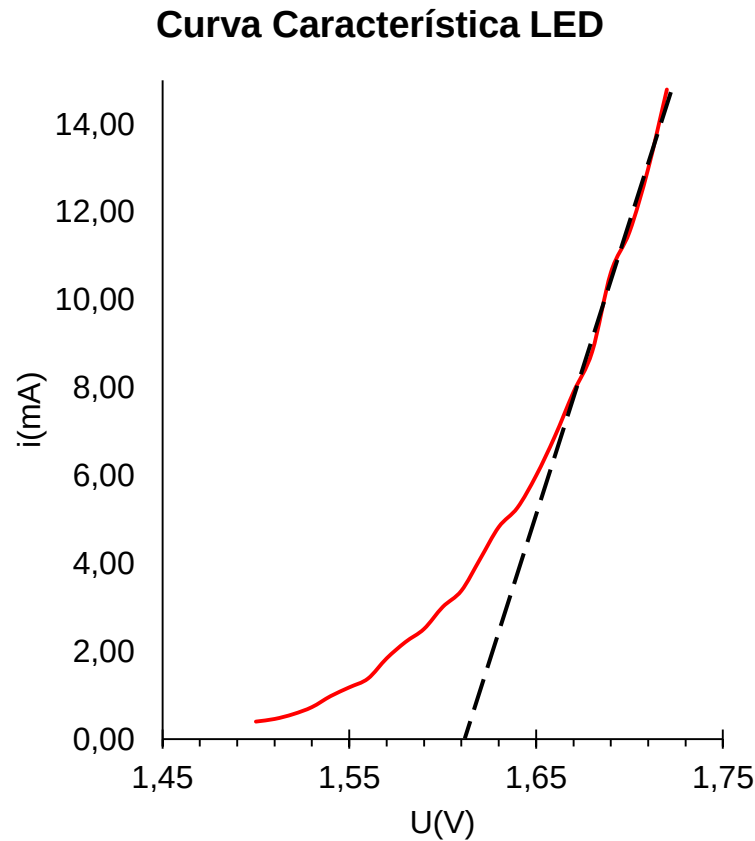
O amperímetro indicará a corrente elétrica i (mA) no circuito e o voltímetro indicará a diferença de potencial elétrico U (V) no LED. Inicialmente eixo do potenciômetro de 20 k Ω deve ser girado no sentido anti-horário de modo que os valores de i e U sejam mínimos. Então deve-se girar o eixo do potenciômetro no sentido horário de modo que o valor de U registrado no voltímetro aumente com intervalos fixos de 0,01 V. Todos os valores de i (mA) e U (V) devem ser anotados, valores para exemplificar são apresentados na Tabela 4.1. A partir de determinado valor torna-se difícil variar o valor de U em intervalos fixos de 0,01 V. Nesta etapa da coleta de dados deve-se substituir o potenciômetro de 20 k Ω pelo de 1 k Ω , as medidas devem continuar até que i e U atinjam valores máximos.

Tabela 4.1: Medidas de U e i para exemplificação

Número da medida	Diferença de potencial no LED U (V)	Corrente no circuito i (mA)
1	1,50	0,40
2	1,51	0,46
3	1,52	0,57
4	1,53	0,73
5	1,54	0,98
6	1,55	1,18
7	1,56	1,38
8	1,57	1,84
9	1,58	2,21
:	:	:
23	1,72	14,79
:	:	:
n-ésima	$U_{(Máx.)}$	$i_{(Máx.)}$

Fonte: O Autor

Para obter o valor do potencial de corte U_c do LED deve-se construir o gráfico da corrente elétrica i (mA) pela diferença de potencial elétrico U (V) a partir dos dados coletados e registrados na tabela. Então deve-se traçar uma reta tangente à parte linear da curva característica obtida como exemplificado no Gráfico 4.1. U_c corresponde ao valor em que a reta traçada intercepta o eixo U (V).

Gráfico 4.1: Exemplificação de uma curva característica de um LED

Fonte: O Autor

Cálculos

Ao substituir o valor do potencial de corte U_C na equação (3.6), obtém-se a frequência da radiação eletromagnética emitida pelo LED:

$$f = \frac{qU_C}{h} \Rightarrow f = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} U_C \Rightarrow f(\text{Hz}) \cong (241 \times U_C) 10^{12}.$$

Por exemplo, se utilizar o potencial de corte obtido do Gráfico 4.1, obtém-se um valor de frequência $f \cong 388 \cdot 10^{12}$ Hz.

Análise do resultado

Por fim, deve-se efetuar uma comparação entre os valores de frequência obtidos experimentalmente com os respectivos intervalos teóricos previstos (Quadro 3.1). No caso do valor de frequência calculado a partir do Gráfico 4.1, o referido valor corresponde ao infravermelho.

Discussão dos resultados e considerações finais

Este experimento possibilita calcular a frequência da cor emitida por um LED a partir da definição de energia dos fótons emitidos ($E = hf$). Mesmo que haja algum desvio no valor obtido, tem-se boa aproximação em relação ao espectro eletromagnético, com frequências obtidas na ordem de 10^{14} Hz. Outros fatores devem ser levados em conta, como por exemplo, a luz emitida por um LED não é monocromática.

4.4 Conjunto experimental utilizado na Aula 4

Materiais para a construção da caixa

No Quadro 4.5 seguem os materiais necessários para a montagem da caixa utilizada na Aula 4.

Quadro 4.5: Materiais usados para construir a caixa utilizada na Aula 4.

Itens		Quantidade	Dimensões (mm)
Madeira Compensada	Tampo (Placa 1) e Base (Placa 2)	2	320x300x10
	Lateral Direita (Placa 3) e Lateral Esquerda (Placa 4)	2	680x300x10
	Fundo (Placa 5)	1	700x320x10
	Suporte para os soquetes das lâmpadas (Placa 6)	1	300x300x10
	Suporte para os interruptores das lâmpadas (Placa 7)	1	300x70x10
Soquetes cerâmicos para as lâmpadas		5	45x40
Interruptores de sobrepor para as lâmpadas		5	64x42x40
Fios condutores de cobre encapado		4m	2
Conector para tomada macho (10A)		1	---
Lâmpadas		Quantidade	Potência (W)
Fluorescente branca		1	15
Fluorescente suave		1	13
Incandescente		1	15
LED		1	5
Negra		1	5
Itens gerais para a montagem e acabamento		Cola para madeira, fita isolante, parafusos, fixa cabos, tinta cor preto fosco e seladora para madeira.	
Ferramentas		Estilete, alicate de corte, furadeira, esquadro, régua, trena, nível, chaves de fenda e philips.	

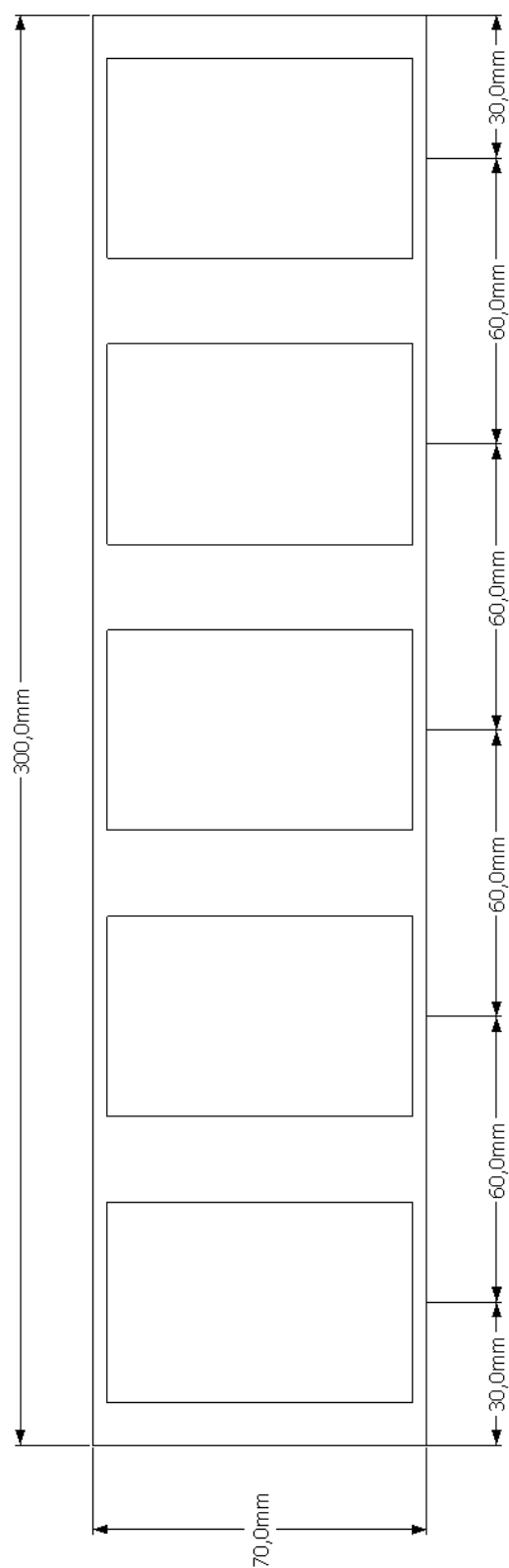
Fonte: O Autor.

A madeira compensada deve ser lixada e tingida com a tinta preto fosco. Recomenda-se usar uma seladora para conservar a pintura na caixa por mais tempo.

Procedimento para a montagem da caixa

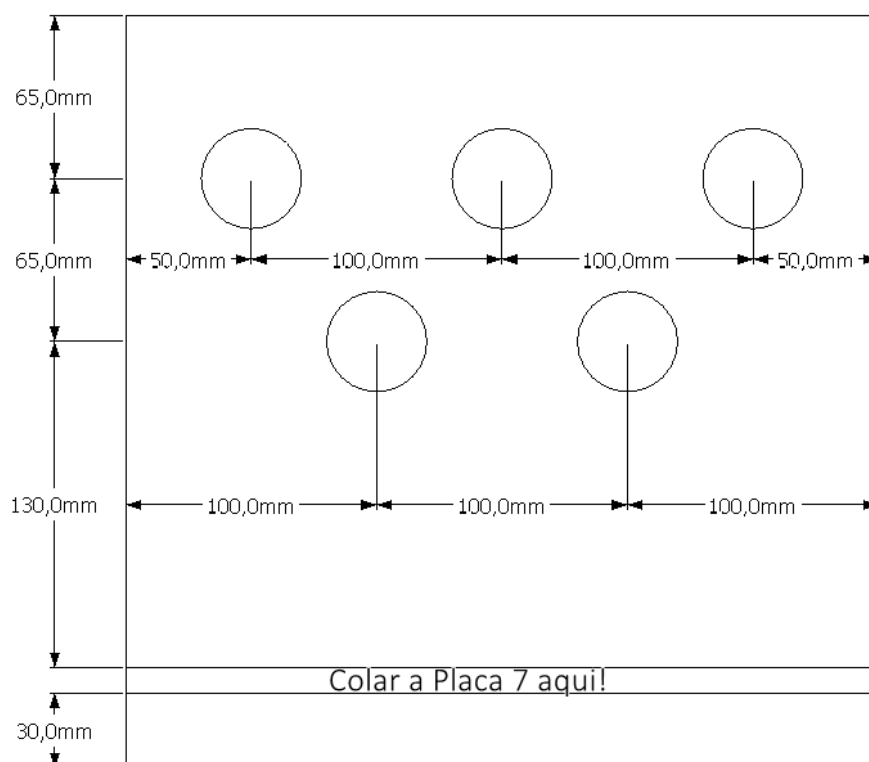
- Deve-se efetuar a marcação dos interruptores de sobrepor na Placa 7, conforme apresentado na Figura 4.5

Figura 4.5: Marcação no suporte dos interruptores das lâmpadas



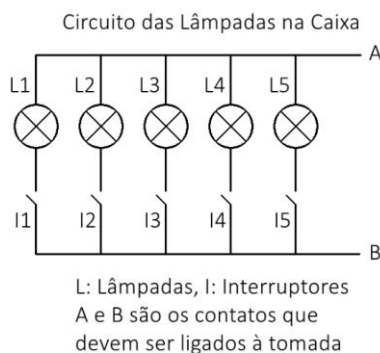
Fonte: O Autor

- Após efetuar as marcações na Placa 7, deve-se marcar as posições dos soquetes e da Placa 7 sobre a Placa 6, como mostrado na Figura 4.6. Após a marcação, a Placa 7 deve ser colada e parafusada à Placa 6.

Figura 4.6: Marcação no suporte dos soquetes das lâmpadas

Fonte: O Autor

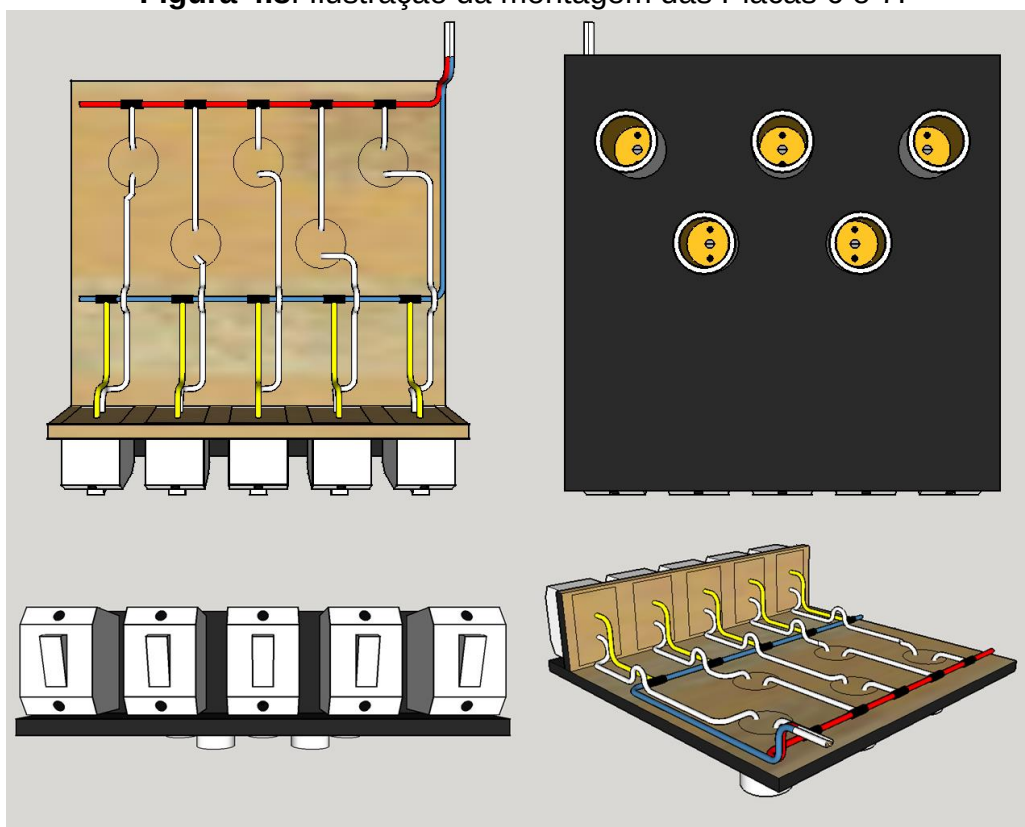
- Em seguida é necessário montar o circuito elétrico nas Placas 6 e 7. Destaca-se que as lâmpadas devem ser associadas em paralelo, e, cada uma das lâmpadas deve estar associada em série com um interruptor conforme a representação do circuito da Figura 4.7. Deste modo, cada lâmpada pode ser ligada e/ou desligada individualmente.

Figura 4.7: Representação do circuito elétrico

Fonte: O Autor.

Para melhor visualização das etapas citadas anteriormente, segue uma ilustração na Figura 4.8, da Placa 7 fixada à Placa 6, bem como montagem do circuito, colocação dos interruptores na Placa 7 e posicionamento dos soquetes das lâmpadas (bocais) na parte inferior da Placa 6.

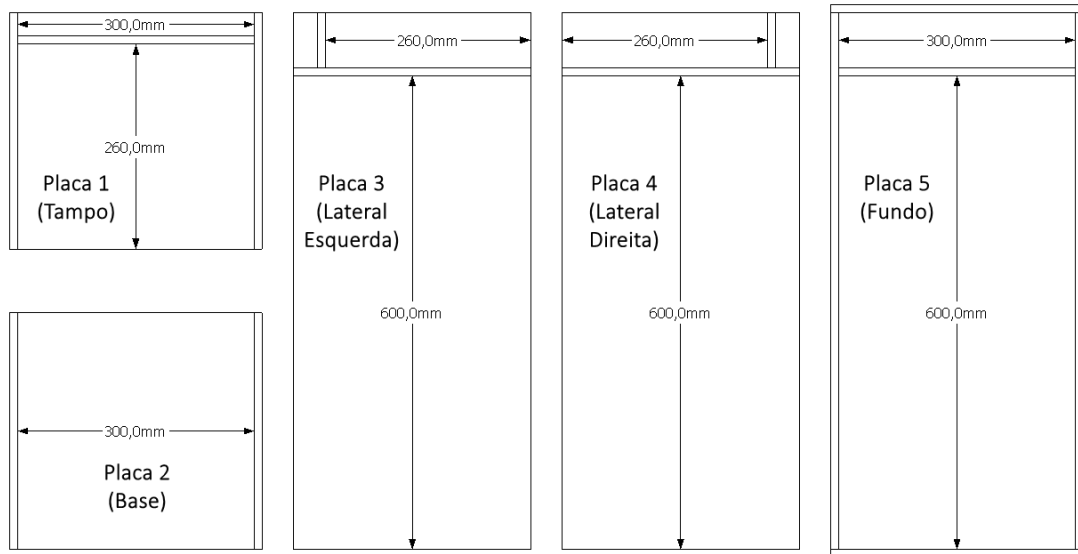
Figura 4.8: Ilustração da montagem das Placas 6 e 7.



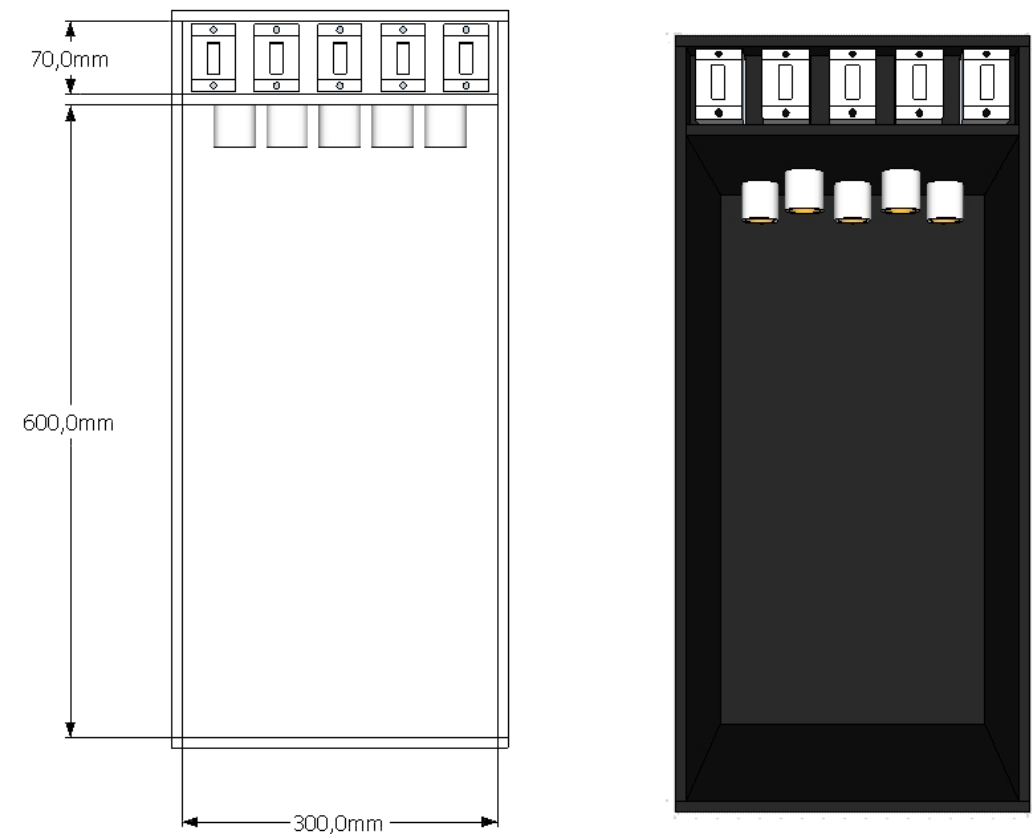
Fonte: O Autor.

- A estrutura da caixa deverá ser montada de modo que as Placas 3 e 4 sejam coladas e parafusadas sobre as extremidades opostas de 300 mm da Placa 2 de modo que a distância interna entre as laterais seja de 300 mm.
- Em seguida a junção das Placas 6 e 7 deverá ser fixada às Placas 3 e 4, de modo que o topo da placa 7 fique alinhado com o topo das Placas 3 e 4. Observa-se que a Placa 6 deverá estar paralela à Placa 2 sendo a distância interna entre ambas as placas equivalente a 600 mm.
- A Placa 5 deverá ser fixada às Placa 2, 3 e 4. Então, deverá ser aberto um orifício na Placa 5 para efetuar a passagem dos fios que conectarão circuito à rede elétrica.
- Por fim, a Placa 1 deverá ser fixada ao topo das Placas 3, 4, 5 e 7.

Para melhor visualização dos processos de montagem da estrutura da caixa seguem nas Figuras 4.9 e 4.10, as marcações nas Placas utilizadas e o modelo após o processo de montagem da caixa, respectivamente.

Figura 4.9: Marcações das Placas nas partes internas para a montagem da caixa

Fonte: O Autor.

Figura 4.10: Modelo da caixa

Fonte: O Autor.

Na Figura 4.11, tem-se o circuito retirado do interior de uma vela que muda de cor, este contém um sensor fotodiodo. O circuito é acionado quando radiações de frequências específicas incidem sobre o fotodiodo. Na Figura 4.12, o circuito é exposto

à luz das lâmpadas da caixa, observa-se apenas que em alguns casos o circuito acende.

Figura 4.11: Circuito com sensor fotodiodo



Fonte: O Autor.

Figura 4.12: Fotodiodo exposto à luz das lâmpadas da caixa.



Fonte: O Autor.

Referências

1. MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ª. ed. São Paulo: EPU, 2015.
2. LEMASTER, R. et al. Photoelectric Effect. **PhET Interactive Simulations**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>. Acesso em: Junho 2016.
3. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2014.
4. NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. São Paulo: Blucher, v. 4, 2014.
5. TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. **Física Moderna**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
6. VALADARES, E. C.; MOREIRA, M. A. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, p. 359-372, 1998.
7. CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 24-29, 2002.
8. MOURA, S. L. et al. Constante de Planck: uma nova visão para o Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 246-251, 2011.
9. DIAS, I. F. L.; TEIXEIRA, R. C.; DUARTE, J. L. **Intrdução aos semicondutores e sua aplicações tecnológicas**. 1ª. ed. Londrina: EDUEL, 2005.

Referências Consultadas

- ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no Ensino de Física: usando simulações do PhET. **Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010.
- 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, p. 176-194, 2003.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
- HODSON, D. Experiments in Science and Science Teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, p. 53-66, 1988.

- MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.
- MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2012.
- OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.
- OLIVEIRA, M. M. L. et al. Práticas experimentais de Física no contexto do ensino pela pesquisa: uma reflexão. **Experiências em Ciências**, v. 5, n. 3, p. 29-38, 2010.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.
- PEREIRA, A. P.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 72-92, 2009.
- PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.
- SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: uma experiência para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.
- SILVA, S. C. R.; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o Ensino de Física ante a nova realidade social. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.