



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

EMÍLIO DE LUCENA SILVA

**FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS: UMA
PROPOSTA DE ENSINO**

**CAMPINA GRANDE
2018**

EMÍLIO DE LUCENA SILVA

**FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS: UMA
PROPOSTA DE ENSINO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física, polo da Universidade Estadual da Paraíba como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues do Santos.

**CAMPINA GRANDE
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586f Silva, Emilio de Lucena.
Fótons como mediadores de processos eletrodinâmicos
[manuscrito] : uma proposta de ensino / Emilio de Lucena
Silva. - 2018.
89 p. : il. colorido.
Digitado.
Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de
Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências e Tecnologia, 2019.
"Orientação : Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos
, Departamento de Física - CCT."
1. Ensino de Física. 2. Eletrodinâmica. 3. Efeito
Fotoelétrico. 4. Fótons. I. Título
21. ed. CDD 537.6

EMÍLIO LUCENA SILVA

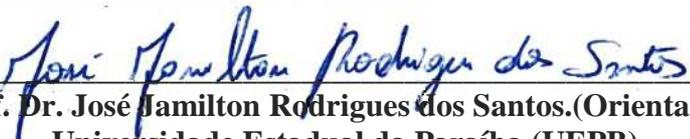
**FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS: UMA
PROPOSTA DE ENSINO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física, polo da Universidade Estadual da Paraíba como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Aprovada em: 14/12/2018

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos.(Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Everton Cavalcante
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Francisco Geraldo da Costa Filho
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

A Deus e aos meus pais por toda dedicação, paciência e investimento, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por tudo.

A meus pais, Laércio Alves da Silva e Andréia Carla de Lucena Silva, por toda a dedicação, paciência, e investimento.

Aos meus irmãos, Ítalo de Lucena e Layla Kelly de Lucena. Ao meu filho Bento.

Aos professores que compõem o corpo docente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual da Paraíba, em especial ao professor Edvaldo da Silva Oliveira por todos os ensinamentos, parceria e orientação em grande parte desse trabalho.

Ao Prof. Jamilton Rodrigues por sua paciência, incentivo e entusiasmo durante todo o momento em que estivemos juntos nas aulas e após. Sempre acreditando e confiando em seus alunos.

A uma grande amiga que construí nesse mestrado Rosilene (Rosi).

A Jessika Sonally, a quem nunca irei esquecer, força e confiança nunca faltaram.

Ao meu amigo Rodrigo Rodrigues, por todas as tarde e noites, estudando juntos durante toda a pós-graduação.

Aos meus familiares e amigos, com os quais me divirto e que sempre me apoiam.

A todos que sempre estiveram ao meu lado nos momentos tristes e nos momentos de alegria.

Muito obrigado!

RESUMO

A Física Moderna e Contemporânea desempenha relevante papel no conhecimento científico e na produção tecnológica da sociedade atual. Os estudantes dos diversos níveis de escolaridade, lidam com um universo no qual a ciência e a tecnologia tornaram-se elementos quase que fundamentais para a vida atual. Essa constatação aponta para a necessidade do estudo desse conhecimento na Educação Básica e gera a seguinte indagação: Será que a inserção de temáticas de Física Moderna durante as aulas de Física nas escolas de Ensino Médio, conduziria aos estudantes estabelecerem alguma relação com o conhecimento da Física Clássica? A partir desse questionamento, acredita-se que conteúdos de Física Moderna e Contemporânea possam ser inseridos em conexão com Física Clássica. Adota-se que os resultados dessa inserção, poderão sim contribuir para facilitar a compreensão dos estudantes no estudo desse novo conhecimento. Diante disso, propõe-se com essa pesquisa, a utilização do fóton através do Efeito Fotoelétrico, como mediador de processos em Eletrodinâmica no ensino de conteúdos de Eletricidade no Ensino Médio. A proposta envolve as seguintes ações: (i) Realização de atividades experimentais e/ou observacionais que possam facilitar a compreensão do estudante acerca desse conhecimento utilizando como ferramenta pedagógica a UEPS(Sequência Didática); (ii) Aplicação desses conceitos na produção de projetos envolvendo o fenômeno do Efeito Fotoelétrico, buscando uma conexão entre a teoria e a prática, procurando incentivar os estudantes a produzir objetos/aparatos simples em função da aquisição desse conhecimento. Essa pesquisa constitui-se em uma proposta de ensino que busca propiciar a flexibilização dos conteúdos programáticos pré-estabelecidos para o Ensino Médio, que são sempre trabalhados em uma sequência pré-determinada pelos livros didáticos. E portanto, nessa perspectiva, inserir um conteúdo de Física Moderna em conexão com a Física Clássica é sem dúvida alguma desafiar o professor de Física para que este possa incorporar outros conteúdos de Física Moderna na Educação Básica.

Palavras Chave: Ensino de Física, UEPS, Efeito Fotoelétrico, Fótons.

ABSTRACT

Modern and Contemporary Physics plays a relevant role in the scientific knowledge and technological production of today's society. Students of the various levels of schooling deal with a universe in which science and technology have become almost fundamental elements in today's life. This finding points to the need to study this knowledge in Basic Education and generates the following indignation: Would the insertion of Modern Physics in Physics classes in High School would lead the students to establish any relation with the knowledge of Classical Physics? From this questioning, it is believed that contents of Modern and Contemporary Physics can be inserted in connection with Classical Physics. It is adopted that the results of this action, could contribute to facilitate the students' understanding in the study of this new knowledge. Faced with this, it is proposed with this research, the use of photon through the Photoelectric Effect, as mediator of processes in Electrodynamics in the teaching of Electricity contents in High School. The proposal involves the following actions: (i) Experimental and / or observational activities that may facilitate the student's understanding of this knowledge using the LPS (Didactic Sequence) as a pedagogical tool; (ii) Application of these concepts in the production of projects involving the phenomenon of the Photoelectric Effect, seeking a connection between theory and practice, seeking to encourage students to produce simple objects / apparatuses in function of the acquisition of this knowledge. This research constitutes a proposal that seeks to facilitate the flexibility of pre-established program contents for High School, which are always worked in a sequence also pre-established. And therefore, in this perspective, insert a content of Modern Physics in connection with Classical Physics and challenge the physics teacher to incorporate other contents of Modern Physics into Basic Education.

Keywords: Teaching Physics, UEPS, Photoelectric effect, Photons.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Trabalho realizado sobre uma bola que se desloca em um campo gravitacional uniforme.....	22
Figura 2.2 - Trabalho realizado sobre uma carga puntiforme que se desloca em um campo elétrico uniforme.....	23
Figura 2.3 - Material condutor na ausência e na presença de um campo elétrico interno.....	27
Figura 2.4 - Sentido convencional da corrente elétrica.....	28
Figura 2.5 - Corrente elétrica em um condutor com seção reta uniforme.....	31
Figura 2.6 - Exemplo de um aparato experimental para observar o efeito fotoelétrico..	33
Figura 2.7 - Esquema do efeito Fotoelétrico.....	34
Figura 4.1 - Estudantes respondendo os questionamentos iniciais.....	42
Figura 4.2 - Estudantes realizando a leitura do texto de apoio II.....	45
Figura 4.3 - Grandezas Físicas Identificadas Pelos Estudantes.....	46
Figura 4.4 - Trabalhando a Atividade de Simulação Sobre o Efeito Fotoelétrico.....	47
Figura 4.5 - Dispositivo elétrico durante o dia.....	54
Figura 4.6 - Dispositivo elétrico durante à noite.....	54
Figura 4.7 - Discutindo a situação problema.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Identificação dos participantes da pesquisa.....	39
------------	--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2.	REFERENCIAIS TEÓRICOS	13
2.1.	Referenciais Teóricos em Ensino e Aprendizagem	13
2.1.1.	Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.....	14
2.1.2.	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas	18
2.2.	Referenciais Teóricos em Física	21
2.2.1.	Tópicos da Eletrodinâmica.....	21
2.2.1.1.	Energia Potencial Elétrica.....	22
2.2.1.2.	Potencial Elétrico.....	25
2.2.1.3.	Corrente Elétrica	27
2.2.1.4.	Resistência Elétrica.....	31
2.2.2.	Efeito Fotoelétrico.....	33
3.	METODOLOGIA.....	36
3.1.	Elaboração da Proposta e a Intervenção.....	37
3.1.1.	Elaboração da Proposta	37
3.1.2.	A Intervenção.....	39
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1.	O Relato da Aplicação da Proposta de Intervenção.....	40
4.2.	Avaliação da Proposta de Intervenção.....	56
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICES	64
	APÊNDICE A - O PRODUTO EDUCACIONAL	65
	APÊNDICE B – FORMULÁRIOS DE ACOMPANHAMENTOS DOS ENCONTROS.....	81
	APÊNDICE C – ALGUMAS FOTOS DOS ENCONTROS.....	87

1. INTRODUÇÃO

Argumentando Sobre a Temática

Segundo Ruzzi (2008), a Física Moderna surgiu no início do século XX enquanto a Física Contemporânea data do século XXI, sendo os temas abordados por ambas, resultados das ideias de quantização da energia e análise de referenciais, o que resultou na Mecânica Quântica e na Relatividade como uma quebra de paradigmas em relação a Física Clássica. A Física Moderna e Contemporânea (FMC) está presente em diversas aplicações das novas tecnologias, por exemplo: Nos GPS, televisão LCD, relógios quânticos, telecomunicações via satélite, usinas nucleares, entre outras, o que torna importante sua abordagem na Educação Básica.

Tendo em vista o avanço tecnológico, é de grande importância que os professores abordem a FMC no ensino de Física no Ensino Médio. O intuito é que os estudantes possam compreender e participar das transformações sociocientíficas vivenciadas atualmente. De acordo com Oliveira, Viana e Gerbassi (2007), o ensino será cada vez melhor se os docentes assumirem o seu papel em buscar uma formação acadêmica continuada que venha desde a graduação até a aplicação dos conteúdos a serem abordados em sala de aula.

Ostermann e Moreira (2000), enquanto realizavam um estudo acerca da introdução de dois tópicos de FMC com alunos da graduação em Física, nas aulas dessa disciplina em escolas públicas e particulares, concluíram que:

[...] É viável ensinar FMC no Ensino Médio, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos [...] Se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da Física Clássica [...] Os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000, P.145)

Em suma, podemos dizer que a utilização de um material potencialmente significativo pelo professor, pode contribuir para a assimilação das novas informações pelos estudantes e podendo favorecer uma aprendizagem significativa dos conteúdos. De acordo com Moreira, Caballero, e Rodríguez (1997), essa assimilação se dá pela interação, não literal e não arbitrária, da nova informação com subsunçores prévios específicos da estrutura cognitiva do aprendiz.

Nesse processo de assimilação, conforme colocado pelos autores, os subsunçores se modificam e adquirem maior estabilidade cognitiva, se tornando mais elaborados e até incorporando novos subsunçores à estrutura dinâmica de ideias. É importante destacar que nesse processo, é fundamental que o professor verifique se o estudante foi capaz de compreender os conhecimentos de forma aceitável, para que também possa aplicar esse conhecimento em diferentes contextos. Ainda de acordo com Moreira (2011, p. 173) “a aprendizagem significativa deve ser crítica e subversiva, isto é, propiciando ao estudante a capacidade de criticar e integrar-se à sociedade utilizando os novos conhecimentos assimilados de forma significativa”.

No cotidiano escolar, convivemos a todo momento com a falta de estímulo dos estudantes pelo estudo da Física. Talvez essa realidade seja uma consequência da forma como ensinamos a Física. É nosso dever, como professor, resgatar o interesse dos estudantes pelo estudo da Física, levando-os a perceber que o conhecimento dessa ciência permite uma compreensão básica da natureza e o quanto está inserido em uma série de aplicações que eles utilizam no dia a dia.

Além disso, devemos procurar desenvolver nos estudantes habilidades que podem dar vazão à sua criatividade, proporcionando prazer, alegria e desafios. Pois como posto por Lemos (2005, p. 42), “Uma situação de ensino corresponde ao momento em que uma pessoa, intencionalmente, ajuda outra a aprender alguma coisa”.

Diante de um mundo cada vez mais globalizado, que requer profissionais que mantenham uma educação continuada, a escola não pode mais lidar apenas com informações prontas e acabadas. De acordo com Ribeiro (2001), ela precisa preocupar-se em desenvolver no estudante não apenas a capacidade de apreender o conhecimento técnico e específico em alguma área afim mas é claro deve-se também atentar para a necessidade de produzir ferramentas capazes de auxiliar, o processo de ensino e aprendizagem, como um todo.

Voltando as atenções aos métodos didáticos, é possível afirmar que as propostas avaliativas vigentes em muitas instituições educacionais se destinam ao treinamento do estudante para assimilar muitas respostas certas em um curto espaço de tempo. Isso ocorre mecanicamente e às vezes sem o menor raciocínio. O estudante reproduz um conhecimento que, para ele, pode não ter significado algum.

Ainda em relação as propostas avaliativas, apresentamos uma situação bem comum, onde ao ser alterada a data de uma avaliação sem aviso prévio, o professor é rechaçado por grande parte dos estudantes. Isso ocorre porque eles não conseguem reter os conteúdos adquiridos de forma mecânica por muito tempo. Infelizmente, essa prática é motivada por

processos avaliativos em âmbito nacional, como é o caso do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), que apesar de possibilitar uma relação transversal entre as áreas do conhecimento, engessa os conteúdos a serem trabalhados em sala de aula, segundo Lemos (2005).

Acreditamos, portanto, que o estudo da FMC assim como o de qualquer outra área do conhecimento, deve permitir ao estudante da Educação Básica, entender cálculos e teorias mais complexas, muitas vezes não tão compreendidas. Para além disso, deve oportunizar que o estudante perceba de um outro ponto de vista como as teorias aprendidas em sala de aula, são aplicadas a diversos fenômenos comuns ao seu dia-a-dia, na intenção de dar sentido aquilo que se aprende.

Nessa perspectiva, fazemos o uso de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas como base da proposta deste trabalho, visto que a produção desta sequência didática usando UEPS torna-se facilitadora da aprendizagem na inserção do Efeito Fotoelétrico dentro do conteúdo Eletrodinâmica no Ensino Médio. A proposta adota como base o conceito e o uso do fóton como um elemento de conexão entre fenômenos observados na Física Moderna com fenômenos observados na Física Clássica. O intuito é que conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea sejam inseridos sem haver segmentação do conteúdo da Física Clássica. Na elaboração da proposta, adota-se que alguns conteúdos de FMC podem ser incorporados ao Ensino Médio adequadamente quando inseridos juntamente com conteúdos de Física Clássica.

O intuito desse trabalho é inserir conteúdos da FMC vinculando os mesmos a temas relativos à Física Clássica através de uma sequência didática usando Unidades de Ensino Potencialmente Significativas sobre o Efeito Fotoelétrico adotando como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Espera-se que esse trabalho possa contribuir para estimular a curiosidade dos estudantes para o estudo da Física e ao mesmo tempo tentar fazer com que eles percebam o quanto os conhecimentos dessa ciência estão presentes em seu cotidiano

2. REFERENCIAIS TEÓRICOS

2.1. Referenciais Teóricos em Ensino e Aprendizagem

De um modo geral, uma teoria é uma tentativa humana de sistematizar uma área do conhecimento, uma maneira particular de ver as coisas, de explicar e prever observações, de resolver problemas. (MOREIRA, 1998, p.5). Uma teoria de aprendizagem é, então para o autor, uma construção humana para a interpretar sistematicamente a área do conhecimento que chamamos de aprendizagem.

É muito comum nos dias atuais o discurso que a escola vem tornando-se pouco atraente para os estudantes, principalmente se levarmos em conta que fora dela eles têm um leque vasto de possibilidades que lhe permitem o acesso a informação. É nesse ponto de vista que fazendo uso dos mais diversos teóricos da aprendizagem Gowin, Ausubel, Vygotsky, Vergnaud, dentre outros mais, o docente tem subsídios para a construção das mais diversas UEPS, fazendo uso de estratégias para alcançar seus objetivos estabelecidos, porém percebe-se que a maioria dos professores parece não querer enfrentar essa realidade e não utilizam em suas aulas esse conhecimento de Unidades de Ensino Potencialmente Significativa, nem muito menos aceitam aquilo que os estudantes trazem consigo, os seus conhecimentos prévios onde acredita-se como um fundamental contribuinte para melhorar o interesse dos estudantes pelas aulas e conseqüentemente pela escola.

Nessa perspectiva, acredita-se que o professor desempenha o importante papel de tentar desenvolver ferramentas de inserção de determinadas temáticas e ajustar o conhecimento adquirido pelo estudante fora da escola aos conteúdos que ele deseja trabalhar em suas aulas. Pois conforme colocado por Libânio (2005), é fundamental que o professor reflita constantemente sua prática educativa. Para o autor:

A reflexão sobre a prática não resolve tudo, a experiência refletida não resolve tudo. São necessárias estratégias, procedimentos, modos de fazer, além de uma sólida cultura geral, que ajudam a melhor realizar o trabalho e melhorar a capacidade reflexiva sobre o que e como mudar. (LIBÂNIO, 2005, p. 76).

Precisamos considerar que a formação do professor deve ser um processo contínuo e que a reflexão acerca da sua prática docente é um importante mecanismo de aperfeiçoamento, visto que é por meio desse instrumento que ele poderá fazer uma análise profunda sobre a sua atuação e a partir disso tentar modificar suas ações com o intuito de melhorar o processo de ensino.

2.1.1. Teoria da Aprendizagem Significativa – David Ausubel

Com o interesse de orientar nossa pesquisa, escolhemos como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

De acordo com Moreira e Masini (1998), a aprendizagem significativa é:

Um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, os novos conhecimentos adquiridos em cada fase relacionam-se com o conhecimento prévio que o estudante possui, [...] o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; determine isso e ensine-o de acordo. (AUSUBEL apud MOREIRA; MASINI, 1982, p. 8)

Ausubel, em sua teoria, define este conhecimento prévio como "conceito subsunçor" ou simplesmente "subsunçor". Os subsunçores são estruturas específicas de conhecimento, ao qual uma nova informação pode ser agregada as informações já existentes, produzindo novas aprendizagens.

A aprendizagem de significados (conceitos) é aquela mais relevante para os seres humanos. Em sua teoria, Ausubel ressalta que a maior parte da aprendizagem acontece de forma receptiva, e desse modo, a humanidade tem se amparado para transmitir as informações ao longo das gerações.

Uma das contribuições de David Ausubel é marcar claramente a distinção entre aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica, que ocorre quando o conteúdo a ser aprendido não consegue ligar-se a algo já conhecido. Ou seja, temos uma aprendizagem mecânica quando as novas informações são assimiladas momentaneamente sem interagirem com conceitos importantes existentes na estrutura cognitiva do estudante, sendo então guardadas aleatoriamente. Assim, o estudante decora fórmulas, leis, macetes para provas e esquece logo após a avaliação. De acordo com Moreira (1982):

Ausubel define aprendizagem mecânica (rote learning) como sendo a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Neste caso, a nova informação é armazenada de maneira arbitrária. Não há interação entre a nova informação e aquela já armazenada. O conhecimento assim adquirido fica arbitrariamente distribuído na estrutura cognitiva sem ligar-se a conceitos subsunçores específicos. (MOREIRA; MASSINI, 1982, p. 9).

De acordo com Pelizzari et. al. (2002), a aprendizagem significativa, apresenta três vantagens essenciais em relação à aprendizagem mecânica. São elas: Em primeiro lugar, o

conhecimento que se adquire de maneira significativa é retido e lembrado por mais tempo; Em segundo, aumenta a possibilidade do estudante aprender outros conteúdos de uma maneira mais fácil, mesmo se a informação original for esquecida; Finalmente, em terceiro, uma vez esquecida, facilita a aprendizagem seguinte.

Ausubel (1968) destaca que, no processo de ensino, os conceitos estudados precisam ter sentido para o estudante e as novas informações necessitam interagir e fundar-se nos conceitos já existentes em sua estrutura cognitiva. É desse modo que surge a aprendizagem significativa, ou seja, quando o banco de dados do plano mental do estudante aparece. Ausubel (1968), sugere que, nesse processo, é necessária a utilização de organizadores prévios para amparar a nova aprendizagem, fazendo com que o estudante desenvolva os conceitos subsunçores, de modo a viabilizar a aprendizagem seguinte.

De acordo com Ausubel (1968), os organizadores prévios são informações e recursos introdutórios, que devem ser apresentados antes do conteúdo que será trabalhado. Ou seja, são ferramentas discutidas para introduzir o conteúdo a ser apresentado. De acordo com Moreira (1982), os organizadores devem funcionar como elemento atrativo para o aluno, com a intenção de provocar o interesse e vontade do aluno em aprender. Sua elaboração deve ser pensada de maneira prática e conhecida, ou seja, familiar ao aluno, mas precisa ser considerada como um material de valor pedagógico e dialógico.

Moreira (1999), afirma que o organizador prévio serve de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, afim que o material possa ser aprendido de forma significativa. Isto é, eles são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em funcionam como pontes cognitivas. Ainda conforme destaca Moreira (1982), organizadores prévios não são simples comparações introdutórias, pois, diferentemente destas, organizadores prévios, devem:

1 - Identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material; 2 - Dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes; 3 - Prover elementos organizacionais inclusivos que levem em consideração, mais eficientemente, e ponham em melhor destaque o conteúdo específico do novo material. (MOREIRA; MASSINI, 1982, p. 13)

Para Ausubel, a função primordial dos organizadores prévios é servir de elo entre o que aprendiz já sabe e o que ele deveria saber a fim de que o novo material pudesse ser aprendido de forma significativa. Para que ocorra a aprendizagem significativa, segundo Santos (2009), é necessário que:

O material a ser assimilado seja Potencialmente Significativo, ou seja, não arbitrário em si. Mesmo materiais arbitrários então, podem ser tornados significativos através de organizadores prévios.- Ocorra um conteúdo mínimo na Estrutura Cognitiva do indivíduo, com subsunçores em suficiência para suprir as necessidades relacionais. - O aprendiz apresente uma disposição para o relacionamento e não para simplesmente memorizá-lo mecanicamente muitas vezes até simulando uma associação. Muito comum em estudantes acostumados a métodos de ensino, exercícios e avaliação repetitivos e rigidamente padronizados. (SANTOS, 2009, p.55)

A Teoria de Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, afirma que é a partir de conteúdos que os indivíduos já possuem na estrutura cognitiva que a aprendizagem pode ocorrer. Desse modo, podemos inferir que para que haja uma aprendizagem significativa é necessário, em contraposição à aprendizagem mecânica, que o professor procure utilizar diferentes recursos ou estratégias para potencializar a atividade relacional do aprendiz.

De acordo com a Teoria de Aprendizagem Significativa, quando pretende-se ensinar, deve-se tomar então como ponto de partida, os conhecimentos prévios dos estudantes denominados de subsunçores os quais são fruto do seu meio de convivência e são fatores que determinam as concepções iniciais do estudante a partir dos seus sentidos.

Percebamos que os subsunçores são responsáveis pelo ancoramento dos novos conhecimentos e que após a chegada desses novos conhecimentos esses se modificam gerando um conhecimento elaborado. Acreditamos portanto, que para a Aprendizagem Significativa ocorrer é necessário que o estudante tenha subsunçores específicos para dar significado ao novo conhecimento.

No entanto, a predisposição em aprender não é somente ou simplesmente uma motivação, é algo premeditado que possa estabelecer um esforço consciente e específico ao relacionar os subsunçores ao novo conhecimento adquirido (MASINI; MOREIRA, 2008).

Além disso, deve ficar claro que o significado está no indivíduo e não nos materiais de aprendizagem. De acordo com Tavares (2010), “os materiais de aprendizagem, esses sim, podem ser potencialmente significativos. Entretanto, para que a aprendizagem aconteça em relação a um determinado conteúdo, deve ter como condição básica a vontade e disposição do aprendiz de relacionar a nova informação com o conhecimento já existente.” Moreira (2005) destaca a importância desse conhecimento prévio na aprendizagem do estudante, dando a ela certo significado e também formalizando uma melhor reaprendizagem.

Em relação a aprendizagem, de acordo com David Ausubel, ela pode ser de três formas, são elas: subordinada, superordenada. e combinatória. A incidência mais comum de Aprendizagem Significativa é a subordinada que de acordo com Pivatto (2013) é aquela em que a nova ideia apreendida encontra-se hierarquicamente subordinada a ideia preexistente.

Já a Aprendizagem Significativa superordenada, se refere a um conceito ou proposição potencialmente mais significante em modo geral e inclusiva do que conceitos ou ideias já estabelecidas. Segundo Pivatto (2013, p.8), “o novo conceito é mais geral e inclusivo que os conceitos subsunçores e a aprendizagem ocorre quando um conceito ou proposição mais geral do que algumas ideias já estabelecidas na estrutura cognitiva do estudante é adquirido e passa a ser assimilado”.

Ainda em relação às formas de Aprendizagem Significativa, existe a aprendizagem combinatória que ocorre quando os novos conceitos ou proposições a serem incorporados não são subordináveis a nenhuma informação prévia existente na estrutura cognitiva do indivíduo. De acordo com Pivatto (2013), essa forma de aprendizagem de novas proposições não apresentam relação subordinada, nem superordenada com ideias relevantes já adquiridas anteriormente. Em relação às formas de Aprendizagem Significativa, Moreira (2005) afirma:

[...] quando um conceito ou proposição potencialmente significativo mais geral e inclusivo do que ideais ou conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva é adquirido a partir destes, e passa a assimilá-los, a aprendizagem é dita superordenada. Por último, a aprendizagem de conceitos ou proposições que não são subordináveis a, nem são capazes de subordinar, algum subsunçor é considerada combinatória (MOREIRA, 2005, p.2).

Segundo Ausubel para que uma aprendizagem seja significativa não basta o significado lógico e psicológico do conteúdo ministrado, depende da intencionalidade do estudante para maiores relações do novo conteúdo com o que já se conhece. A habilidade do professor será crucial nesse estímulo. À medida que o estudante constrói significados, ele estaria incrementando os já existentes fortalecendo assim sua estrutura cognitiva e aumentando a capacidade de fazer novas relações com novas situações que venham a aparecer.

Partindo desse pressuposto, podemos inferir que a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel é uma teoria construtivista que tem prioridades nas aprendizagens cognitivas, na qual o indivíduo tem uma organização mental capaz de integrar o conteúdo aprendido aos conhecimentos prévios formando uma estrutura cognitiva. Caso o estudante (aprendiz) tenha certa informação prévia já retida para qualquer área do conhecimento, essa informação terá uma forte influência no processo de aprendizagem. Segundo Moreira (1999):

Ausubel determina que esse conceito prévio - subsunçor, já existente nessa estrutura cognitiva do indivíduo seja uma ponte de integração entre a nova informação visando proporcionar uma melhor aprendizagem, podendo sofrer variações de indivíduo para indivíduo, devido à interação como o novo material, tornando assim a aprendizagem mais inclusiva. (MOREIRA, 1999, p. 154).

Conclui-se que a essência de uma teoria focada para a aprendizagem, na qual o conhecimento prévio que o estudante traz consigo é de fundamental importância para a aquisição de novos conhecimentos. Convém ressaltar que conforme essa teoria o professor desempenha o papel essencial de descobrir os conhecimentos prévios dos estudantes é fundamental para a aquisição dos conhecimentos que serão oportunizados.

2.1.2. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS

Um dos fatores que contribuem para que ocorram a Aprendizagem Significativa é que o estudante manifeste interesse em aprender e para além disso, é necessário a utilização de material de aprendizagem que seja para o estudante potencialmente significativo. De acordo com Manassi, Nunes e Bayer (2014), um material é considerado potencialmente significativo para determinado estudante se: (a) o material possuir uma boa qualidade lógica, ou seja, significado lógico e (b) o estudante possuir os conhecimentos prévios em sua estrutura cognitiva capazes de aportar o novo conhecimento.

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são compostas por etapas que buscam promover a Aprendizagem Significativa. Segundo Moreira (2011), as UEPS têm como princípios:

1. *O conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa;*
2. *Organizadores prévios mostram a relação direta entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;*
3. *São as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos;*
4. *Situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos;*
5. *As situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade;*
6. *A diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino;*
7. *A avaliação da Aprendizagem Significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências;*
8. *O papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados por parte do estudante;*

9. Um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, professor e materiais educativos, cujo objetivo é levar o estudante a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino;

10. Essa relação poderá ser quádrica na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo, mas também como mediador;

11. A aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica;

12. A Aprendizagem Significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamentos) ao invés de memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono de narrativa em favor de um ensino centrado no estudante.

Além dos princípios apresentados como básicos para uma UEPS, Moreira (2011) propõe a execução de oito de muitos passos a serem seguidos na construção das UEPS, sendo importante ressaltar que compete ao professor buscar a melhor forma de segui-los, são eles:

1. Definir o tópico a ser abordado, identificando os aspectos declarativos e procedimentais de acordo com o tópico escolhido;

2. Criar/propor situação(ões) – discussão, questionário, mapa conceitual, situação-problema, etc. – que conduzam(m) o estudante a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;

3. Propor situações-problema, em nível introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do estudante, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema, ainda que introdutórias, devem envolver desde já, o tópico a ser ensinado. São as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas para isso o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para a aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, mas sempre de modo acessível e problemático, isto é, não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;

4. Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, isto é, começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante

na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5. Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (isto é, aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de uma breve exposição oral, de um recurso computacional, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação a primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente as situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador, esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, e deve necessariamente envolver a negociação de significados e mediação do professor;

6. Concluindo a unidade, dar continuidade ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser uma breve exposição oral, leitura de um texto, recurso computacional, audiovisual, etc; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em nível mais alto de complexidade em relação as situações anteriores, essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do professor;

7. A avaliação da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, anotando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo da mesma; além disso, deve haver uma avaliação somativa após o quinto passo, na qual deverão ser propostas questões/situação que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na área; a avaliação do desempenho do estudante na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (registros do professor) como na avaliação somativa;

8.A UEPS será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos estudantes fornecer evidências de aprendizagem significativa.

É importante ressaltar que após a definição do tópico a ser abordado, o professor deve sugerir atividades que facilitem a externalização por parte do estudante de seu conhecimento prévio (ou sua ausência). A proposição de situações-problema em um nível crescente de complexidade é a chave para o sucesso da UEPS.

Acreditamos que a utilização de UEPS pode contribuir para potencializar o ensino da Física e também funcionar como elemento motivador para o estudante conduzindo-o a querer participar da aula e desse modo, do processo de aquisição do seu conhecimento.

Nesse contexto, por entendermos que o conhecimento prévio do estudante é fundamental para a aquisição de novos conhecimentos e que a utilização de UEPS desempenha um papel importante na construção do conhecimento, procuramos construir a nossa proposta de intervenção em sala de aula inserida nessa perspectiva.

2.2. Referenciais Teóricos em Física

2.2.1. Tópicos da Eletrodinâmica

Cotidianamente, sempre que usamos um aparelho eletrodoméstico, ouvimos um CD ou ligamos uma lâmpada, estamos utilizando a energia elétrica, um ingrediente fundamental em uma sociedade tecnológica como a nossa (SEARS e ZEMANSKY, 2015). Quando uma partícula eletricamente carregada se desloca em um campo elétrico, este exerce uma força elétrica que pode realizar um trabalho sobre a partícula (SEARS e ZEMANSKY, 2015).

A energia potencial é a energia associada a posição ocupada por um corpo. Da mesma forma que a energia potencial gravitacional depende da altura em que se encontra a massa sobre a superfície terrestre, a energia potencial elétrica depende da posição da partícula eletricamente carregada no campo elétrico. (SEARS e ZEMANSKY, 2015).

Iniciaremos essa seção fazendo uma discussão acerca da energia potencial elétrica e em seguida, utilizaremos essa discussão para tratarmos um conceito de fundamental importância para a compreensão de circuitos elétricos que é conceito de *potencial elétrico* ou simplesmente *potencial*. Em seguida, faremos uma abordagem envolvendo os tópicos sobre Corrente elétrica e Resistência Elétrica, que julgamos ser de suma importância para o desenvolvimento do nosso trabalho.

2.2.1.1. Energia Potencial Elétrica

O rotacional corresponde ao giro de um determinado vetor \mathbf{v} , e que a integral deste mesmo rotacional representa a quantidade de giro, aplicação esta referente ao Teorema de Stokes, dado pela equação (GRIFFITHS, 2010):

$$\oint_S (\tilde{\mathbf{N}} \cdot \mathbf{v}) \times d\mathbf{a} = \oint_P \tilde{\mathbf{N}} \mathbf{v} \cdot d\mathbf{l}. \quad (01)$$

Se a integral é nula para um caminho fechado, então:

$$\oint_P \tilde{\mathbf{N}} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = 0. \quad (02)$$

Seguindo a condição de contorno, e conforme apresentação na equação (02), temos a equação abaixo

$$\oint_S (\tilde{\mathbf{N}} \cdot \mathbf{v}) \times d\mathbf{a} = 0. \quad (03)$$

Aplicando a condição acima apresentada para as linhas de força de um campo elétrico, e compreendendo que, se o campo rotacional de um vetor se anula em toda parte, então esse mesmo vetor poderá ser escrito como o gradiente de um potencial escalar V (GRIFFITHS, 2010).

$$\tilde{\mathbf{N}} \cdot \mathbf{F} = 0 \quad \hat{U} \mathbf{F} = - \tilde{\mathbf{N}} V. \quad (04)$$

Considerando um campo elétrico para um deslocamento de carga desde um a até um ponto b qualquer no espaço, temos como determinar a intensidade da linha de força ao longo deste deslocamento, dada por

$$\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_a^b \frac{q}{r^2} dr = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \Big|_{r_a}^{r_b} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_a} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_b} \quad (05)$$

onde r_a representa a distância entre a origem até o ponto a e r_b representa a distância entre a origem até o ponto b , conseqüentemente aplicável sobre a integral em um percurso fechado, visto que r_a é igual a r_b

$$\oint_P \tilde{\mathbf{N}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0. \quad (06)$$

e aplicando o Teorema de Stokes,

$$\tilde{\mathbf{N}} \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (07)$$

Segundo o princípio da superposição, é possível estender o resultado acima para toda e qualquer distribuição de cargas estática independente de onde a carga esteja localizada.

Quando consideramos uma situação onde a configuração é estacionária de cargas e que pretendemos movimentar uma determinada carga de prova Q de um ponto a para um

ponto b . Pergunte-se sempre quanto trabalho eu devo realizar? Deste modo, faremos algumas considerações acerca do trabalho de uma força.

Quando uma força F atua sobre uma partícula que se move de um ponto a até um ponto b , o trabalho $W_{a \rightarrow b}$ realizado pela força é dado pela integral de linha:

$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l} \quad (08)$$

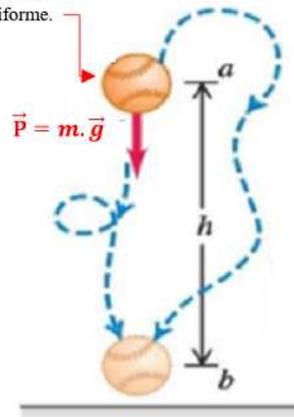
Em que, $d\vec{l}$ é um deslocamento infinitesimal ao longo da trajetória da partícula e ϕ é o ângulo entre F e $d\vec{l}$ em cada ponto da trajetória. Considerando que a força F seja conservativa (termo usado em mecânica), a diferença de potencial entre os pontos a e b é igual ao trabalho por unidade de carga necessária para transportar uma partícula de a para b . Quando a partícula se move de um ponto a no qual a energia potencial é U_a até um ponto b no qual a energia potencial é U_b , a variação da energia potencial é $\Delta U = U_b - U_a$ e

$$W_{a \rightarrow b} = U_a - U_b = -\Delta U \quad (09)$$

Quando U_a é maior que U_b , temos que $W_{a \rightarrow b}$ é positivo; O que significa que a energia potencial diminui, logo, ΔU é negativa. Isso é o que ocorre por exemplo, quando uma bola cai de um ponto mais elevado a até um ponto mais baixo b sob a influência da gravidade da Terra; A força da gravidade realiza um trabalho positivo, e a energia potencial gravitacional diminui como apresentado na Figura 2.1. Por outro lado, quando a bola é atirada de baixo para cima, a força da gravidade realiza um trabalho negativo durante o intervalo em que a bola está subindo e a energia potencial aumenta.

Figura 2.1 – Trabalho realizado sobre uma bola que se desloca em um campo gravitacional uniforme.

Objeto que se desloca em um campo gravitacional uniforme.

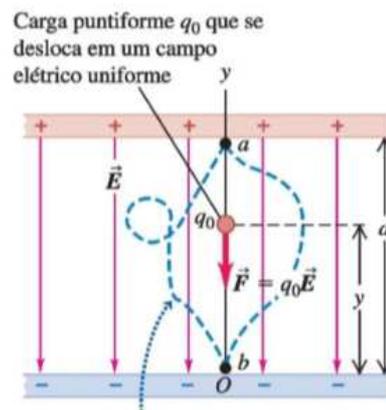


Observando a Figura 2.1 e a Equação 2, podemos perceber que o trabalho realizado pela força gravitacional é o mesmo para qualquer trajetória de a para b , sendo dado por:

$$W_{a \rightarrow b} = q_0 E d \quad (10)$$

Até aqui falamos sobre alguns conceitos básicos aplicados a uma situação específica da mecânica. Agora vamos examinar um exemplo elétrico desses conceitos básicos. Para tanto, vamos considerar a Figura 2.2, que indica um par de placas metálicas paralelas carregadas, produzindo um campo elétrico uniforme orientado de cima para baixo com módulo E .

Figura 2.2 – Trabalho realizado sobre uma carga puntiforme que se desloca em um campo elétrico uniforme.



Fonte: Adaptada de ZEMANSKY, Vol. 3 , 14ª. edição.

Esse campo elétrico exerce uma força de cima para baixo com módulo $F = q_0 E$ sobre uma carga de teste positiva q_0 . Enquanto a carga q_0 se move uma distância d de um ponto a até um ponto b , a força que atua sobre ela é constante e não depende da localização da carga.

Logo, o trabalho realizado pelo campo elétrico é igual ao produto do módulo da força pelo componente do deslocamento, na direção e no sentido da força:

$$W_{a \rightarrow b} = q_0 E d \quad (11)$$

Como a força possui a mesma direção e o mesmo sentido do deslocamento da carga de teste, esse trabalho é positivo.

Em relação a componente y da força elétrica, apresentada na situação da Figura 2,2, temos que ela é constante sendo expressa pela relação: $F_y = -q_0 E$. Como não há nenhuma componente de F nas direções x ou z , podemos inferir que essa situação é semelhante a da força gravitacional sobre um corpo de massa m próximo da superfície terrestre; Uma vez que, para essa força, existe uma componente y , $F_y = -mg$, e as componentes x e z são iguais a zero.

Partindo desse pressuposto, percebe-se que a força exercida sobre a carga de teste q_0 devido ao campo elétrico uniforme na Figura 2.2 é conservativa, como no caso da força gravitacional. Isso significa que o trabalho $W_{a \rightarrow b}$ realizado pelo campo elétrico não depende da trajetória descrita pela partícula para ir de um ponto a até um ponto b .

Desse modo, podemos representar esse trabalho em função da energia potencial U , como no caso da energia potencial gravitacional. Para a força gravitacional, $F_y = -mg$, a energia potencial é dada por $U = mgy$; Então para a força elétrica, $F_y = -q_0E$, a energia potencial é dada por:

$$U = q_0Ey \quad (12)$$

Considerando uma carga de teste que se desloca de uma altura y_a para uma altura y_b , o trabalho realizado pelo campo elétrico sobre a carga é dado por:

$$W_{a \rightarrow b} = -\Delta U = -q_0E(y_a - y_b) \quad (13)$$

Na situação mostrada na Figura 2.2, quando y_a é maior que y_b , uma carga de teste positiva q_0 se move de cima para baixo, no mesmo sentido de E ; o deslocamento possui a mesma direção e o mesmo sentido da força $F = q_0E$.

Dessa forma o campo realiza um trabalho positivo e a energia potencial U diminui. Entretanto, se y_a e y_b , correspondem aos nossos referencias de caminho, uma carga de teste positiva q_0 que se deslocar de baixo para cima, em sentido oposto ao de E possuirá um deslocamento sentido oposto ao da força, de modo que o campo realizará um trabalho negativo e a energia potencial U aumenta.

Já para uma carga de teste q_0 negativa, a energia potencial aumenta quando ela se move no mesmo sentido do campo e diminui quando ela se move em sentido oposto ao do campo. Ou seja, tanto para cargas positivas como para cargas negativas, a energia potencial U aumenta quando a carga de teste q_0 se move em sentido oposto ao da força elétrica e diminui quando q_0 se move no mesmo sentido de F .

Esse comportamento é semelhante ao da energia potencial gravitacional, que aumenta quando a massa m se desloca de baixo para cima, deslocamento contrário ao da força gravitacional e diminui quando a massa m se desloca de cima para baixo, deslocamento no mesmo sentido da força gravitacional (SEARS e ZEMANSKY, 2015).

2.2.1.2. Potencial Elétrico

Os conceitos de potencial elétrico e de diferença de potencial, geralmente chamado de *voltagem* ou *tensão* voltagem, são de suma importância para compreendermos o funcionamento de um circuito elétrico e possuem aplicações relevantes nos feixes de elétrons utilizados em radioterapia no tratamento de câncer, em aceleradores de partículas e em muitos outros dispositivos (SEARS e ZEMANSKY, 2015).

O campo elétrico \mathbf{E} é uma função vetorial onde o cálculo de seu rotacional é sempre zero, o que conseqüentemente garante que qualquer vetor cujo rotacional seja zero, ele deve ser igual ao gradiente de um escalar, conforme já mencionado anteriormente. E conseqüentemente conhecendo que a integral de linha de \mathbf{E} em torno de um caminho fechado é nula, garantimos portanto que exista uma independência de caminho para cálculo do potencial, bem como para o próprio campo (GRIFFITHS, 2010).

Vamos definir portanto uma potencial elétrico $V(\mathbf{r})$ dado por

$$V(\mathbf{r}) = - \int_{\Omega}^{\mathbf{r}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (14)$$

onde Ω é algum ponto de referência qualquer, e evidentemente para dois pontos arbitrários a e b

$$\begin{aligned} V(b) - V(a) &= - \int_{\Omega}^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} + \int_{\Omega}^a \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \\ &= - \int_{\Omega}^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} - \int_a^{\Omega} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}. \end{aligned} \quad (15)$$

Seguindo os passos anteriores para a energia potencial, o Teorema de Stokes permite escrever que para os gradientes

$$\mathbf{E} = - \tilde{\nabla} V. \quad (16)$$

Esta equação anterior retrata bem a importância do vetor \mathbf{E} não depender de caminho algum, já que qualquer alteração no percurso para definirmos o campo implicaria em uma mudança no valor do potencial elétrico $V(\mathbf{r})$ associado aos pontos.

Desse modo, define-se o potencial elétrico V em qualquer ponto de um campo elétrico, a energia potencial elétrica U por unidade de carga associada a uma carga de teste q_0 colocada nesse ponto

$$V = \frac{U}{q_0} \quad (17)$$

A energia potencial elétrica e a carga são escalares, logo o potencial elétrico é uma grandeza escalar. Observando a Equação 8, temos que a unidade de medida do potencial

elétrico é obtida dividindo-se a unidade de energia pela unidade de carga. Desse modo, a unidade de medida do potencial elétrico, no Sistema Internacional de Unidades (SI), é o Joule por Coulomb (J/C), que recebeu o nome de Volt (V) em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (1745-1827).

A diferença de potencial (ddp), ΔV , entre dois pontos a e b de um campo elétrico é igual a diferença entre os potenciais elétricos nos referidos pontos que pode ser escrito por:

$$\Delta V = V_b - V_a \quad (18)$$

Combinando a Equação 13 com a Equação 17 e 18, $W_{a \rightarrow b} = -\Delta U$, podemos escrever a diferença de potencial elétrico como sendo

$$\Delta V = -\frac{W_{a \rightarrow b}}{q_0} \quad (19)$$

Analisando portanto a Equação 19, podemos inferir que a diferença de potencial ΔV entre dois pontos a e b de um campo elétrico, corresponde ao trabalho que deve ser realizado por unidade de carga para movimentar uma carga elétrica entre esses dois pontos.

2.2.1.3. Corrente elétrica

A corrente elétrica é definida como o fluxo de portadores de cargas de uma região para outra. Os portadores de carga elétrica que constituem uma corrente elétrica são os elétrons (elétrons livres ou elétrons de condução) nos sólidos, e elétrons ou íons (positivos e negativos) nos líquidos e gases. Nos materiais semicondutores, tal como germânio ou silício, a corrente ocorre devido ao movimento dos elétrons de condução ou pelo movimento de vacâncias (buracos), que são locais da rede onde não existem elétrons e que funcionam como portadores de carga positiva.

Claramente deve-se entender que para fazer uma corrente fluir, tem-se que “empurrar” as cargas, e a velocidade com que elas se movem em resposta a um determinado “empurrão” dependerá da natureza do material que constitui o objeto no qual os portadores de cargas irão deslocar-se.

Podemos definir a grandeza densidade volumétrica de corrente J como tendo relação diretamente proporcional à velocidade com que os portadores se movimentam em uma certa região do espaço, sendo então dada por (GRIFFITHS, 2010):

$$J = \rho v \quad (20)$$

O fator ρ representa uma constante de proporcionalidade que é a densidade de cargas volumétrica. Deste modo, considere um caso simples, onde imaginemos uma caixa qualquer que tenha uma área de seção transversal A e de comprimento x , onde a velocidade seja constante e esteja na mesma direção do comprimento. Para tanto entenda que a densidade de corrente J_x , em uma única direção arbitrária x , como sendo:

$$J_x = \rho_0 v_x \quad (21)$$

Sabendo que a densidade de cargas “ ρ ” deve ser escrita como sendo o produto do valor de uma carga q pelo número de cargas N contidas nesse objeto dividido pela unidade de volume V e que a velocidade dos portadores sendo ela constante, é uma relação de posição infinitesimal no tempo. Então o módulo da densidade de corrente J_x :

$$J_x = \frac{qN}{V} \frac{\partial x}{\partial t} \quad (22)$$

Na equação acima apresentada, multiplicaremos ambos os lados da equação pela área da seção transversal que cada portador deverá atravessar, tendo então a seguinte equação:

$$J_x A = \frac{qN}{V} \frac{\partial x A}{\partial t} \quad (23)$$

Para uma quantidade de cargas $\frac{\partial q}{\partial t}$ contida em um volume, podendo portanto rescrever a equação anterior para a que se segue:

$$J_x A = \frac{\partial q}{\partial t} = I \quad (24)$$

Denominamos então a razão $\frac{\partial q}{\partial t}$ como sendo corrente elétrica I , sendo ela conforme mencionado anteriormente, a taxa temporal com que cargas elétricas contidas em um volume atravessam uma determinada superfície A .

Devemos então reescrever a corrente elétrica I , como sendo o fluxo do vetor densidade de corrente \mathbf{J} através de uma superfície s qualquer (produto escalar), de forma que

$$I = \iint_s \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} \quad (25)$$

e para uma situação onde a densidade de corrente \mathbf{J} é constante e que cada elemento de superfície ds corresponde a área total do caminho a ser atravessado pelo elementos de cargas, temos então que a corrente elétrica I é dada por:

$$I = \mathbf{J} \cdot \mathbf{A} \quad (26)$$

É importante perceber que a corrente elétrica é grandeza vetorial, pois partindo do pressuposto que sua definição depende da densidade de corrente \mathbf{J} (grandeza vetorial dependente das variáveis de espaço) e da área A (escalar) que as cargas atravessam e que o caso mais simples é unidimensional, caso de fios condutores, que discutiremos em seguinte.

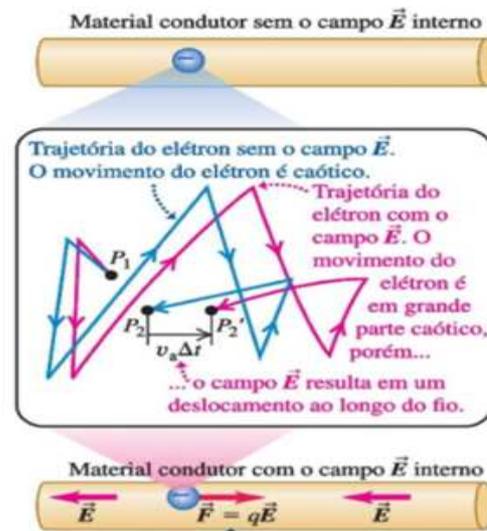
Quando um corpo condutor sólido está em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é igual a zero em todos os pontos no interior desse condutor. Logo, não existe nenhuma corrente elétrica, como indicado na Figura 2.3.

Contudo, é importante ressaltar que, a não geração de corrente elétrica não significa que os portadores de carga estejam em repouso, por exemplo, em metais como alumínio ou cobre, os elétrons livres (portadores de carga negativa) podem se mover de forma caótica em todas as direções no interior do condutor.

Entretanto, os elétrons não saem do condutor devido à força de atração Coloumbiana com os íons positivos do material. Como o movimento dos elétrons é caótico, não existe nenhum fluxo efetivo de elétrons em uma direção fixa e, portanto, não há corrente elétrica.

Quando, por alguma ação externa (por exemplo, um condutor ligado a uma bateria), aparece no interior do material um campo elétrico \mathbf{E} estacionário e constante, os portadores de carga (tal como elétrons livres) são submetidos a uma força estacionária de módulo, $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$. Como os portadores se movem dentro do condutor, eles colidem com os íons grandes do material que permanecem praticamente estáticos. Então, conforme indicado na Figura 2.3, o efeito do campo elétrico \mathbf{E} , é o movimento lento (movimento de arraste) de um grupo de portadores na direção da força elétrica $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$.

Figura 2.3 – Material condutor na ausência e na presença de um campo elétrico interno.



Fonte: Extraída de ZEMANSKY, Vol. 3 , 14ª. edição.

Assim como os fenômenos físicos podem ser descritos matematicamente por grandezas vetoriais ou escalares, a corrente elétrica é um fenômeno físico que, no caso de fios, pode ser caracterizado por uma grandeza física escalar, a qual está associada a intensidade da corrente elétrica i . Supondo que determinada quantidade de portadores de carga elétrica ΔQ atravesse uma seção reta A de um condutor em determinado intervalo de tempo Δt . Quanto maior a quantidade de portadores de carga ΔQ que atravessa a seção A do condutor no referido intervalo de tempo Δt , mais intensa será a corrente de portadores de cargas que atravessa esse condutor. Desse modo, podemos definir a intensidade da corrente elétrica i que atravessa a seção reta (normal) do condutor pela Equação:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (27)$$

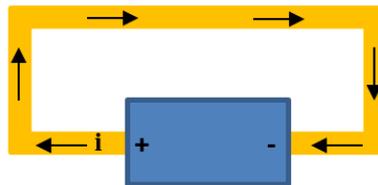
No Sistema Internacional de Unidades (SI), a quantidade de portadores de carga, ΔQ , medida em *Coulombs* (C) e o intervalo de tempo, Δt , em *segundos*. Logo, a unidade de medida da intensidade de corrente elétrica, i , é o *Coulomb por segundo* (C/s), que recebe o nome ampère (A) em homenagem ao físico francês André-Marie Ampère (1775-1836).

Como a intensidade da corrente elétrica é uma grandeza física vetorial, é importante associar um sentido para a corrente elétrica. Na Figura 2.4, apresentada a seguir, o sentido da corrente elétrica que atravessa o condutor está representado através das setas. O sentido apresentado para a corrente elétrica, indica o sentido em que partículas carregadas positivamente seriam forçadas pelo campo elétrico a se moverem pelo circuito.

Se fossem positivos, esses portadores de cargas deslocariam-se do terminal positivo da bateria e entrariam no terminal negativo. Na realidade, no caso do fio condutor apresentado na Figura 2.4, os portadores de cargas são os elétrons, partículas negativamente carregadas. O campo elétrico faz essas partículas se movimentarem no sentido oposto ao indicado pelas setas, ou seja, do terminal negativo para o terminal positivo da bateria.

Entretanto, por razões históricas, utiliza-se a seguinte convenção: A seta que representa o sentido da corrente elétrica, é desenhada no sentido em que portadores de carga positivos se moveriam, mesmo que os portadores sejam negativos e se movam em sentido contrário .

Figura 2.4 – Sentido convencional da corrente elétrica.



Fonte: Produção do autor.

Quando os portadores de carga são elétrons (carga negativa), o sentido convencional da corrente elétrica é oposto ao do movimento dos elétrons e conhecido como sentido eletrônico da corrente elétrica. Quando os portadores são íons positivos e negativos como em um gás ou em uma solução, mantém-se a convenção do sentido de movimento dos portadores de carga positiva. Na maioria das situações, o sinal dos portadores de carga que se movem é irrelevante, ou seja, supor que os portadores de carga positiva estão se movendo em um sentido tem o mesmo efeito que supor que os portadores de carga negativa estão se movendo no sentido oposto.

2.2.1.4. Resistência Elétrica

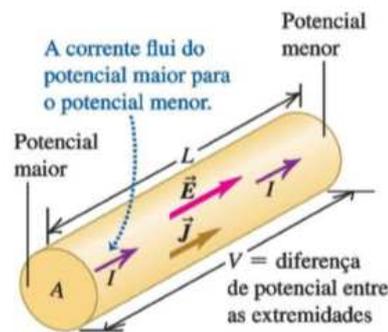
Para um condutor com resistividade ρ , a densidade de corrente \mathbf{J} em um ponto que possui um campo elétrico \mathbf{E} é dada pela Equação 16, que pode ser escrita na forma

$$\mathbf{E} = \rho \cdot \mathbf{J} \quad (28)$$

Quando a lei de Ohm é válida, ρ permanece constante e não depende do módulo do campo elétrico; logo, \mathbf{E} é diretamente proporcional a \mathbf{J} . Entretanto, as medidas de corrente elétrica i e de diferença de potencial V são mais fáceis de serem estabelecidas que as medidas de \mathbf{J} e de \mathbf{E} . Em função disso, geralmente estamos mais interessados em saber o valor da corrente total i em um condutor que o valor de \mathbf{J} e da mesma forma, mais interessados em saber o valor da diferença de potencial V nas extremidades do condutor que o valor de \mathbf{E} .

Considere que o nosso condutor elétrico seja um fio de comprimento L , e seção reta uniforme com área A , como mostrado na Figura 2.5. Seja V a diferença de potencial entre a extremidade com potencial maior e a extremidade com potencial menor, de modo que V seja positivo. A corrente através do condutor sempre flui no sentido da extremidade com maior potencial para a de menor potencial. Isso ocorre pelo fato de em um condutor a corrente flui no sentido do vetor campo elétrico \vec{E} , qualquer que seja o sinal das cargas que se movem. A medida que a corrente flui através da diferença de potencial, ocorre perda de energia potencial elétrica; essa energia é transferida aos íons do material do condutor durante as colisões.

Figura 2.5 – Corrente elétrica em um condutor com seção reta uniforme.



Fonte: Extraída de ZEMANSKY, Vol. 3 , 14ª. edição.

A corrente elétrica i nesse condutor também pode ser relacionada à diferença de potencial V nas extremidades do condutor. Supondo que os módulos da densidade de corrente J e do campo elétrico E sejam uniformes através do condutor, a corrente total i é dada por $i = JA$, e a diferença de potencial V entre as extremidades é dada por $V = EL$. Resolvendo essas equações para E e J e substituindo esses valores na Equação 12, obtemos:

$$\frac{V}{L} = \rho \frac{i}{A} \quad (29)$$

O resultado apresentado na Equação 29 mostra que, quando ρ é constante, a corrente total i é proporcional à diferença de potencial V . A razão entre V e i para um dado condutor denomina-se resistência R :

$$R = \frac{V}{i} \quad (30)$$

Se compararmos a Equação 29 com a Equação 30, percebemos que a resistência elétrica de um condutor pode ser dada em função da resistividade do material do condutor ρ , do comprimento L do mesmo e da sua área de seção reta A . Podendo ser expressa também por:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (31)$$

Observando a Equação 31, percebemos que quando ρ é constante, como no caso dos materiais ôhmicos, então R também é. Se resolvermos a Equação 30 para a diferença de potencial V , encontramos a seguinte equação que geralmente é chamada de lei de Ohm:

$$V = R \cdot i \quad (32)$$

Consideramos importante ressaltar a necessidade de percebermos que o verdadeiro significado da lei de Ohm consiste na indicação de uma proporcionalidade direta (para alguns materiais) de V com I ou de \mathbf{J} com \mathbf{E} . A Equação 30 ou 32 define a resistência R para qualquer condutor que obedeça ou não à lei de Ohm, porém somente no caso de R ser constante é que essa relação pode ser chamada corretamente de lei de Ohm.

Ainda em relação a Equação 30, podemos perceber que a resistência elétrica em um condutor possui uma relação inversa com a intensidade da corrente elétrica que o circula quando as suas extremidades são submetidas a uma diferença de potencial. Isso significa que a intensidade da corrente elétrica no condutor depende da capacidade que ele apresenta de se opor ao movimento dos portadores de carga da corrente elétrica. Essa capacidade que um corpo qualquer tem de se opor à passagem de corrente elétrica é o que chamamos de resistência elétrica, R .

Desse modo, podemos inferir que condutores que oferecem grande resistência ao movimento de portadores de cargas são percorridos por correntes elétricas de baixa intensidade e os que oferecem pouca resistência, possibilitam que corrente elétrica de grande intensidade os percorram.

No SI, a unidade de medida da resistência elétrica é *volt por ampère* V/A , que recebeu a denominação *ohm* cujo símbolo é a letra grega Ω em homenagem ao físico alemão Georg Simon Ohm (1745-1827).

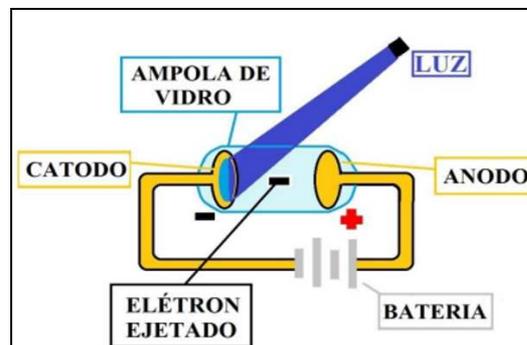
Através da Equação 15, notamos que a resistência elétrica de um condutor está relacionada a propriedade do material que o compõe denominada resistividade ρ , ao seu comprimento L e à área de seção reta A do mesmo. Como no SI, a resistência elétrica é medida em *Ohm* (Ω), a área é medida em *metro quadrado* (m^2) e o comprimento em *metro* (m), então a unidade de medida de resistividade no SI, é o *produto entre Ohm e o metro* ($\Omega \cdot m$). Consideramos importante destacar que a resistividade de um material não é constante, ela depende sobretudo da temperatura. Na maioria dos casos, a resistividade de um material cresce com o aumento da temperatura.

2.2.2.2. Efeito Fotoelétrico

No período final do século XIX, vários pesquisadores notaram que a luz era capaz de ejetar elétrons de diversas superfícies metálicas. Esse fenômeno é o efeito fotoelétrico EFO, usado há muitos anos em olhos elétricos, medidores de luz fotográficos e, antes da era digital, em trilhas sonoras de películas cinematográficas (HEWTT, 2015). Uma extensão do efeito fotoelétrico são as células elétricas fotovoltaicas de hoje e seu potencial em ser uma fonte de energia importante.

Um arranjo que pode ser usado para observar o efeito fotoelétrico é mostrado na Figura 2.6 que é constituído por duas placas condutoras ou semicondutoras, encerradas num invólucro de vidro, no qual se faz vácuo e aplica-se uma diferença de potencial entre as placas. A luz que incide sobre uma superfície metálica, fotossensível e negativamente eletrizada, libera elétrons. Estes elétrons são atraídos pela placa positiva e produzem uma corrente elétrica mensurável (HEWTT, 2015). Se, em vez disso, eletrizarmos essa segunda placa com uma carga negativa de valor suficiente para que ela consiga repelir os elétrons ejetados, a corrente pode ser interrompida. Podemos, então, calcular as energias dos elétrons ejetados, a partir da diferença de potencial entre as placas, que é fácil de medir.

Figura 2.6 – Exemplo de um aparato experimental utilizado para observar o efeito fotoelétrico.



Fonte: http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod03/images/photoelectric_virginia2.jpg

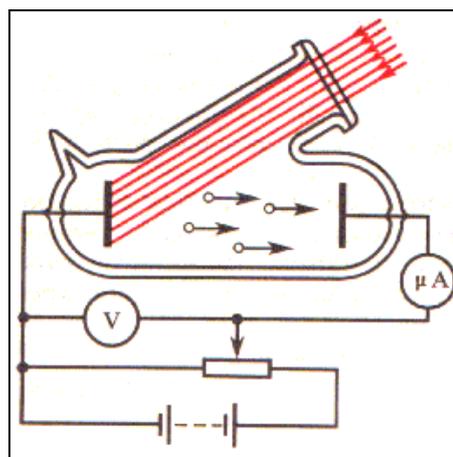
De acordo com Paranhos et al. (2008), esse fenômeno foi descoberto por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), nos anos de 1886 e 1887, ao verificar experimentalmente a existência de ondas eletromagnéticas, fornecendo, assim, a validade da teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell (1831 – 1879). Cavalcante e Tavolaro (2002) destacam que Hertz percebeu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos, dentro de uma ampola de vidro, era facilitada pela incidência de radiação luminosa no eletrodo negativo, provocando a emissão de elétrons de sua superfície.

Eisberg e Resnick (1979) citam que Philipp Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947), ao seguir alguns experimentos de Hallwachs, mostrou que a luz violeta facilitava a descarga ao fazer com que elétrons fossem emitidos da superfície do catodo.

Como já mencionamos, em 1887, Heinrich Hertz investigava a natureza eletromagnética da luz, neste mesmo ano, examinando a produção de descargas elétricas entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes, ele observou que uma faísca proveniente de uma superfície gerava uma faísca secundária na outra. Houve a constatação de que o fenômeno não era de natureza eletrostática. Após uma série de experimentos, Hertz confirmou que a luz poderia gerar faíscas e que o fenômeno deveria ser devido apenas à luz ultravioleta. Em 1888, estimulado pelo trabalho de Hertz, Wilhelm Hallwachs mostrou que corpos metálicos irradiados com luz ultravioleta adquiriam carga positiva e para explicar o fenômeno, Lenard e Wolf sugeriram que a luz ultravioleta faria com que partículas do metal deixassem a superfície do mesmo. Thomson, dois anos depois da descoberta de Hertz, sugeriu que o efeito fotoelétrico consistia na emissão de elétrons (EISBERG e RESNICK, 1979).

O Efeito Fotoelétrico é o fenômeno no qual um material emite elétrons de sua superfície metálica quando iluminado. Consideramos importante destacar que para um elétron se desprenda da superfície metálica, ele precisa absorver energia suficiente da luz para superar a atração dos íons positivos do material (SEARS e ZEMANSKY, 2015). Na Figura 2.7, apresentamos um esquema do EFO,

Figura 2.7 – Esquema do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: <http://www.fisica.net/quantica/curso/efeitofotoeletrico-3.gif>

Em termos históricos, o EFO tem sua raiz na ideia da quantização da energia, proposta por Planck, em 1900, para explicar o espectro de radiação de corpo negro. Isto é, para obter a expressão que permitisse descrever o espectro do corpo negro obtido experimentalmente.

Albert Einstein (1879–1955), propôs a quantização da luz, em 1905. Ou seja, que a energia radiante é quantizada em pacotes concentrados, que posteriormente receberiam o nome de fótons. Para Planck, pensar na energia como quantizada era apenas uma espécie de artifício matemático (EISBERG e RESNICK, 1979).

Consideramos importante destacar que existem aspectos relacionados à natureza da luz que não puderam ser explicados pela Física Clássica e pela Teoria Ondulatória da Luz. Esses aspectos só foram explicados através do EFO, são eles: De acordo com a Teoria Ondulatória da Luz, o aumento da intensidade da luz implicaria no aumento da amplitude da onda luminosa. Na realidade, a intensidade luminosa aumenta a quantidade de elétrons ejetados; Outro aspecto é que no prisma de visão da Teoria Ondulatória da Luz, o EFO deveria acontecer para todas as frequências da luz, se houvesse intensidade suficiente para dar energia para ejeção de elétrons. Entretanto, na prática só havia emissão dos fotoelétrons para cada superfície, a partir de uma frequência mínima, denominada frequência de corte; Desse modo, se a frequência for menor que a frequência de corte não existirá energia necessária para ejetar fotoelétrons, independente da sua intensidade. Havendo então, a emissão imediata do fotoelétron, quando pelo menos um fóton é absorvido por um átomo com frequência superior a frequência de corte.

Finalmente, um outro aspecto que a teoria clássica não conseguia explicar era o fato de que se a luz fosse suficientemente fraca, teria que existir um intervalo de tempo mensurável, a partir do instante que a luz começa a incidir sobre a superfície até o momento de ejeção do fotoelétron. Assim, nesse intervalo, o elétron estaria absorvendo e acumulando energia até escapar. Entretanto nenhum intervalo detectável foi medido. Além disso, quando a radiação incidente tinha a frequência mínima para arrancar fotoelétrons, os mesmos eram arrancados no instante de incidência sobre a superfície.

As propriedades observadas do efeito fotoelétrico eram divergentes das previsões clássicas, em que se esperava que a radiação eletromagnética se comportasse simplesmente como uma onda no processo de ejeção dos elétrons. Ao fazer essas considerações do pensamento clássico, deve-se observar que a energia cinética dos elétrons deveria aumentar com a intensidade da onda eletromagnética, deveria “demorar” para haver emissão de elétrons dependendo de intensidade da luz e que a energia cinética não deveria depender de forma descontínua da frequência da onda eletromagnética. Entretanto, experimentalmente, a energia cinética não varia com a intensidade da luz, não há atraso perceptível para emissão dos elétrons e para frequências baixas não existe o efeito fotoelétrico (EISBERG e RESNICK, 1979).

O efeito fotoelétrico tem sua explicação baseada na ideia da quantização da energia usada por Planck, que não se tratava apenas de um artifício matemático para explicação do problema da radiação do corpo negro, mas era uma característica universal da luz ou das ondas eletromagnéticas. Einstein assumiu que a energia das oscilações eletromagnéticas é dada por (EISBERG e RESNICK, 1979):

$$E = n \cdot h \cdot \nu \quad (22)$$

Na Equação 22, E a energia fundamental ou a energia de um quantum, ν é a frequência da onda eletromagnética, h é uma constante denominada constante de Planck e n , múltiplos inteiros positivos de " $h \cdot \nu$ " (quantização).

Em 1905, Albert Einstein explicou o EFO através da hipótese da quantização da radiação eletromagnética, segundo a qual, em certos processos a luz comporta-se como pacotes concentrados de energia, chamados fótons (CAVALCANTE et al., 2002). Assumir a quantização da energia, ou o quantum, é adotar o caráter corpuscular que está presente no processo de interação da radiação com a matéria (absorção e emissão). A intensidade da luz pode agora ser dada pelo número de fótons emitidos por unidade de tempo. Desse modo, quando um fóton interage com um elétron de um material, para que um único fóton seja completamente absorvido pelo elétron do material, após a interação, precisa estar com uma energia cinética, K , dada por (EISBERG e RESNICK, 1979):

$$K = h\nu \quad (23)$$

Na realidade, as partículas de luz deveriam se chocar contra os elétrons, transferindo energia para eles durante a colisão. No entanto, o elétron está preso no material e para libertar-se precisava receber certa quantidade de energia que, fisicamente, corresponde a um trabalho a ser realizado. Essa quantidade de energia para arrancar o elétron é chamada de função trabalho (ϕ). A energia cinética do elemento ejetado é dado, por (EISBERG e RESNICK (1979):

$$K_{Máx} = h\nu_0 - \phi \quad (24)$$

Sabemos que o Efeito Fotoelétrico depende da frequência da radiação eletromagnética que incide sobre a placa e de qual material ela é feita. Uma vez que para cada material haverá uma energia mínima, haverá também uma função trabalho necessária para que se emita um fotoelétron. Observando a Equação 24, percebemos que é válido o Princípio de Conservação da Energia e que evidentemente, se o lado direito da expressão for negativo não haverá ejeção de elétrons, mostrando que para valores menores que ν_0 , o fóton não terá energia suficiente para ser superior a energia necessária da função trabalho do material.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo iremos apresentar a metodologia utilizada para a realização da nossa pesquisa bem como descreveremos aspectos relativos a nossa proposta de intervenção. O objetivo principal é refletir e agir, sobre a possibilidade de inserir tópicos da Física Moderna no ensino da Física durante no Ensino Médio. Para tanto, construímos uma sequência didática que será utilizada como instrumento pedagógico para trabalhar conceitos de Eletrodinâmica, usando o Efeito Fotoelétrico como mediador desse propósito, utilizando como subsídio teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

As pessoas a serem pesquisadas em nosso estudo são estudantes resolvendo situações problema propostas através de alguns questionamentos no espaço escolar. Em função disso, para efetuarmos a nossa pesquisa, optamos pela utilização da abordagem metodológica de natureza qualitativa. De acordo com Godoy (1995), de maneira geral, a pesquisa qualitativa não procura enumerar e/ ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico na análise dos dados. Conforme a autora, a pesquisa qualitativa:

Parte de questões ou focos de interesses amplos, que vão se definindo à medida que o estudo se desenvolve e envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos, ou seja, dos participantes da situação em estudo. (GODOY, 1995, p.58).

De acordo com Silveira e Córdova (2009), a pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc. Na pesquisa qualitativa, o cientista é ao mesmo tempo o sujeito e o objeto de suas pesquisas. O desenvolvimento da pesquisa é imprevisível. O conhecimento do pesquisador é parcial e limitado (SILVEIRA e CÓRDOVA, 2009, p.32).

Ainda em relação à pesquisa de natureza qualitativa, Godoy (1995) coloca que é comum a utilização de expressões "pesquisa de campo" e "pesquisa naturalística" como sinônimos de "pesquisa qualitativa". De acordo com a autora, pesquisa de campo é um termo bastante comum entre antropólogos e sociólogos, que passaram a utilizá-lo na tentativa de diferenciar os estudos conduzidos em "campo", ou seja, no ambiente natural dos sujeitos, daqueles desenvolvidos em situações de laboratório ou ambientes controlados pelo investigador.

Já na designação "naturalística" também está implícita a ideia de que os sujeitos são observados em seu hábitat, de forma não-intervencionista. Além disso, o próprio nome indica que tais observações são relatadas em linguagem não-técnica, por meio de palavras e

conceitos familiares, que possibilitam a compreensão do fenômeno, minimizando o papel de pressuposições admitidas a priori (GODOY, 1995).

3.1. Elaboração da Proposta e a Intervenção

3.1.1. Elaboração da Proposta

Para construção da nossa proposta de intervenção, como mencionamos anteriormente, adotamos como suporte teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Além disso, delineamos alguns pontos, que julgamos importantes para a elaboração da mesma, que detalharemos a seguir:

A seleção da escola e dos participantes da pesquisa:

A escola onde desenvolvemos a pesquisa foi o Instituto Federal da Paraíba (IFPB), localizada no bairro da Vila Mocó na cidade de Itaporanga - PB, que pertence à rede pública federal de ensino. O Campus Itaporanga do IFPB oferece, além do Ensino Médio Regular, o Curso Técnico Integrado em Edificações que visa atender aos estudantes egressos das escolas estaduais e municipais da cidade de Itaporanga e regiões circunvizinhas, como por exemplo: Aguiar, Coremas, Igaracy, Piancó, Olho d'água, Santana dos Garrotes, Nova Olinda, Pedra Branca, Boa Ventura, Curral Velho e outras cidades polarizadas por Itaporanga¹.

A escola atualmente conta com uma sala de informática equipada com 10 computadores ligados em rede, 05 salas de projeções que contêm um televisor de plasma e projetor de multimídia cada uma. A escola não dispõe de nenhum laboratório para realização de experimentos. Para participar da nossa pesquisa, selecionamos uma turma da 3ª ano do Curso Técnico de Edificações do período diurno.

Consideramos importante enfatizar que embora a turma em que o professor Emílio de Lucena exerce sua função como docente é composta por 35 alunos, mas que para a realização da nossa pesquisa, utilizamos um horário extra curricular em período oposto as aulas regulares na Instituição de Ensino, e para tanto usou-se um número reduzido com apenas 10 estudantes, sendo os mesmos escolhidos entre os que residem na cidade de Itaporanga. Convém dizer que o critério que adotamos para essa seleção foi a assiduidade e a frequência dos estudantes em sala de aula, tornando-se inviável dessa forma, a participação de todos os estudantes da turma, uma vez que a maioria deles moram em outras cidades e é muito comum

¹ Informações extraídas do site: <http://www.ifpb.edu.br/itaporanga/institucional/sobre-o-campus>

se atrasarem, faltarem ou mesmo sair antes do término das aulas por dependerem do uso do transporte escolar para chegarem a escola.

Ainda em relação aos estudantes participantes da nossa pesquisa, por questões éticas, no capítulo 4 apresentaremos os resultados, identificando os mesmos por nomes fictícios conforme mostramos na Tabela 01, a seguir:

Tabela 01 – Identificação dos participantes da pesquisa

Estudante 01	Luiza	Estudante 06	Felipe
Estudante 02	Isaac	Estudante 07	Leonardo
Estudante 03	Bento	Estudante 08	Laura
Estudante 04	Daniel	Estudante 09	Thaís
Estudante 05	Gabriel	Estudante 10	Estela

Fonte: Produção do autor

- A estrutura da proposta de intervenção:

A nossa proposta de intervenção foi construída no formato de uma sequência didática que tem o intuito de inserir o estudo do Efeito Fotoelétrico, com estudantes do Ensino Médio, realizando uma associação com alguns conceitos relativos à Eletrodinâmica.

Consideramos importante ressaltar que a escolha desse tema se deu em função da sua importância e também por entendermos que se trata de tema que traz muitas aplicações práticas utilizadas no dia a dia e por percebermos o quão importante é tentar conduzir o estudante a perceber a relação entre o que ele estuda no espaço escolar com o seu cotidiano e por ser um tema que ainda não fora discutido em sala de aula durante as séries anteriores.

Esta sequência didática foi construída na perspectiva de permitir a análise sobre o conhecimento prévio dos estudantes, através de perguntas que possibilitem pensar sobre atividades teóricas relativas aos conceitos fundamentais necessários para aprofundar o estudo de circuitos elétricos e que serão identificados no Efeito Fotoelétrico, como por exemplo: a tensão, corrente, resistência, potência elétrica e energia elétrica.

- Objetivos da proposta de intervenção:
 - Identificar, através de questionamentos sobre circuitos elétricos, o conhecimento prévio dos estudantes sobre os conceitos de Eletricidade;
 - Promover o ensino de conceitos de Eletricidade e Física Moderna e Contemporânea, integrando o fóton como mediador da Eletrodinâmica;

- Promover situações em que os estudantes possam interpretar e compreender as relações existentes entre grandezas físicas envolvidas nos circuitos elétricos;
- Promover o uso das células fotovoltaicas para a construção de projetos nos quais os estudantes apliquem os conceitos de Eletricidade e Efeito Fotoelétrico.

Em relação a estrutura, a nossa proposta foi organizada em dois encontros, sendo cada um deles, composto por três aulas. Cada uma dessas aulas, estão previstas para acontecer em uma aula com duração de quarenta e cinco minutos. A seguir, faremos uma breve descrição acerca desses encontros e seus respectivos momentos.

O primeiro encontro foi dividido em três aulas. Na primeira, apresentaremos em forma de situações problema, algumas aplicações cotidianas que utilizam o Efeito Fotoelétrico como princípio de funcionamento. Na segunda, explicaremos o Efeito Fotoelétrico utilizando um texto de apoio. E finalmente, na terceira aula, trabalharemos o Efeito Fotoelétrico através da exploração de uma atividade de simulação do PhET Colorado.

O segundo encontro, assim como o primeiro, também foi realizado em três aulas. Na primeira, reapresentaremos a atividade de simulação do PhET, sobre o Efeito Fotoelétrico encaminhando uma discussão acerca de alguns conceitos, que poderão tornar-se elementos chaves da Eletrodinâmica. Na segunda, novamente trabalharemos a ideia do Fóton, agora fazendo uma relação entre o Fóton e alguns processos Eletrodinâmicos. Finalmente, na terceira aula, proporemos aos estudantes a construção de dispositivos elétricos que estejam associados ao Efeito Fotoelétrico, que deverá ser construído em aulas posteriores a aplicação da nossa proposta de intervenção.

Esperamos que essa proposta de intervenção possa servir para potencializar o ensino da Física e desse modo, contribuir para favorecer a aprendizagem acerca dos conceitos aqui abordados. Consideramos importante destacar que a sequência didática que construímos e utilizamos como ferramenta pedagógica durante a nossa proposta de intervenção constitui o produto educacional e encontra-se inteiramente descrito no Apêndice A.

3.1.2. A intervenção

A aplicação da proposta de intervenção através da sequência didática foi realizada durante o mês de agosto de 2018 com estudantes do 3ª Série do Curso Técnico em Edificações do período diurno do Campus de Itaporanga do Instituto Federal de Educação da Paraíba.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo faremos o relato da utilização da proposta e da experiência de intervenção bem como apresentaremos os resultados da nossa pesquisa e realizaremos uma discussão acerca dos mesmos.

4.1. – O Relato da Aplicação da Proposta de Intervenção

Encontro I

Como mencionamos no capítulo 3, o primeiro encontro da nossa proposta de intervenção é composto por três aulas, cada uma delas prevista para ocorrer em uma aula com duração de quarenta e cinco minutos.

A primeira aula desse encontro ocorreu na sala de aula, durante uma aula com duração de quarenta e cinco minutos, do dia dois de agosto do ano de dois mil e dezoito. Inicialmente, entregamos aos estudantes um formulário que continha os seguintes questionamentos iniciais:

- *Você já parou para pensar como as luzes dos postes de energia acendem e apagam automaticamente?*
- *Você tem ideia de como funciona as portas de elevadores? E as portas dos shopping Centers?*
- *Como você explica o funcionamento das esteiras de caixas de supermercados?*
- *Como você explica o funcionamento dos sistemas de alarme que ligam e desligam automaticamente?*

A intenção de utilizar esses questionamentos, foi de tentar descobrir o conhecimento prévio dos estudantes acerca do tema a ser trabalhado. Uma vez que, é esse conhecimento que eles trazem, um dos fatores que possibilita a aprendizagem significativa dos conceitos.

Para os estudantes responderem esses questionamentos iniciais, reservamos um intervalo de tempo compreendido entre quinze e vinte minutos. Em seguida, por acreditarmos que as respostas apresentadas pelos estudantes poderiam não ser aquelas desejadas pelo professor e que eles não mencionariam em nenhum momento sobre o Efeito Fotoelétrico. Colocamos, o seguinte questionamento:

- *Alguém já ouviu falar sobre Efeito Fotoelétrico? Sabe o que ele representa na prática?*

Consideramos importante mencionar que sentimos a necessidade de colocarmos o questionamento acima em função de esperarmos que no geral, os estudantes do Ensino Médio, não consigam associar a situação a esse tema de Física. A fim de ilustrar esse momento inicial, apresentamos a Figura 4.1, a seguir:

Figura 4.1 – Estudantes respondendo os questionamentos iniciais.



Fonte: Autoria própria.

Após os estudantes entregarem a folha com as respostas para esse questionamento, entregamos para eles o texto de apoio I, como consta no Apêndice A, que descreve claramente o Efeito Fotoelétrico e as situações problema postas inicialmente.

Para que os estudantes efetuassem a leitura do texto, estimamos um tempo de vinte minutos. A ideia é que com a leitura do texto eles conseguissem, fazer as conexões necessárias para o entendimento das situações propostas inicialmente. Para finalizar esse momento do encontro, dedicamos cerca de 10 minutos para uma discussão acerca das perguntas propostas no questionário apresentado aos alunos.

Passaremos agora a apresentar as respostas dadas pelos estudantes aos questionamentos e faremos ainda uma breve discussão acerca das mesmas. Como dissemos no capítulo 3 do nosso trabalho, os nomes que utilizamos para identificar os estudantes participantes da pesquisa são fictícios.

No que se refere a primeira pergunta dos questionamentos iniciais, em que perguntamos aos estudantes: Você já parou para pensar como as luzes dos postes de energia acendem e apagam automaticamente? No geral eles responderam que já pararam para pensar. Entre os dez estudantes pesquisados, apenas um respondeu que nunca havia pensado sobre o assunto em questão. Observando as respostas que eles apresentaram para esse

questionamento, percebemos que a grande maioria dos estudantes associam controle do funcionamento das luzes dos postes a algum programa de computador e que embora este fenômeno se apresente cotidianamente para eles, sua explicação representa para eles, algo novo. A seguir, a fim de ilustrar apresentamos as respostas dos estudantes Luiza, Isaac e Bento para esse questionamento:

Luiza: *“Já sim. Meu raciocínio era que há um local onde possui todas as ligações das luzes dos postes e quando acionado algum interruptor eles ligavam e desligavam”*.

Isaac: *“ a partir de um dispositivo programado para acender e apagar as luzes em horários Pré-determinados.”*

Bento: *“ Eu acho que existe uma programação por trás para que em determinada hora as luzes acendam e apaguem”*

Em relação ao segundo questionamento, sobre o funcionamento das portas dos elevadores e as portas dos Shopping Centers, a maior parte dos estudantes disse já ter pensado sobre a questão e associa o funcionamento dessas portas a algum sensor, a alguma espécie de magnetismo. Apenas dois estudantes afirmaram nunca ter se questionado acerca dessa questão, mas ainda assim achavam que era um sensor ou um circuito que fazia o controle. A seguir, a título de ilustração, apresentamos as respostas dos estudantes Bento, Daniel, e Gabriel para esse questionamento:

Bento: *“ Deve existir uma placa magnética que no momento que nós pisamos gera um pulso magnético que faz com que a porta abra”*

Daniel: *“ Ela se abre automaticamente ao chegar em qualquer andar e se fecha quando é solicitado em outro andar, apertando-se algum botão do painel. As portas dos Shoppings geralmente tem sensores de proximidade, que fazem com que ela se abra automaticamente.”*

Gabriel: *“Não, imagino ser sensores programados para desempenhar tal função de forma repetitivamente e com eficiência.”*

Em relação ao terceiro questionamento, em que perguntamos: Como você explica o funcionamento das esteiras de caixas de supermercados? Alguns estudantes, associam o funcionamento das esteiras a um sensor, outros afirmam que existe um motor que a faz funcionar ou que existe botões que são acionados fazendo com que as esteiras funcionem. A

seguir, com a finalidade de exemplificar as respostas dos estudantes, apresentamos as respostas dos estudantes Laura, Estela, e Gabriel para esse questionamento:

Laura: “*funciona por magnetismo e sensores,*”

Estela: “*Ao apertar o botão a esteira liga e quando o material chega até o fim da esteira ele para, deve ser por causa do peso que chega ao final dela.*”

Gabriel: “*Penso que existe um motor que faz com que aquela esteira ande de forma uniforme e automática quando é submetida a tal função.*”

Quanto ao questionamento, como você explica o funcionamento dos sistemas de alarme que ligam e desligam automaticamente? Observando as respostas dos estudantes, notamos que a maioria deles associa o funcionamento dos alarmes a sensores de temperatura, ou a sensores de calor. Como exemplo, apresentamos a seguir as respostas dos estudantes Laura, Felipe e Leonardo para esse questionamento:

Laura: “*Por meio de um sistema que sente a presença física ou de matéria, calor*”

Felipe: “*Ao apertar o botão a esteira liga e quando o material chega até o fim da esteira ele para, deve ser por causa do peso que chega ao final dela.*”

Leonardo: “*No exemplo de um alarme de incêndio ele detecta o calor, (sensor) que ativa o chuveirinho da água.*”

Quando perguntamos aos estudantes se alguém já havia ouvido falar sobre Efeito Fotoelétrico e se eles sabiam o que ele representa na prática, no geral eles afirmaram que nunca ouviram falar e não imaginavam o que seria. Apenas três estudantes afirmaram já ter escutado falar e dois desses três disseram ter ouvido falar, entretanto, de forma superficial. A seguir, a fim de ilustrar, apresentamos as respostas dos estudantes Daniel, Felipe e Thaís para esse questionamento:

Daniel: “*Não, não faço ideia.*”

Felipe: “*Sim. Ele é o efeito que faz com que uma onda com grande intensidade remova elétrons de uma determinada superfície.*”

Thaís: “*Nunca nem vi, piorou.*”

A segunda aula desse encontro, que teve como intuito explicar para os estudantes o Efeito Fotoelétrico e tentar favorecer a compreensão deles sobre esse fenômeno, ocorreu na sala de aula, com duração de quarenta e cinco minutos, do dia dois de agosto do ano de dois

mil e dezoito. Inicialmente, durante cerca de cinco minutos, fizemos uma breve discussão buscando retomar o que foi discutido na aula anterior, enfatizando que o Efeito Fotoelétrico era o causador/agente daquilo que estava sendo apresentado.

Em seguida, apresentamos essa temática a partir da explicação dada por Albert Einstein, usando para isso o texto de apoio II, que foi entregue a eles no formulário de acompanhamento desse momento do encontro I, conforme o Apêndice B. Para a leitura do texto, que deveria ser realizada individualmente pelos estudantes, foi dado um intervalo de tempo entre 25 e 30 minutos. Na Figura 4.2, apresentada a seguir, ilustramos esse momento do encontro.

Figura 4.2– Estudantes realizando a leitura do texto de apoio II.



Fonte: Autoria própria.

Após a realização da leitura, solicitamos que os estudantes tentassem identificar as grandezas físicas mencionadas no texto de apoio II que já haviam sido discutidas em outras aulas apresentando conseqüentemente algum sentido no contexto da Eletrodinâmica e os mesmos anotassem no formulário de acompanhamento, entregue juntamente com o texto de apoio II, conforme o Apêndice B. Observando as respostas apresentadas pelos estudantes, percebemos que boa parte deles identificaram grandezas como corrente elétrica, frequência da luz, d.d.p, intensidade da luz, entre outras e a título de ilustração, apresentamos algumas das grandezas físicas identificadas pelos estudantes Bento, Felipe e Thaís.

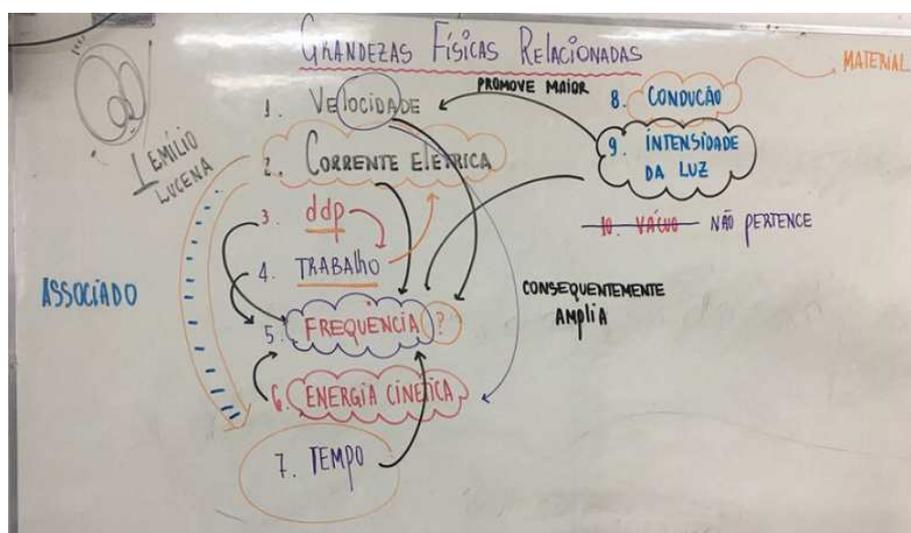
Bento: “Corrente elétrica = i , *Potencial, Velocidade, Trabalho, intensidade.*”

Felipe: “Diferença de Potencial, corrente elétrica, radiação da luz, frequência da luz.”

Thaís: “Placas condutoras, frequência da luz, corrente elétrica, velocidade.”

Após os estudantes entregarem as respostas, pedimos que eles falassem as grandezas físicas que eles haviam identificado. À medida em que eles iam nos dizendo, íamos escrevendo no quadro, para que finalizando essa segunda parte do encontro, realizássemos uma discussão acerca das grandezas por eles mencionadas no texto de apoio II e qual o sentido que eles identificaram existir entre elas e a Eletrodinâmica. Na Figura 4.3, apresentada a seguir, estão representadas as grandezas físicas citadas pela maioria dos estudantes.

Figura 4.3 – Grandezas Físicas Identificadas Pelos Estudantes

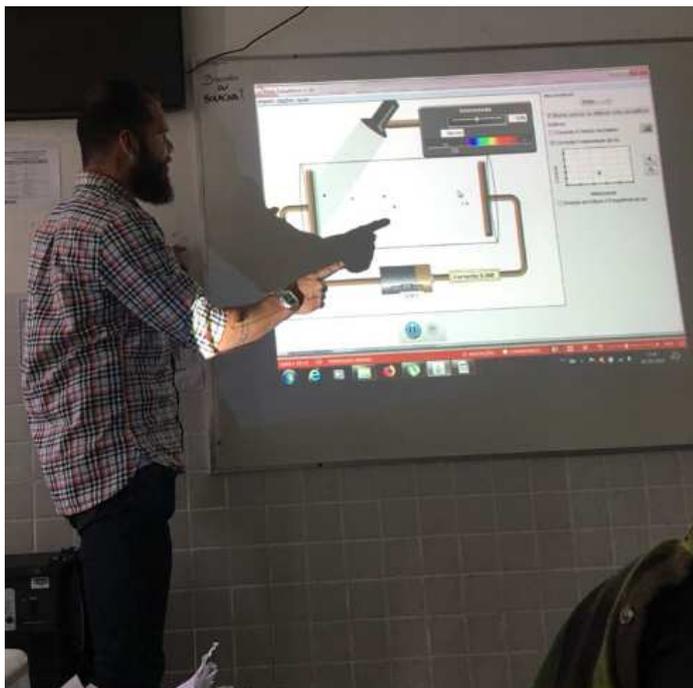


Fonte: Autoria própria.

A terceira aula, com duração de quarenta e cinco minutos, do dia nove de agosto do ano de dois mil e dezoito. A fim de retornar a falar sobre as grandezas físicas apresentadas no texto de apoio II da aula anterior, iniciamos esse momento realizando uma breve discussão, argumentando sobre o que fora discutido em momentos anteriores. Em seguida, utilizando o Data show, apresentamos aos estudantes uma simulação computacional do simulador PhET sobre o Efeito Fotoelétrico², apresentada na Figura 4.4. O nosso intuito com a atividade de simulação foi tentar conduzir os estudantes a perceberem a diferença ao submetermos o nosso circuito simples, apresentado pelo simulador, a uma luz de frequências distintas e consequentemente observar o comportamento dos valores indicados pela diferença de potencial e da corrente elétrica do circuito.

² Atividade de simulação disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric.

Figura 4.4 – Trabalhando a Atividade de Simulação Sobre o Efeito Fotoelétrico



Fonte: Autoria própria.

Enquanto interagíamos com a atividade de simulação, tentamos retomar os conhecimentos prévios dos estudantes, lembrando conceitos como d.d.p. (diferença de potencial) e corrente elétrica, explorados previamente. Após a apresentação da atividade de simulação, finalizamos esse terceiro momento, propondo aos estudantes os seguintes questionamentos:

- *Qual o valor da intensidade da luz que o simulador está marcando inicialmente? Caso tenhamos que aumentar a intensidade em 50%, o que deve acontecer?*
- *Quando alterarmos o valor da intensidade agora para 100%, houve alguma diferença para o valor de corrente apresentado em relação à quando estávamos com apenas 50% da intensidade de luz?*
- *Qual a relação entre a intensidade de luz e a corrente elétrica? Direta ou inversamente proporcional? Podemos concluir então que a quantidade de elétrons ejetados é maior, igual ou menor?*
- *Caso modifiquemos o valor da d.d.p (Voltagem) da pilha apresentada, haverá modificação na quantidade de elétrons ejetados? Observe o que ocorrerá.*

O intuito desses questionamentos era de tentarmos identificar se os estudantes percebiam algo de diferente nas grandezas físicas mencionadas acima. Para que os estudantes

anotassem suas respostas foi entregue a cada um deles uma ficha de acompanhamento do encontro conforme o Apêndice B que continham os mesmos. Após os estudantes entregarem as suas respostas, com o intuito de aprimorar os conceitos prévios dos estudantes e também os que trabalhamos durante os dois momentos iniciais desse encontro, realizamos uma discussão acerca de cada um dos questionamentos mencionados acima.

Passaremos agora a apresentar as respostas dadas pelos estudantes aos questionamentos e faremos ainda uma breve discussão acerca das mesmas. No que se refere a primeira pergunta dos questionamentos iniciais, em que perguntamos aos estudantes: Qual o valor da intensidade da luz que o simulador está marcando inicialmente? Caso tenhamos que aumentar a intensidade em 50%, o que deve acontecer? No geral eles responderam que quando houve mudança na cor da luz, ocorreu a ejeção de elétrons de uma placa a outra e mudança no valor da corrente elétrica. A seguir, a fim de ilustrar apresentamos as respostas dos estudantes Bento, Thaís e Luiza para esse questionamento:

Bento: *“Inicial = 0 Começamos com a luz vermelha com 50% de intensidade, apresentou uma luz, mas, não alterou sua DDP e nem sua corrente. Quando alteramos a intensidade da cor violeta para 75% começou a sair elétrons e a corrente mudou para 0,075A.”*

Thaís: *“Inicialmente a marcação é 0. Começamos com vermelho com a intensidade de 50%, apresenta luz visível, mas nenhuma alteração em sua d.d.p e corrente.*

Em violeta o mm ficou em 400, em relação a intensidade 0, não tive Marcação de corrente. com a intensidade em 50% os elétrons começam a se soltar de uma placa para a outra e a corrente se altera para 0,071.”

Luiza: *“Inicialmente a marcação da intensidade é 0. Começamos na cor vermelha com uma intensidade de 50% em que apresentou luz visível sem alterações na corrente ou na ddp.*

Pra a violeta mantendo a intensidade de 0% não mudou o valor da corrente.

Quando colocamos a intensidade para 50% mantendo a cor violeta os elétrons saíram da placa, mudando a corrente para 0,071A”

Em relação ao segundo questionamento, em que perguntamos: Quando alterarmos o valor da intensidade agora para 100%, houve alguma diferença para o valor de corrente apresentado em relação à quando estávamos com apenas 50% da intensidade de luz? Observando as respostas dos estudantes, percebemos que a maior parte reconheceu que

dobrando a intensidade da luz para a cor vermelha não havia mudança na corrente elétrica, mas quando dobrávamos a intensidade da luz para a cor violeta a corrente também duplicava. Alguns afirmaram que ao usarmos a radiação na cor vermelha, tínhamos um fato de que ao dobrar a intensidade da luz, a única alteração que percebiam era que a luz tornava-se mais visível. A seguir, a título de ilustração, apresentamos as respostas dos estudantes Bento, Isaac, e Luiza para esse questionamento:

Bento: *“A luz ficou invisível. Não houve alteração na corrente.”*

Para a violeta com 100% de intensidade foi de 0,071^a para 0,141^a e continuou visível a luz e continuou a saída de elétrons.”

Isaac: *“A luz tornou-se mais visível. Porém continua sem alteração na corrente e nem na ddp.”*

Para a violeta com 100% de intensidade a corrente quase dobrou de valor e houve mais deslocamento de elétrons.”

Luiza: *“Sim, ficou mais visível a luz e em relação a corrente e a ddp não mudou nada.”*

Aumentando para 100% a intensidade da luz para violeta a corrente mudou para 0,141 estando quase o dobro em relação, a quando estava na intensidade de 50%.”

Em relação ao terceiro questionamento, em que perguntamos: Qual a relação entre a intensidade de luz e a corrente elétrica? Direta ou inversamente proporcional? Podemos concluir então que a quantidade de elétrons ejetados é maior, igual ou menor? A maior parte dos estudantes afirmou que existe uma relação direta entre a intensidade da luz e a corrente elétrica. Entretanto, alguns deles disseram existir essa proporcionalidade direta, apenas para a luz violeta com comprimento de onda de 400 nm. Talvez essas afirmações dos estudantes tenham se dado em função da radiação na cor vermelha não ter surgido corrente elétrica. A seguir, com a finalidade de exemplificar as respostas dos estudantes, apresentamos as mencionadas por Thaís, Isaac, e Luiza para esse questionamento:

Thaís: *“O efeito só acontece no violeta, com o comprimento em 400nm acontece uma relação direta e proporcional. Com o decorrer que aumentamos a intensidade os elétrons saem em quantidade igual, porém em mesma velocidade. No Cálcio em 50%, elétrons saem menos, porém com maior velocidade.”*

Isaac: *“Para o vermelho, não houve efeito.”*

Para o violeta, a relação é diretamente proporcional. Já a quantidade de elétrons ejetada é igual, porém mais rápido.”

Luiza: *“É uma relação direta, pois a medida que a intensidade aumenta a corrente aumenta para a luz violeta 400nm.*

Aumentado a intensidade os elétrons passam em maior quantidade.”

Já em relação ao último questionamento, em que perguntamos: Caso modifiquemos o valor da d.d.p (Voltagem) da pilha apresentada, haverá modificação na quantidade de elétrons ejetados? E ao mesmo tempo solicitamos para que os estudantes observarem o que iria ocorrer. Observando as respostas dos estudantes, notamos que a turma foi unânime em afirmar que não havia alteração na quantidade de elétrons ejetadas e que observaram que modificando a diferença de potencial da bateria, havia um aumento na velocidade de deslocamento dos elétrons. Como exemplo, apresentamos a seguir as respostas das estudantes Laura, Luiza e Estela para esse questionamento:

Laura: *“A quantidade e a mesma, mas a velocidade é maior.”*

Luiza: *“Não mudou a quantidade, mas ocorreu apenas uma mudança na velocidade desses elétrons.”*

Estela: *“Não, a quantidade de elétrons fica a mesma, porém a velocidade aumenta.”*

Encontro II

Como falamos no capítulo 3, o segundo encontro da nossa proposta de intervenção, assim como o primeiro, também é composto por três aulas, cada uma delas prevista para ocorrer em uma aula com duração de quarenta e cinco minutos. Na primeira, rerepresentaremos a atividade de simulação do PhET, sobre o Efeito Fotoelétrico encaminhando uma discussão acerca de alguns conceitos que serão elementos chaves da Eletrodinâmica. Na segunda, novamente trabalharemos a ideia do Fóton, agora fazendo uma relação entre o Fóton e alguns processos Eletrodinâmicos. Finalmente, na terceira aula, proporemos aos estudantes a construção de dispositivos elétricos que estejam associados ao Efeito Fotoelétrico, que deverá ser construído após a aplicação da nossa proposta de intervenção.

Conforme dito acima, o intuito desse encontro é inserirmos o conceito de fóton, bem como entrelaçar as grandezas físicas vistas no uso do simulador PhET, com o que era de conhecimento prévio dos alunos sobre Eletrodinâmica. Para tanto, iniciamos o primeiro momento desse encontro, ao qual aconteceu na sala de aula, durante uma aula com duração de

quarenta e cinco minutos do dia dezesseis de agosto do ano de dois mil e dezoito, entregando aos estudantes um formulário que continha os seguintes questionamentos:

- *O que você notou de diferente nas cores das luzes que foram enviadas ao dispositivo do Efeito Fotoelétrico?*
- *Qual grandeza física está associada diretamente as cores?*
- *Essa luz incidente possui energia? Como poderíamos relacionar a Energia com a Frequência? São diretamente ou inversamente proporcionais?*
- *Como então justificar o simples fato de que luz arrancou elétrons da superfície de um metal? Em que teoria estamos nos baseando, será a luz uma onda ou uma partícula?*

Consideramos importante enfatizar que a ideia desses questionamentos era tentar realizar um resgate dos conceitos de eletrodinâmica que trabalhamos durante as aulas anteriores e que os mesmos deveriam ser respondidos a partir da utilização do simulador PhET.

Por acreditarmos que para o último questionamento, as respostas dos estudantes seriam que a luz é uma onda eletromagnética, inserimos o texto de apoio III, conforme o Apêndice B, através do qual colocamos os estudantes em contato com o conceito de dualidade onda-partícula. A ideia é que através dessa leitura eles possam perceber que o Efeito Fotoelétrico está caracterizado considerando a natureza corpuscular da luz.

Após a leitura do texto, realizamos uma discussão com os estudantes acerca do mesmo e em seguida, ainda com o intuito de trabalharmos a natureza dual da luz, apresentamos um vídeo³ de apoio de curta duração intitulado: Dualidade Onda Partícula – Fótons. Em seguida, assim como fizemos com o texto, encerramos esse momento do encontro, realizando uma discussão sobre o vídeo.

Passaremos agora a apresentar as respostas dadas pelos estudantes aos questionamentos e faremos ainda uma breve discussão acerca das mesmas. Quanto ao primeiro questionamento, em que perguntamos aos estudantes: O que você notou de diferente nas cores das luzes que foram enviadas ao dispositivo do Efeito Fotoelétrico? No geral eles responderam que para cada cor existe um comprimento de onda correspondente. Alguns citaram que quando alterávamos a cor da fonte, havia uma modificação na quantidade de elétrons ejetada e outros disseram que para cada material há uma intensidade mínima de luz

³ Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs>>

incidente capaz de arrancar os elétrons. A seguir, a fim de ilustrar, apresentamos aqui as respostas dos estudantes Luiza, Isaac e Leonardo para esse questionamento:

Luiza: *“O que notei foi que as cores possui um comprimento de onda diferente uma das outras e quanto menor lamina maior será a frequência,”*

Isaac: *“luzes com maior frequência possuem mais energia e produzem mais movimentação na corrente elétrica.”*

Leonardo: *“Que quando o comprimento de onda (nm) mudava a cor enviada mudava. Cada material possuía uma quantidade mínima de intensidade para poder arrancar os elétrons.”*

Em relação ao segundo questionamento, no qual colocamos: Qual grandeza física está associada diretamente as cores? A maior parte dos estudantes afirmou que as cores estão associadas a frequência, alguns citaram a frequência e o comprimento de onda e apenas uma estudante disse que a grandeza física associada as cores era a intensidade da luz. A seguir, a título de ilustração, apresentamos as respostas dos estudantes Leonardo, Laura, e Thaís para esse questionamento:

Leonardo: *“comprimento de onda:nm e frequência:f”*

Laura: *“frequência”*

Thaís: *“intensidade, ela se associa diretamente.”*

Com relação ao terceiro questionamento, em que perguntamos: Essa luz incidente possui energia? Como poderíamos relacionar a Energia com a Frequência? São diretamente ou inversamente proporcionais? Os discentes que participaram da atividade em sua totalidade, afirmaram que a luz incidente possui energia. Alguns afirmaram que a energia e a frequência são diretamente proporcionais. Consideramos importante dizer que para esse questionamento, boa parte dos estudantes utilizam a palavra onda se referindo a luz e afirmam que tudo que tem onda também tem energia. A seguir, com a finalidade de exemplificar as respostas dos estudantes, apresentamos as respostas dos estudantes Bento, Estela, e Leonardo para esse questionamento:

Bento: *“Sim. São diretamente proporcionais.”*

Estela: *“Sim, toda energia tem onda e a frequência tá ligada a onda. Diretamente.”*

Leonardo: *“Sim, a energia e a frequência são diretamente proporcionais. Quanto maior a quantidade de frequência, mais energético é.”*

Quanto ao questionamento, como então justificar o simples fato de que luz arrancou elétrons da superfície de um metal? Em que teoria estamos nos baseando, será a luz uma onda ou uma partícula? Observando as respostas dos estudantes, percebemos que eles foram unânimes em dizer que a luz é partícula ou tem partículas pelo fato dela conseguir extrair elétrons da superfície do metal. Alguns ainda argumentaram que se a luz fosse uma onda ela apenas atravessaria a superfície do metal. Como exemplo, apresentamos a seguir as respostas dos estudantes Luiza, Daniel e Isaac para esse questionamento:

Laura: *“A luz certamente para conseguir arrancar elétrons do metal possui partículas, pois se apenas possuísse onda não conseguiria arrancar os elétrons”.*

Daniel: *“Partícula, se fosse uma onda apenas atravessaria a superfície do metal, o que faz necessário que a luz seja uma partícula para poder arrancar os elétrons”.*

Isaac: *“Isso é explicado pelo fato de que a luz energizou o metal e ele se vê obrigado a descarregar liberando elétrons. baseado nesse exemplo a luz assume as características de partícula”.*

Ainda em relação a esse questionamento, consideramos interessante registrar que nenhum dos estudantes reconheceu o caráter dual da luz e ainda que boa parte deles afirmam que a luz possui partículas ou que a luz é uma partícula. A seguir, passaremos a descrever o segundo momento desse encontro.

A segunda aula desse encontro, que teve como intuito rerepresentar para os estudantes a ideia de Fóton e sua relação com os processos eletrodinâmicos, ocorreu na sala de aula, durante uma aula com duração de quarenta e cinco minutos, do dia dezesseis de agosto do ano de dois mil e dezoito. Para tanto, inicialmente retomamos as leituras e discussões feitas na aula anterior tentando conduzir os estudantes a lembrarem que definimos o Fóton como sendo “pacotes de energia”, procurando levá-los a perceber que a corrente elétrica, observada no mostrador do simulador, que era o nosso experimento virtual dá-se em função desses elementos “fótons”, ou seja, estes são responsáveis por fazer com que o fenômeno acontecesse.

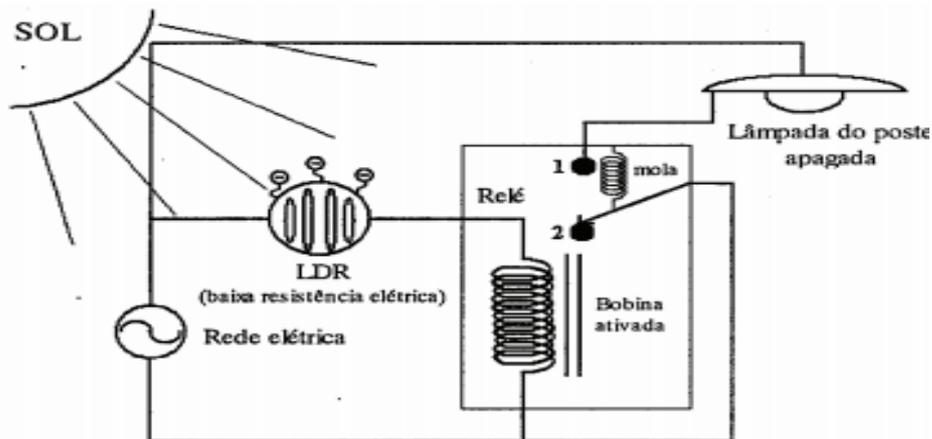
Continuando, realizamos uma discussão no sentido de resgatar tudo que já foi apresentado integrando o conceito de Fótons, já que eles são responsáveis por “dar” energia, fazendo com que os elétrons movam-se em um sentido único produzindo corrente elétrica e

que esse mesmo fóton é responsável por comunicar ao próximo elétron que ele deve continuar o percurso até a outra extremidade.

Tendo em vista que há nessa situação uma ação à distância e a única possibilidade para tal é que haja uma interação eletromagnética, provocando posteriormente campos magnéticos que são capazes de acionar ou desligar dispositivos elétricos, como é o caso da lâmpada de iluminação pública.

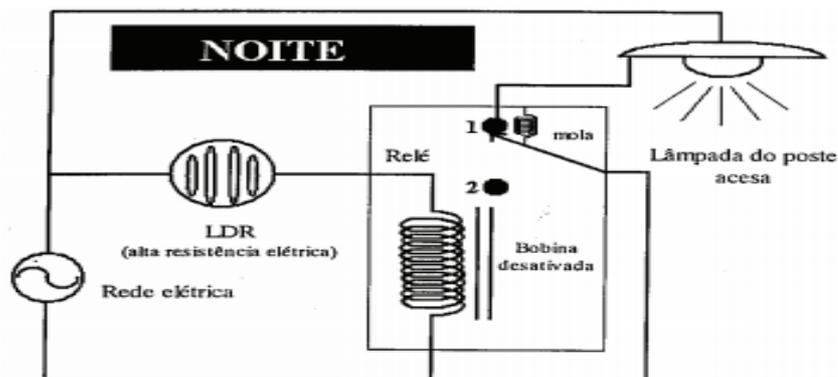
Em seguida apresentamos aos estudantes, através das Figuras 4.5 e 4.6, um esquema de funcionamento de um dispositivo elétrico de acionamento das lâmpadas de iluminação pública, com seus elementos característicos. O intuito foi de mostrar aos estudantes que existe uma relação direta na ideia de que: “Sem Fótons, não há Efeito Fotoelétrico. Sem Efeito Fotoelétrico não haverá corrente elétrica e sem corrente elétrica não haverá fenômeno Eletrodinâmico.”

Figura 4.5: Dispositivo elétrico durante o dia.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAfiMoAI/plano-aula-efeito-fotoeletrico>.

Figura 4.6: Dispositivo elétrico durante à noite.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAfiMoAI/plano-aula-efeito-fotoeletrico>.

É importante ressaltar que enquanto apresentávamos as Figuras 4.5 e 4.6, procuramos explicar como funciona o dispositivo elétrico durante o dia e a noite, buscando esclarecer as dúvidas que eles apresentaram sobre o circuito simples apresentado. Durante a explicação, relatamos que, durante o dia, elétrons livres são ejetados, diminuindo a resistência elétrica do LDR (sigla em inglês de Light-Dependent Resistor, que significa resistor dependente de luz), proporcionando uma corrente elétrica na bobina que fará surgir um campo magnético e funcionará conseqüentemente como um ímã atraindo a chave do relé para a posição 2, não acendendo a lâmpada do poste. Já durante a noite, o processo é contrário, não passando corrente elétrica pela bobina, pois não haverá mais elétrons ejetados, aumentando a resistência elétrica do LDR permitindo que a chave do relé retorne para a posição 1, fechando o circuito e acendendo a lâmpada.

Ainda em relação a esse momento, aproveitamos para discutir com os estudantes a ideia de circuito aberto e fechado, campo magnético, força magnética e força elástica. Procurando enfatizar que a responsável pelo fenômeno foi “apenas” a LUZ, mediando os processos eletrodinâmicos. A seguir, com o intuito de instigarmos ainda mais os estudantes, colocamos a seguinte situação-problema, que eles deveriam pensar e responder individualmente no formulário de acompanhamento do encontro, conforme Apêndice B.

- As portas, dos shopping Centers, funcionam melhor durante o dia ou durante a noite?

Em relação as respostas apresentadas pelos estudantes para essa situação problema, observamos que eles ficaram divididos, alguns disseram achar que funcionaria melhor durante o dia e outros, em número ligeiramente maior, disseram ser durante à noite em razão de não existir a radiação solar e o sensor captar mais facilmente a radiação emitida pelo corpo humano. Um estudante afirmou que elas funcionam da mesma forma independente de ser dia ou noite. A seguir, a fim de ilustrar, apresentamos as respostas dadas pelos estudantes Felipe, Daniel e Isaac para a situação problema proposta:

Felipe: *“Funciona melhor durante a noite, pois de dia existe mais radiação solar o que pode interferir na captação da radiação corporal pelo sensor.”*

Daniel: *“A noite, pois não terá a influência da radiação do sol.”*

Isaac: *“funciona melhor durante o dia já que durante o dia a luz inside melhor sobre os corpos gerando mais energia e radiação para o sensor captar.”*

Finalizando essa aula, após eles responderem a situação problema proposta, solicitamos que formassem um círculo e promovemos um debate com todos os estudantes da turma acerca da mesma. A fim de ilustrar esse momento, apresentamos a seguir, a Figura 4.7.

Figura 4.7 – Discutindo a situação problema



Fonte: Autoria própria.

A terceira aula desse encontro ocorreu uma aula com 45 minutos de duração, do dia vinte e três de agosto do ano de 2018. O intuito era perceber se os estudantes notavam que o Efeito Fotoelétrico está presente em aplicações cotidianas. Para tanto, solicitamos que eles, reunidos em grupos, realizassem uma discussão e pensassem sobre a possibilidade de construir dispositivos elétricos que se utilizem do Efeito Fotoelétrico.

Como a ideia é observar se os estudantes associam o Efeito Fotoelétrico em situações cotidianas, deixaremos claro para eles que o nosso papel inicialmente, será de auxiliá-los durante o processo de construção. Após a construção dos dispositivos, pediremos que o grupo apresente o dispositivo que construiu para os demais colegas da turma em momento oportuno que poderá acontecer fora do calendário acadêmico ou quaisquer uma outra atividade curricular como por exemplo, Semana de Ciência e Tecnologia. Ressaltamos aqui que mesmo usando aspectos teóricos sem nenhuma atividade efetivamente experimental, conseguiu-se promover reflexões bastantes pertinentes aos objetivos propostos. E sobre a construção desse dispositivo e a sua apresentação, consideramos importante enfatizar que ela constitui uma ação para coroar a nossa sequência didática. Em relação aos registros em fotografias da nossa intervenção, além dos que colocamos no relato dos encontros, construímos o Apêndice C com essa finalidade.

4.2. – Avaliação da Proposta de Intervenção

Logo após a realização das atividades do segundo encontro, solicitamos que os estudantes redigissem um pequeno texto sobre a impressão que eles tiveram acerca da nossa proposta de intervenção. A intenção dessa solicitação foi de obter dados que nos permitissem fazer uma avaliação da nossa proposta. No geral, eles afirmaram que gostaram da proposta, do tema que foi discutido nos encontros e que o estudo da Física se torna mais atraente quando vinculado a situações relacionadas ao cotidiano. A seguir, a fim de ilustrar, apresentamos os textos redigidos pelos estudantes Felipe, Luiza, Estela e Gabriel sobre a nossa proposta de intervenção:

- Felipe:

“A proposta feita pelo professor foi uma proposta que contribui para nossos conhecimentos em assuntos que não são tão conhecidos pelo avanço tecnológico e pesquisado.

Esse trabalho nos ajudou a compreender melhor esses assuntos, de uma forma interativa, e com uma ótima didática. E no final de tudo nos ajudou a compreender também como funciona o efeito fotoelétrico em algumas coisas na prática como em iluminação automática de postes, e em portas de shoppings entre outros.”

- Luiza:

“Na minha concepção a proposta lançada sobre o efeito fotoelétrico trata-se de uma ideia bastante interessante, além de levar conhecimento para pessoas que desconhecem sobre esse efeito, sendo que ele se encontra tão presente no nosso cotidiano. Através do estudo desse efeito que tive acesso pude ver e entender como ele se aplica na prática como por exemplo nas portas dos elevadores, e me aprofundar nos conhecimentos de grandezas físicas tal como a frequência.”

- Estela:

“A proposta lançada pelo professor sobre o assunto Efeito Fotoelétrico foi muito interessante, pois aprendemos com essa temática como funciona o efeito fotoelétrico e onde podemos encontrar no nosso dia-dia.

Esses momentos são sempre bons, pois podemos discutir assuntos que não vemos na sala de aula.

Nessas aulas também conseguimos relacionar as grandezas físicas, e aprendemos onde ela pode ser aplicada no mundo.”

- Gabriel:

“A proposta de mestrado sobre o efeito fotoelétrico que será defendida pelo professor de física, traz-nos uma temática nova e muito interessante. Essa temática fez-me ver o mundo e a física de uma forma ampla, não só interagindo apenas a fórmulas matemáticas que faz com que nos tornemos máquinas, apenas sabendo fazer contas e mais contas e não dando atenção a prática que é mais interessante que a teoria. Sinceramente esse trabalho veio acrescentar em mim e confesso que um olhar muito além do que o professor nos ensina em sala de aulas.”

Observando o texto produzido pelos estudantes percebe-se que a maioria enfatizou a importância de poder identificar em situações cotidianas conceitos trabalhados em sala de aula e que dessa forma fica mais interessante estudar a Física. Esse fato nos chama a atenção para o cuidado que, nós docentes devemos ter, sempre que possível, em associar as aplicações tecnológicas que os estudantes encontram em situações cotidianas com o conteúdo a ser que apresentado e discutido em nossas aulas o que corrobora com Valadares (1998) quando afirma que:

É imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. (VALADARES, 1998, p.359).

Além disso, o relato dos estudantes nos chama a atenção para o fato de que a inserção de conteúdos em nossas aulas que permitam percepções sobre a aplicabilidade na vida cotidiana deles, contribui para aguçar a curiosidade e o interesse dos mesmos, o que está em consonância com Valadares (1998), ao afirmar que:

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 estudantes 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. (VALADARES, 1998, p.360)

Ainda em relação a avaliação realizada pelos estudantes, consideramos importante ressaltar que de acordo com Ausubel (2000), um dos fatores que contribui para que haja uma aprendizagem significativa, é que o conteúdo a ser aprendido seja potencialmente significativo para o estudante e podemos perceber através do relato dos estudantes que eles demonstram mais gosto em conhecer o que para eles tem algum significado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissertação de mestrado aqui apresentada foi construída em cinco capítulos. No primeiro, realizamos uma introdução sobre a nossa proposta, apresentando as razões que nos levaram a escolha do tema e os objetivos que pretendíamos alcançar.

No segundo capítulo, fizemos uma discussão acerca dos referenciais teóricos que guiaram a nossa pesquisa. Sendo esse capítulo apresentado em dois eixos centrais: Referenciais Teóricos em Ensino e Aprendizagem e Referenciais Teóricos em Física. No primeiro, discutimos tópicos relacionados a aspectos pedagógicos como: A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. No segundo, realizamos uma discussão sobre tópicos específicos da Física como por exemplo, alguns conceitos da Eletrodinâmica e o Efeito Fotoelétrico que são os temas que escolhemos para a construção da nossa proposta de intervenção.

No terceiro capítulo, apresentamos a metodologia que adotamos para a realização da nossa pesquisa e falamos sobre os aspectos relevantes para a construção da nossa proposta de intervenção. No quarto capítulo, apresentamos os resultados da nossa pesquisa e fizemos uma breve discussão acerca dos mesmos e finalmente, nesse quinto capítulo estamos realizando as nossas considerações finais.

Durante a realização da nossa pesquisa, verificamos que como colocado por David Ausubel, o ponto de partida para o ensino de um conteúdo podem ser os conhecimentos prévios dos estudantes denominados de subsunçores os quais são fruto do seu meio de convivência e são fatores que determinam as concepções iniciais do estudante a partir dos seus sentidos. Os subsunçores são responsáveis pelo ancoramento dos novos conhecimentos e que após a chegada desses novos conhecimentos, e que eles se modifiquem gerando um conhecimento elaborado.

Sendo assim, a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel é uma teoria focada para a aprendizagem, na qual o conhecimento prévio que o estudante traz consigo é de fundamental importância para a aquisição de novos conhecimentos. Partindo dessa premissa, convém destacar a função importante que o professor precisa desempenhar que é o de procurar descobrir os conhecimentos prévios dos estudantes para a aquisição dos conhecimentos que não de vir. Ainda em relação aos nossos estudos, podemos perceber, conforme posto por David Ausubel, que um dos fatores que contribui para que ocorra a aprendizagem significativa é que o estudante manifeste interesse em aprender. Além disso, é

necessário a utilização de material de aprendizagem que seja para o estudante potencialmente significativo.

Conforme apresentamos no terceiro capítulo, a proposta de intervenção que construímos e levamos para a sala de aula, consiste da aplicação de uma sequência didática sobre a inserção de conceitos da Física Moderna, como o Efeito Fotoelétrico com conteúdos de Física Clássica procurando focar na aplicabilidade desse conteúdo em situações cotidianas vivenciadas constantemente pelos estudantes e que infelizmente ainda é pouco agregada na escola durante as aulas de Física.

Sobre a apresentação e discussão dos resultados da nossa proposta, bem como a avaliação da mesma, que apresentamos no quarto capítulo, observamos que embora os estudantes vivenciem situações cotidianas que se utilizam de aplicações tecnológicas, no geral eles não param para pensar sobre os conhecimentos ali embutidos e quando param, não conseguem ter clareza sobre o mesmo. Entretanto, quando colocados em contato com a possibilidade de explorar esse conhecimento, podemos constatar o interesse que eles demonstram e quanto eles se mostram curiosos, tornando-se portanto, um fator que sem dúvida pode contribuir para potencializar o ensino da Física.

O produto educacional que construímos durante a realização da nossa pesquisa é uma sequência didática sobre o Efeito fotoelétrico inserido em processos eletrodinâmicos organizado em dois encontros, conforme dissemos anteriormente. Planejamos cada um desses encontros com a ideia de levar ao estudante uma proposta de ensino diferenciada, que tenta considerar o seu conhecimento prévio como ponto de partida para a aquisição de novos conhecimentos e utilizar situações cotidianas que eles vivenciam a fim de estimular a curiosidade e o interesse deles pelas aulas de Física. Diante disso, acreditamos que atingimos o nosso objetivo, visto que observamos uma mudança de comportamento, pois a mesma não era comum em aulas anteriores. Além disso, em seus relatos sobre a nossa proposta, a maioria mencionou que gostou de realizar a atividade enfatizando principalmente o fato de poder descobrir como funcionam coisas que os cercam e que eles não faziam ideia de como funcionavam ou simplesmente tinham uma ideia diferente do que realmente acontece, como é o caso do funcionamento das portas de elevadores e da iluminação pública, por exemplo.

Pude constatar, enquanto professor que experienciou a intervenção, que a nossa proposta despertou nos estudantes a curiosidade em descobrir também sobre outros fenômenos ou o funcionamento de outros equipamentos aos quais lhes são apresentados cotidianamente e passaram a nos questionar sobre a relação entre elas e os temas estudados pela Física. Esses questionamentos, curiosidades, são em nossa visão, muito valiosos para a

construção da aprendizagem significativa. Por fim, acreditamos que a nossa proposta pode contribuir como uma sugestão para outros colegas que pensam em trabalhar tópicos relacionados à Física Moderna com temática de Física Clássica.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: A Cognitive View**. New York, Holt, Rinehartand Winston, 1968.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais** – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. **Uma caixinha para estudo de espectros. Física na Escola**. v. 3, n. 2, p. 40-42, 2002.

EISBERG, H.; RESNICK, R. **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. v. único. 10ª reimpressão. Rio de Janeiro: Campus, 1979, 928 p.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **In: Revista de Administração de Empresas - RAE**, v.35, n.2, mar./abr., 1995, p.57-63.

HALLIDAY; RESNICK; WALKER. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

HEWITT, Paul G. **Fundamentos de Física Conceitual**. V. único. Saraiva, 12ª. Edição, 2015.

LAMEU, L. P. **Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental: Uma proposta à luz da Teoria dos Campos Conceituais**. 2014. Dissertação (Pós-Graduação em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Itajubá.

LEMOS, E.S. **Situando a Teoria de Aprendizagem Significativa na prática docente, na formação de professores e nas investigações educativas em ciências**. ABRAPEC. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 5, n. 3, p. 38-51, 2005. Disponível em: <<http://revistas.if.usp.br/rbpec/article/view/88/80>>. Acesso em 15-08-2015.

LIBÂNEO, J.C. **Educação Escolar: políticas, estrutura e organização**. São Paulo: Cortez, 2005.

MANASSI, N. P.; NUNES, C. S.; BAYER, A. **Uma Unidade De Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) No Contexto Do Ensino De Matemática Financeira**. Educação Matemática em Revista – RS 54 EMR-RS - ANO 15 - 2014 - número 15 - v.2 - pp. 54 a 62 .

MASINI, E. A. F.; MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**. São Paulo: Vetor Editora, 2008.
MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. São Paulo: Editora Scipione, 2000.

MOREIRA, M.A.; CABALLERO, M.C.; RODRIGUEZ, M.L. **Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente**. Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España. pp. 19-44, 1997.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Ed. da UnB, 1998.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa, Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1999.**

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: da visão clássica à crítica**. Anais I Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa, Campo Grande, MS, Abril de 2005.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. S. **Aprendizagem Significativa - A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. 1ª ed. Editora Livraria da Física. São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, F.F.; VIANA, 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.

OSTERMANN,F.; MOREIRA. M. A. **Anais do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Florianópolis, 2000.

PARANHOS, R. R. G.; RICHARD, V. L, PIZANI, P. S. **Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 30, n. 4, p. 4502.1-4502.6, 2008.

PELIZZARI, Adriana, et al. **Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel**. Revista PEC, Curitiba, v.2, n.1, p. 37-42, jul. 2001 – jul. 2002.

PIVATTO, W. **Aprendizagem Significativa: Revisão Teórica e Apresentação de Um Instrumento Para Aplicação em Sala de Aula**. UFSC, 2013.

RIBEIRO, IARA F. **A informática na Escola**. Rio de Janeiro, Dezembro de 2001.

RUZZI, M. **Física Moderna: Teorias e Fenômenos**. Paraná, 2008.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Física**. São Paulo: Editora Atual, 2º Ed – vol. Único. Ano 2005.

SEARS & ZEMANSKY. **Física 3: Eletromagnetismo**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

SILVEIRA, D. T.; CÓDOVA, F. P. **A pesquisa científica**. In: GERHARDDT, T. E. e SILVEIRA, D. T. (org.). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora de UFRGS, 2009. P. 31 -42.

TAVARES, R. **Aprendizagem significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem**. Revista Brasileira de Informática na Educação, v.18, n. 2, p. 5-16, 2010.

VALADARES, E. C. **Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro** .Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 15, n. 2, ago. 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A – O PRODUTO EDUCACIONAL



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO CAMPINA GRANDE**

Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

Fótons Como Mediadores em Processos Eletrodinâmicos

Emílio de Lucena Silva

Orientadora: Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos

Campina Grande - PB

Outubro de 2018

1 – APRESENTAÇÃO

Sabemos que entre as competências e habilidades previstas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM (BRASIL, 2002), na área de Física, encontram-se como competências: dominar a linguagem científica e traduzir as linguagens matemática, física e discursiva entre si; compreender os fenômenos físicos e suas aplicações na produção tecnológica; enfrentar situações-problema, valendo-se do conhecimento de fenômenos físicos para resolvê-los; e construir argumentações, embasando-as no conhecimento de fenômenos físicos. Deste modo, procura-se fazer com o aluno adquira habilidades de visualizar e descrever a simulação do experimento do efeito fotoelétrico; prever corretamente os resultados de experimentos sobre o efeito fotoelétrico; descrever como esses resultados nos levam ao modelo de fóton de luz; entender o funcionamento das células fotoelétricas; saber como a radiação eletromagnética pode arrancar elétrons de uma superfície metálica e compreender a importância do efeito fotoelétrico na vida das pessoas.

A intenção da proposta, que aqui apresentamos, é tentar fornecer ao professor de Física do Ensino Médio da educação básica, uma sequência didática que possa ser utilizada para potencializar o ensino da Física nesse nível de ensino, através de situações problema sobre o Efeito Fotoelétrico usando como suporte teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Consideramos importante ressaltar o fato de que a sequência didática foi construída a fim de alcançar os objetivos descritos em cada atividade. No entanto, ela pode ser ajustada para outras situações que possuam objetivos diferentes, conforme cada contexto escolar.

2 – DESENVOLVIMENTO DOS ENCONTROS

Encontro 01

Tema: Física Moderna e Contemporânea.

Duração: 03 Aulas com duração de 45 Minutos cada.

Conteúdo: Efeito Fotoelétrico.

Objetivos:

- ✓ Investigar os conceitos prévios dos estudantes acerca do Efeito Fotoelétrico;
- ✓ Definir o Efeito Fotoelétrico;
- ✓ Apresentar aplicações cotidianas do Efeito Fotoelétrico.

Recursos utilizados:

- ✓ Data show
- ✓ Textos de apoio
- ✓ Simulação do Efeito Fotoelétrico do PhET COLORADO

Este encontro será dividido em três aulas. Na primeira aula, apresentaremos em forma de situações problema, algumas aplicações cotidianas que utilizam o Efeito Fotoelétrico como princípio de funcionamento. Já na segunda aula, explicaremos o Efeito Fotoelétrico utilizando um texto de apoio. E finalmente, na terceira aula trabalharemos o Efeito Fotoelétrico através da exploração de uma atividade de simulação do PhET Colorado.

Uma das finalidades desse encontro é investigarmos os conceitos prévios dos estudantes acerca do Efeito Fotoelétrico. Para tanto, iniciaremos o primeiro momento desse encontro, que deverá ocorrer em uma aula com 45 minutos de duração, propondo aos estudantes alguns questionamentos, solicitando que eles apresentem suas respostas em uma folha a parte e informando que eles terão entre 15 e 20 minutos para respondê-los.

Questionamentos:

- *Você já parou para pensar como as luzes dos postes de energia acendem e apagam automaticamente?*
- *Você tem ideia de como funciona as portas de elevadores? E as portas dos shopping Centers?*

- *Como você explica o funcionamento das esteiras de caixas de supermercados?*
- *Como você explica o funcionamento dos sistemas de alarme que ligam e desligam automaticamente?*

Após os estudantes anotarem as suas respostas na folha, com o intuito de fomentar um debate, pediremos que aqueles que desejarem, apresentem para os colegas, as suas respostas para os questionamentos. Desse modo, à medida que eles forem descrevendo suas respostas para as perguntas apresentadas, tentaremos incentivar a discussão.

O intuito desta sequência didática como foi dito é de utilizar esses questionamentos, é tentar descobrir o conhecimento prévio dos estudantes acerca do tema a ser trabalhado. Uma vez que, é esse conhecimento que eles trazem, um dos fatores que possibilita a aprendizagem significativa dos conceitos. Para Ausubel (1982), “um conhecimento específico existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto”. Desta maneira, ao usarmos desse instrumento podemos ter ideia quais concepções os alunos já possuem ou simplesmente carecem deste tema abordado.

Continuando, ciente de que as respostas apresentadas pelos estudantes podem não ser aquelas desejadas pelo professor e que eles não mencionem em nenhum momento sobre o Efeito Fotoelétrico. Colocaremos o seguinte questionamento:

- *Alguém já ouviu falar sobre Efeito Fotoelétrico? Sabe o que ele representa na prática?*

Consideramos importante mencionar que sentimos a necessidade de colocarmos o questionamento acima em função de esperarmos que no geral, os estudantes do Ensino Médio, não consigam associar a situação ao tema de Física. Após ouvirmos as respostas dos estudantes para esse questionamento, mesmo que eles apresentem respostas que retratem adequadamente o Efeito Fotoelétrico, apresentaremos o texto de apoio I, mostrado a seguir que descreve claramente o Efeito Fotoelétrico e as situações problema postas inicialmente.

TEXTO DE APOIO I: EFEITO FOTOELÉTRICO

O Efeito Fotoelétrico no dia-a-dia

Olhando ao nosso redor, vemos que a tecnologia tem avançado ao longo dos anos e que a cada dia mais, está presente no nosso dia-a-dia. Ao caminhar pelas ruas você

perceberá que as luzes dos postes de iluminação pública se acendem e se apagam sozinhas. Em suas mãos você poderá estar com um celular, ouvindo música, fazendo uma ligação ou tirando uma fotografia de você mesmo para colocar numa rede social. Mas você já parou para pensar por que as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas? Ou como é possível armazenar uma fotografia num celular? Vamos responder estas perguntas a seguir.

Um celular ou uma câmera digital apresenta o dispositivo de carga acoplada (CCD – charge-coupled device). É um dispositivo de captação de luz muito sensível, formado por um pequeno chip quadrado de material semicondutor e que possui uma grande quantidade de sensores fotoelétricos. Quando a luz que vem do objeto fotografado atinge um destes semicondutores, um elétron é liberado e captado por um sistema eletrônico que registra qual sensor recebeu. Em seguida, o sistema soma a quantidade total de elétrons vindos de cada sensor e mapeia sua localização, reconstituindo a imagem completa, formando assim a imagem digital.

Para entendermos o funcionamento do sistema de iluminação pública, é necessário compreendermos o que é uma célula fotocondutiva. Ela é feita de materiais como o sulfeto de cádmio. Quando se incide uma luz sobre ela, os elétrons, em vez de serem extraídos do material, permanecem nele como elétrons livres, diminuindo sua resistência elétrica, tornando-o mais condutor. Este tipo de material apresenta resistência elétrica muito alta em ambientes escuros e muito baixa em ambientes bem iluminados. Esses materiais constituem os fotorresistores LDR (Light Dependent Resistor).

Logo, a iluminação de postes de ruas depende do dispositivo LDR. Quando ele é exposto ao sol, ele passa a dispor de elétrons livres, diminui sua resistência, permitindo assim que a corrente elétrica possa passar através de uma bobina que desligará a lâmpada. À noite, a resistência é alta, impede a corrente de passar pela bobina que ligará a lâmpada.

Por detrás das situações anteriores, está um fenômeno chamado Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi observado pela primeira vez, por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), nos anos de 1886 e 1887, ao confirmar experimentalmente a existência de ondas de rádio.

O Efeito Fotoelétrico é a emissão de elétrons por materiais condutores e semicondutores quando atingidos por radiação eletromagnética com uma determinada frequência específica.

Consideramos importante lembrar que será dado um tempo de 20 minutos para que os estudantes consigam efetuar a leitura do texto e que o intuito do texto é que eles aproveitem o máximo a leitura, buscando fazer as conexões necessárias para o entendimento das situações propostas inicialmente. Finalizaremos o primeiro momento desse encontro, dedicando cerca de 10 minutos para que os alunos consigam expor mais alguma situação problema ou simplesmente discutam juntamente com o professor, o simples fato de não terem conseguido responder inicialmente as perguntas e que provavelmente aquilo era uma “novidade” para eles e que nunca pararam para refletir sobre esse tipo de fenômeno que se apresenta quase que diariamente.

O intuito da segunda aula esse encontro, que deverá ocorrer em uma aula com 45 minutos de duração, é explicar para os estudantes o Efeito Fotoelétrico e tentar favorecer a compreensão deles sobre esse fenômeno. Para tanto, inicialmente durante cerca de cinco minutos, faremos uma breve discussão buscando retomar o que foi discutido na aula anterior, enfatizando que o Efeito Fotoelétrico era o causador/agente daquilo que estava sendo apresentado.

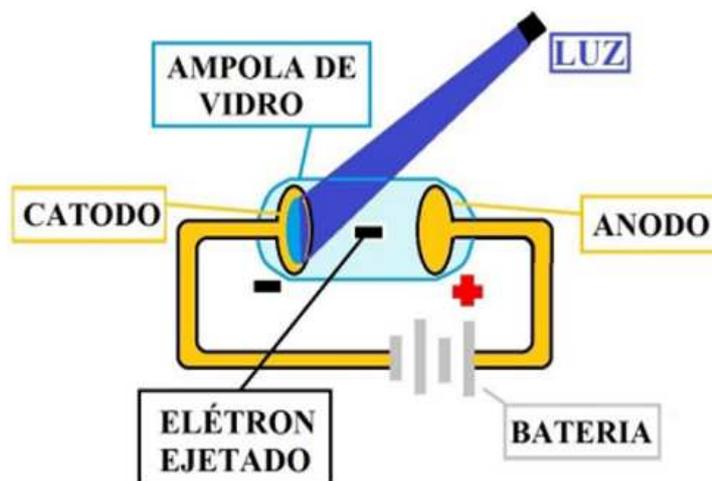
Em seguida, acreditando que o estudante tenha ancorado inicialmente a ideia de emissão dos elétrons relacionada ao Efeito Fotoelétrico, apresentaremos esta temática a partir da explicação dada por Albert Einstein, para tanto utilizou-se o texto de apoio II, relacionado ao tema, porém com uma abordagem um pouco mais complexa. Para a leitura do texto, que deverá ser lido individualmente pelos estudantes, será dado um tempo entre 25 e 30 minutos.

TEXTO DE APOIO II: EFEITO FOTOELÉTRICO

Explicação do Efeito Fotoelétrico

O que é o Efeito Fotoelétrico? Para compreendermos este fenômeno usaremos a Figura 1, logo abaixo. Nela há um exemplo de aparato experimental do Efeito Fotoelétrico: Ele envolve duas placas condutoras ou semicondutoras, que são encerradas numa ampola de vidro, no qual se faz vácuo. Tais placas podem ser feitas de sódio ou de metais como alumínio, por exemplo. Ligando tudo a uma bateria, uma diferença de potencial é estabelecida entre as placas, e ao incidirmos uma luz sobre o eletrodo negativo, o anodo, elétrons poderão ser emitidos desta placa, e os mesmos serão atraídos e coletados pelo eletrodo positivo, o catodo, gerando assim corrente elétrica. Este elétron ejetado pelo fóton é chamado de fotoelétron.

Figura 1: Exemplo de um aparato experimental para o Efeito Fotoelétrico.



Fonte: LAMEU, L. P. Módulo Didático – Efeito Fotoelétrico.

Os materiais que manifestam mais facilmente esta propriedade são o zinco, o magnésio, o lítio, o sódio, o potássio e o rubídio. Entretanto, em outros materiais como o cobre, o ferro, a prata e o alumínio, também pode ocorrer o Efeito Fotoelétrico. Para cada um dos materiais anteriores, vai existir uma frequência mínima da luz incidente que conseguirá arrancar os fotoelétrons. Por exemplo, para metais alcalinos como o sódio e o potássio, a frequência mínima, que é chamada de frequência de corte, corresponde à da luz visível. E o número de fotoelétrons emitidos por unidade de tempo é proporcional à intensidade da radiação incidente. Quanto mais forte for a luz, mais fotoelétrons são arrancados.

A Física Clássica não conseguia explicar este fenômeno, porque a teoria previa algumas coisas que não eram constatadas na prática. Por exemplo: De acordo com a teoria da Física Clássica, quanto maior fosse a intensidade da luz incidente, maior seria a energia cinética do fotoelétron. Ou seja, maior seria a sua velocidade. Entretanto, a energia cinética do fotoelétron não depende da intensidade da luz. Outro ponto é que se a luz incidente tivesse intensidade suficiente, todas as frequências de luz arrancariam fotoelétrons. Porém, para ocorrer o fenômeno existe uma frequência mínima que depende do material das placas coletoras. O último ponto é que existiria um intervalo de tempo para que ocorra o Efeito Fotoelétrico, mas este fenômeno é quase que instantâneo. Ou seja, a radiação incide na placa e, imediatamente, elétrons são ejetados. A explicação correta do fenômeno foi dada por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, sendo essa explicação, uma das razões que lhe

rendeu o prêmio Nobel em 1921. De acordo com Einstein, a energia da luz não se distribui uniformemente pelo espaço. Ele propôs a quantização da luz, ou seja, a energia radiante é quantizada em pacotes concentrados, que posteriormente receberiam o nome de fótons. Ele estendeu o conceito de quantização da energia de Planck, para ondas eletromagnéticas em geral. Assim esses pacotes de energia são como pacotes de energia (E) que é proporcional à frequência (f) da radiação, conforme apresentado na Equação 1, a seguir:

$$K_{\text{Máx}} = h \cdot \nu_0 - \phi \quad (1)$$

Assim, o fóton ao colidir com um elétron do material condutor ou semicondutor, transfere toda sua energia para ele, e, a energia adquirida pelo elétron vai permitir sua ejeção do material. Parte desta energia vai ser utilizada para arrancar o fotoelétron, ou seja, aquela mesma quantidade de energia, que é a mínima necessária para que seja possível arrancar o elétron. Ela é chamada de função trabalho, assim cada material apresenta um valor, como é apresentado na tabela a seguir:

Tabela: Função trabalho de alguns materiais.

Material	Função Trabalho (eV)	Material	Função Trabalho (eV)
Sódio	2,28	Ferro	4,50
Cobalto	3,90	Cobre	4,70
Alumínio	4,08	Prata	4,73
Chumbo	4,14	Platina	6,35

Assim a hipótese de Einstein respondeu às três objeções levantadas pelo Efeito Fotoelétrico: com a intensidade da luz dobrada, o número de fótons também é dobrado, duplicando a corrente fotoelétrica; existe um limiar de frequência da luz que permite arrancar fotoelétrons, assim se a frequência for menor que a frequência de corte não existirá energia necessária para ejetar fotoelétrons, para qualquer intensidade; e haverá a emissão imediata do fotoelétron, quando pelo menos um fóton é absorvido por um átomo.

Fonte do texto: SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. Física. São Paulo: Editora Atual, 2º Ed – vol. Único. Ano 2005, sendo o texto adaptado

Após a realização da leitura, solicitaremos que os estudantes tentem identificar as grandezas físicas mencionados no texto entregue que já foram discutidas em outras aulas e

que possuam sentido no contexto da Eletrodinâmica. À medida em que os estudantes forem identificando as grandezas e nos dizendo, iremos escrevê-las no quadro, para que este fosse finalizando a segunda aula do encontro, possamos retomar a discussão.

Iniciaremos a terceira aula, que deverá acontecer em uma aula com duração de 45 minutos, realizando uma discussão com o intuito de retornar a falar sobre as grandezas físicas apresentadas no texto de apoio II, em seguida, utilizando o Data Show, apresentaremos aos estudantes uma simulação computacional do simulador PhET sobre o Efeito Fotoelétrico⁴. O nosso intuito com a atividade de simulação é tentar conduzir o estudante a perceber a diferença ao submetermos o nosso circuito simples, apresentado pelo simulador, a uma luz de frequências distintas e conseqüentemente observar o comportamento dos valores indicados pela diferença de potencial e da corrente elétrica do circuito.

Enquanto estivermos interagindo com a atividade de simulação, tentaremos retomar os conhecimentos prévios dos estudantes, buscando lembrá-los de conceitos como d.d.p. (diferença de potencial) e corrente elétrica, explorados previamente. Finalizaremos esse terceiro momento, propondo aos estudantes os seguintes questionamentos:

- *Qual o valor da intensidade da luz que o simulador está marcando inicialmente? Caso tenhamos que aumentar a intensidade em 50%, o que deve acontecer?*
- *Se alterarmos o valor da intensidade agora para 100%, houve alguma diferença para o valor de corrente apresentado quando estávamos com 50% apenas da intensidade de luz?*
- *Qual a relação entre a intensidade de luz e a corrente elétrica? Direta ou inversamente proporcional? Podemos concluir então que a quantidade de elétrons ejetados é maior, igual ou menor?*
- *Caso modifiquemos o valor da d.d.p (Voltagem) da pilha apresentada, haverá modificação na quantidade de elétrons ejetados? Observe o que ocorrerá.*

O intuito desses questionamentos é tentarmos identificar se os estudantes percebem algo de diferente nas grandezas físicas mencionadas acima. Enquanto os estudantes forem apresentando suas respostas, tentaremos promover uma discussão no sentido de tentar aprimorar os conceitos prévios que eles possuíam, bem como os que foram trabalhados em

⁴ Atividade de simulação disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric.

aulas anteriores promovendo portanto, uma aprendizagem significativa acerca desses conceitos.

Encontro 02

Tema: Física Moderna e Contemporânea.

Duração: 03 Aulas com duração de 45 Minutos cada.

Conteúdo: Efeito Fotoelétrico e Eletrodinâmica.

Objetivos:

- ✓ Inserção de um novo elemento (fótons), partindo do uso do simulador PhET.

Recursos utilizados:

- ✓ Data Show.
- ✓ Computador.
- ✓ Textos de apoio.
- ✓ Vídeos de curta duração.
- ✓ Atividade de simulação do PhET COLORADO.

Este encontro deverá ocorrer na sala de aula e será dividido em três momentos distintos. Cada um desses momentos deverá acontecer em uma aula com duração de 45 minutos cada. No primeiro, rerepresentaremos a atividade de simulação do PhET, sobre o Efeito Fotoelétrico encaminhando uma discussão acerca de conceitos elementares da Eletrodinâmica. No segundo, novamente trabalharemos a ideia do Fóton, agora fazendo uma relação entre o Fóton e alguns processos Eletrodinâmicos. Finalmente, no terceiro momento de discussão, proporemos aos estudantes a construção de dispositivos elétricos que estejam associados ao Efeito Fotoelétrico.

O intuito de cada aula é inserirmos o conceito de fóton, aos conhecimentos prévios dos alunos, através do uso do simulador PhET. Para tanto, iniciaremos o momento desse encontro, que deverá ocorrer em uma aula com 45 minutos de duração, propondo aos estudantes alguns questionamentos iniciais que deverão ser respondidos a partir da utilização do simulador PhET. A ideia desses questionamentos, que apresentaremos a seguir, é tentar realizar um resgate dos conceitos de eletrodinâmica que trabalhamos durante as aulas anteriores.

- *O que você notou de diferente nas cores nas luzes que foram enviadas ao dispositivo do Efeito Fotoelétrico?*
- *Qual grandeza física está associada diretamente as cores?*
- *Essa luz incidente possui energia? Como poderíamos relacionar a Energia com a Frequência? São diretamente ou inversamente proporcionais?*
- *Como então justificar o simples fato de que luz arrancou elétrons da superfície de um metal? Em que teoria estamos nos baseando, será a luz uma onda ou uma partícula?*

Visto que acreditamos que muitas das respostas iniciais serão respondidas como sendo a luz uma onda eletromagnética, procuramos inserir um texto de apoio que coloque os estudantes diante do conceito de dualidade onda-partícula. A ideia é que através dessa leitura ele possa perceber que o Efeito Fotoelétrico está caracterizado considerando a natureza corpuscular da luz. A seguir apresentamos o texto de apoio cujo título é: A dualidade da luz, que iremos identificar como sendo o texto de apoio III.

TEXTO DE APOIO III: A DUALIDADE DA LUZ

O fato de a luz estranhamente se apresentar como onda ou partícula condiz com uma característica chamada dualidade. Pensando em uma primeira situação, podemos fazer com que o modelo corpuscular fique em desvantagem. Sabemos que quando dois feixes de luz se encontram, após o encontro, cada um segue seu caminho sem desvio ou perturbação, como se nunca tivessem se encontrado.

Se a luz fosse constituída por partículas, elas deveriam se chocarem na região onde os feixes se encontram. Entretanto, isso que não ocorre. Como visto nos capítulos de ondulatória, o experimento de Young demonstrou que a luz se propaga como se fosse composta por ondas, uma vez que, ao atravessar duas fendas muito pequenas, uma figura com padrões de interferência se forma, fenômeno característico de ondas. Porém, no efeito fotoelétrico interpretado por Einstein, o elétron é capaz de abandonar a placa metálica quando recebe a energia de um fóton, um pequeno “pacote de luz”. Essa visão trata a luz como sendo composta de inúmeras partículas de energia luminosa, ou fótons.

Talvez nesse momento uma questão intuitiva se manifeste: Como devo tratar a luz, como onda ou partícula? Essa é uma pergunta que até hoje não possui resposta concreta. Uma visão muito aceita é que qualquer tipo de argumentação a respeito da natureza da luz,

deverá ser realizada considerando em algum momento, a interação entre luz e meio. Por exemplo, a valer o efeito fotoelétrico, a luz possui comportamento de partículas, já na experiência da fenda dupla, como ondas. Sendo assim, fica claro que dependendo do experimento considerado a luz pode se comportar como onda ou partícula material, isto é, possui um caráter dual.

Após a leitura do texto, realizaremos uma discussão com os estudantes a cerca do mesmo e em seguida, ainda com o intuito de trabalharmos a natureza dual da luz, apresentaremos um vídeo⁵ de apoio de curta duração intitulado: Dualidade Onda Partícula – Fótons. Em seguida, assim como fizemos com o texto, encerraremos esse momento do encontro, realizando uma discussão sobre o vídeo.

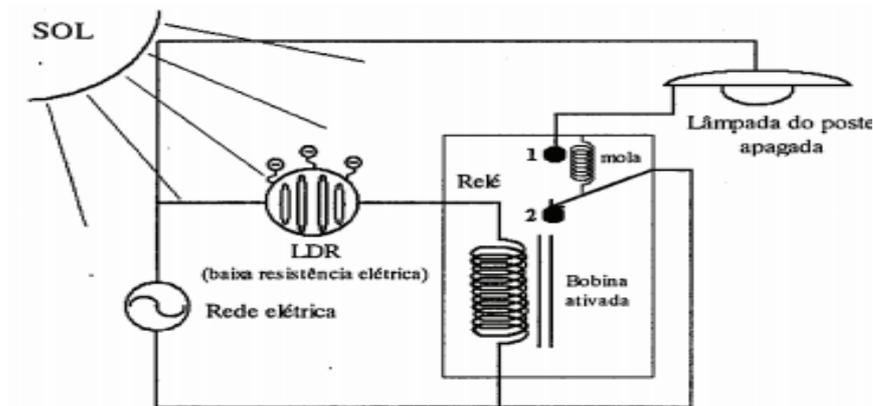
O intuito da segunda aula desse encontro, que deverá ocorrer em um tempo de 45 minutos de duração, é reapresentar a ideia de Fóton e sua relação com os processos eletrodinâmicos. Para isso, inicialmente retomaremos as leituras e discussões feitas na aula para tentarmos conduzir os estudantes a lembrarem que definimos o Fóton como sendo “pacotes de energia”. Em seguida, acreditamos que o aluno já tenha começado a perceber que a causa da corrente elétrica estar sendo apresentada na conjuntura do experimento virtual que ele observou é que são esses elementos “Fótons” que fazem o fenômeno acontecer.

É importante considerar a realização de uma discussão no sentido de resgatar tudo que já foi apresentado integrando o conceito de Fótons, já que eles são responsáveis por fornecer energia, fazendo com que os elétrons movam-se em um sentido produzindo corrente elétrica e que esse mesmo Fóton é responsável por comunicar ao próximo elétron que ele deve seguir caminho até a outra extremidade. Tendo em vista que há nessa situação uma ação à distância e para tanto encontramos como uma única possibilidade para tal é que haja uma interação eletromagnética, provocando posteriormente campos magnéticos que são capazes de acionar ou desligar dispositivos elétricos, como é o caso da lâmpada de iluminação pública.

Continuando, apresentaremos agora aos estudantes, através das Figuras 2.1 e 2.2, um esquema de funcionamento deste dispositivo elétrico com seus elementos característicos, a fim de mostrar que existe uma relação direta na ideia de que: “Sem Fótons, não há Efeito Fotoelétrico. Sem Efeito Fotoelétrico não haverá corrente elétrica e sem corrente elétrica não haverá fenômeno Eletrodinâmico.”

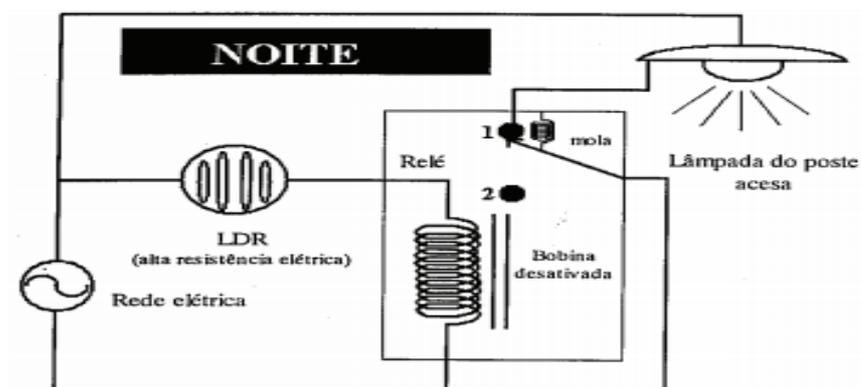
⁵ Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs>>

Figura 2.1: Dispositivo elétrico durante o dia.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfiMoAl/plano-aula-efeito-fotoeletrico>.

Figura 2.2: Dispositivo elétrico durante à noite.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfiMoAl/plano-aula-efeito-fotoeletrico>.

Diante das Figuras 2.1 e 2.2, iremos explicar para os estudantes como funciona o dispositivo elétrico durante o dia e a noite, buscando esclarecer as dúvidas que eles apresentarem sobre o circuito simples apresentado. Durante a explicação, relataremos que, durante o dia, elétrons livres são ejetados, diminuindo a resistência elétrica do LDR (sigla em inglês de Light-Dependent Resistor, que significa resistor dependente de luz), proporcionando uma corrente elétrica na bobina que fará surgir um campo magnético e funcionará conseqüentemente como um ímã atraindo a chave do relé para a posição 2, não acendendo a lâmpada do poste. Já durante a noite, o processo é contrário, não passando corrente elétrica pela bobina, pois não haverá mais elétrons ejetados, aumentando a resistência elétrica do LDR permitindo que a chave do relé retorne para a posição 1, fechando o circuito e acendendo a lâmpada.

Continuando, aproveitaremos esse momento para discutir com os estudantes a ideia de circuito aberto e fechado, campo magnético, força magnética e força elástica. Sem esquecer de enfatizar que a responsável pelo fenômeno foi “apenas” a LUZ, mediando os processos eletrodinâmicos. A seguir, para instigarmos ainda mais os estudantes, colocaremos a seguinte situação-problema, para ser pensada e discutida com eles reunidos em grupo:

- As portas, dos shopping Centers, funcionam melhor durante o dia ou durante a noite?

Após eles discutirem a situação proposta nos grupos, finalizou-se esse segundo momento com uma discussão diante da turma.

O intuito do terceiro momento desse encontro, que deverá ocorrer em uma aula com 45 minutos de duração, é perceber se os estudantes percebem que o Efeito Fotoelétrico está presente em aplicações cotidianas. Para tanto, solicitaremos que os estudantes, reunidos em grupos, construam dispositivos elétricos que se utilizem do Efeito Fotoelétrico, alertando-os para o cuidado que precisam ter com a utilização de amperímetro e voltímetro colocados no circuito.

Como a ideia é observar se os estudantes associam o Efeito Fotoelétrico em situações cotidianas, deixaremos claro para eles que o nosso papel inicialmente, será de auxiliá-los durante o processo de montagem. Após as montagens, pediremos que cada grupo apresente o dispositivo que construiu para os demais colegas da turma. Sobre a construção desse dispositivo e a sua apresentação, consideramos importante enfatizar que elas constituem as atividades finais da nossa sequência didática e que possivelmente será apresentada em algum dia de atividades extracurriculares.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

LAMEU, L. P. **Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental: Uma proposta à luz da Teoria dos Campos Conceituais**. 2014. Dissertação (Pós-Graduação em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Itajubá.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. São Paulo: Editora Scipione, 2000.

OLIVEIRA, F.F VIANA, 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.

OSTERMANN.F; MOREIRA. M. A. **Anais do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Florianópolis, 2000.

PARANHOS, R. R. G. RICHARD, V. L. PIZANI, P. S. Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 30, n. 4, p. 4502.1-4502.6, 2008.

RUZZI, M. **Física Moderna: Teorias e Fenômenos**. Paraná, 2008.

SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. **Física**. São Paulo: Editora Atual, 2º Ed – vol. Único.

APÊNDICE B – FORMULÁRIOS DE ACOMPANHAMENTO DOS ENCONTROS

Formulário de Acompanhamento	
Sequência Didática - FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS	
Encontro I – Primeiro Momento	Data: / / 2018
Aluno (a):	No.: Turma:
Questionamentos Iniciais:	
<p>1. <i>Você já parou para pensar como as luzes dos postes de energia acendem e apagam automaticamente?</i></p> <p>2. <i>Você tem ideia de como funciona as portas de elevadores? E as portas dos shopping Centers?</i></p> <p>3. <i>Como você explica o funcionamento das esteiras de caixas de supermercados?</i></p> <p>4. <i>Como você explica o funcionamento dos sistemas de alarme que ligam e desligam automaticamente?</i></p>	
Questionamento a ser posto após a discussão dos questionamentos iniciais:	
<p>- <i>Você já ouviu falar sobre Efeito Fotoelétrico? Sabe o que ele representa na prática?</i></p>	

Formulário de Acompanhamento
Seqüência Didática - FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS

Encontro I – Segundo Momento

Data: / / 2018

Aluno (a):

No.:

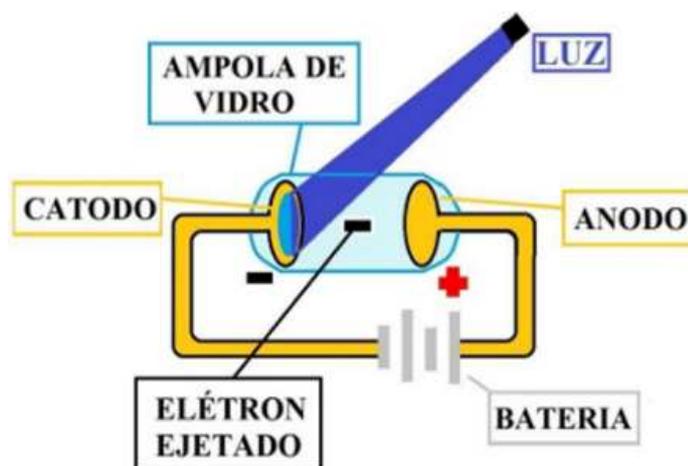
Turma:

TEXTO DE APOIO II: EFEITO FOTOELÉTRICO

Explicação do Efeito Fotoelétrico

O que é o Efeito Fotoelétrico? Para compreendermos este fenômeno usaremos a Figura 1, logo abaixo. Nela há um exemplo de aparato experimental do Efeito Fotoelétrico: Ele envolve duas placas condutoras ou semicondutoras, que são encerradas numa ampola de vidro, no qual se faz vácuo. Tais placas podem ser feitas de sódio ou de metais como alumínio, por exemplo. Ligando tudo a uma bateria, uma diferença de potencial é estabelecida entre as placas, e ao incidirmos uma luz sobre o eletrodo negativo, o anodo, elétrons poderão ser emitidos desta placa, e os mesmos serão atraídos e coletados pelo eletrodo positivo, o catodo, gerando assim corrente elétrica. Este elétron ejetado pelo fóton é chamado de fotoelétron.

Figura 1: Exemplo de um aparato experimental para o Efeito Fotoelétrico.



Fonte: LAMEU, L. P. Módulo Didático – Efeito Fotoelétrico.

Os materiais que manifestam mais facilmente esta propriedade são o zinco, o magnésio, o lítio, o sódio, o potássio e o rubídio. Entretanto, em outros materiais como o cobre, o ferro, a prata e o alumínio, também pode ocorrer o Efeito Fotoelétrico. Para cada um dos materiais anteriores, vai existir uma frequência mínima da luz incidente que conseguirá arrancar os fotoelétrons. Por exemplo, para metais alcalinos como o sódio e o potássio, a frequência mínima, que é chamada de frequência de corte, corresponde à da luz visível. E o número de fotoelétrons emitidos por unidade de tempo é proporcional à intensidade da radiação incidente. Quanto mais forte for a luz, mais

fotoelétrons são arrancados.

A Física Clássica não conseguia explicar este fenômeno, porque a teoria previa algumas coisas que não eram constatadas na prática. Por exemplo: De acordo com a teoria da Física Clássica, quanto maior fosse a intensidade da luz incidente, maior seria a energia cinética do fotoelétron. Ou seja, maior seria a sua velocidade. Entretanto, a energia cinética do fotoelétron não depende da intensidade da luz. Outro ponto é que se a luz incidente tivesse intensidade suficiente, todas as frequências de luz arrancariam fotoelétrons. Porém, para ocorrer o fenômeno existe uma frequência mínima que depende do material das placas coletoras. O último ponto é que existiria um intervalo de tempo para que ocorra o Efeito Fotoelétrico, mas este fenômeno é quase que instantâneo. Ou seja, a radiação incide na placa e, imediatamente, elétrons são ejetados. A explicação correta do fenômeno foi dada por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, sendo essa explicação, uma das razões que lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921. De acordo com Einstein, a energia da luz não se distribui uniformemente pelo espaço. Ele propôs a quantização da luz, ou seja, a energia radiante é quantizada em pacotes concentrados, que posteriormente receberiam o nome de fótons. Ele estendeu o conceito de quantização da energia de Planck, para ondas eletromagnéticas em geral. Assim esses pacotes de energia são como pacotes de energia (E) que é proporcional à frequência (f) da radiação, conforme apresentado na Equação 1, a seguir:

$$K_{\text{Máx}} = h \cdot \nu_0 - \phi \quad (1)$$

Assim, o fóton ao colidir com um elétron do material condutor ou semicondutor, transfere toda sua energia para ele, e, a energia adquirida pelo elétron vai permitir sua ejeção do material. Parte desta energia vai ser utilizada para arrancar o fotoelétron, ou seja, aquela mesma quantidade de energia, que é a mínima necessária para que seja possível arrancar o elétron. Ela é chamada de função trabalho, assim cada material apresenta um valor, como é apresentado na tabela a seguir:

Tabela: Função trabalho de alguns materiais.

Material	Função Trabalho (eV)	Material	Função Trabalho (eV)
Sódio	2,28	Ferro	4,50
Cobalto	3,90	Cobre	4,70
Alumínio	4,08	Prata	4,73
Chumbo	4,14	Platina	6,35

Assim a hipótese de Einstein respondeu às três objeções levantadas pelo Efeito

Fotoelétrico: com a intensidade da luz dobrada, o número de fótons também é dobrado, duplicando a corrente fotoelétrica; existe um limiar de frequência da luz que permite arrancar fotoelétrons, assim se a frequência for menor que a frequência de corte não existirá energia necessária para ejetar fotoelétrons, para qualquer intensidade; e haverá a emissão imediata do fotoelétron, quando pelo menos um fóton é absorvido por um átomo.

Fonte do texto: SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. Física. São Paulo: Editora Atual, 2° Ed – vol. Único. Ano 2005, sendo o texto adaptado

Situação Problema:

*Agora que você concluiu a leitura do **Texto de apoio II**, tente identificar as grandezas físicas mencionados no texto que já foram discutidas em outras aulas e que possuam sentido no contexto da Eletrodinâmica.*

Formulário de Acompanhamento		
Seqüência Didática - FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS		
Encontro I – Terceiro Momento	Data: / / 2018	
Aluno (a):	No.:	Turma:
Questionamentos:		
<p>1. <i>Qual o valor da intensidade da luz que o simulador está marcando inicialmente? Caso tenhamos que aumentar a intensidade em 50%, o que deve acontecer?</i></p>		
<p>2. <i>Se alterarmos o valor da intensidade agora para 100%, houve alguma diferença para o valor de corrente apresentado quando estávamos com 50% apenas da intensidade de luz?</i></p>		
<p>3. <i>Qual a relação entre a intensidade de luz e a corrente elétrica? Direta ou inversamente proporcional? Podemos concluir então que a quantidade de elétrons ejetados é maior, igual ou menor?</i></p>		
<p>4. <i>Caso modifiquemos o valor da d.d.p (Voltagem) da pilha apresentada, haverá modificação na quantidade de elétrons ejetados? Observe o que ocorrerá.</i></p>		

Formulário de Acompanhamento		
Sequência Didática - FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS		
Encontro II – Primeiro Momento		Data: / / 2018
Aluno (a):	No.:	Turma:
Questionamentos Iniciais:		
<p><i>1. O que você notou de diferente nas cores nas luzes que foram enviadas ao dispositivo do Efeito Fotoelétrico?</i></p> <p><i>2. Qual grandeza física está associada diretamente as cores?</i></p> <p><i>3. Essa luz incidente possui energia? Como poderíamos relacionar a Energia com a Frequência? São diretamente ou inversamente proporcionais?</i></p> <p><i>4. Como então justificar o simples fato de que luz arrancou elétrons da superfície de um metal? Em que teoria estamos nos baseando, será a luz uma onda ou uma partícula?</i></p>		

Formulário de Acompanhamento		
Sequência Didática - FÓTONS COMO MEDIADORES EM PROCESSOS ELETRODINÂMICOS		
Encontro II – Segundo Momento		Data: / / 2018
Aluno (a):	No.:	Turma:
Questionamento:		
<p><i>- As portas, dos shopping Centers, funcionam melhor durante o dia ou durante a noite? Por quê?</i></p>		

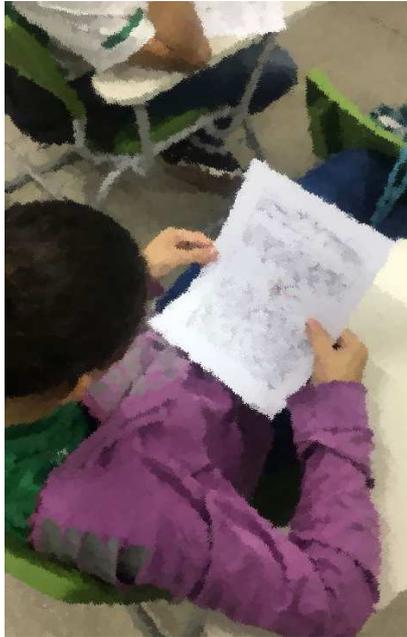
APÊNDICE C – ALGUMAS FOTOS DOS ENCONTROS.

Figura 01 – Leitura do texto de apoio II.



Figura 02 – Resolução dos questionamentos após a exploração da atividade de simulação.



Figura 03 – Resolução dos questionamentos após a exibição do vídeo.