



UESB
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDOESTE DA BAHIA



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ESTUDO DO
FÓTON E ALGUMAS DE SUAS APLICAÇÕES**

PRODUTO EDUCACIONAL

MESSIAS ANTONIO DA SILVA

Vitória da Conquista – Bahia

2022



UESB
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDOESTE DA BAHIA



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA ESTUDO DO
FÓTON E ALGUMAS DE SUAS APLICAÇÕES

MESSIAS ANTONIO DA SILVA

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como parte das exigências do Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Vitória da Conquista – Bahia

2022

SUMÁRIO

<u>1 APRESENTAÇÃO</u>	4
<u>2 REFERENCIAL TEÓRICO</u>	5
<u>2.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL</u>	5
<u>2.2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE MOREIRA</u>	7
<u>3 ESTUDO DO FÓTON</u>	10
<u>3.1 O FÓTON</u>	10
<u>3.1.1 EFEITO FOTOELÉTRICO</u>	12
<u>3.1.1.1 ALGUMAS APLICAÇÕES DO EFEITO FOTOELÉTRICO</u>	17
<u>3.1.2 EFEITO FOTOVOLTAICO</u>	18
<u>3.1.2.1 SEMICONDUTORES</u>	20
<u>3.1.2.2 CÉLULA FOTOVOLTAICA</u>	23
<u>4 PROCEDIMENTOS DIDÁTICO-METODOLÓGICOS</u>	27
<u>4.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)</u>	28
<u>4.2 MAPAS CONCEITUAIS</u>	31
<u>5 INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA</u>	33
<u>5.1 CONTEXTO DA PESQUISA</u>	33
<u>5.2 DESCRIÇÃO DA TURMA</u>	33
<u>5.3 PREPARAÇÃO PARA A APLICAÇÃO DA UEPS</u>	34
<u>5.4 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA</u>	35
<u>5.4.1 Momento 1 - Definição do tópico específico a ser abordado</u>	35
<u>5.4.2 Momento 2 - Levantamento de conhecimentos prévios</u>	35
<u>5.4.3 Momento 3 - Situações-problema em nível introdutório</u>	36
<u>5.4.4 Momento 4 - Apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido</u>	36
<u>5.4.5 Momento 5 - Retomar os aspectos gerais em nível mais alto de complexidade</u>	39
<u>5.4.6 Momento 6 - Concluir a unidade</u>	41
<u>5.4.7 Momento 7 - Avaliação da aprendizagem através da UEPS</u>	43
<u>5.4.8 Momento 8 - Análise da aplicação da UEPS</u>	44
<u>5.5 CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO DA UEPS</u>	44
<u>REFERÊNCIAS</u>	46
<u>ANEXOS</u>	50

1 APRESENTAÇÃO

O material instrucional apresentado foi elaborado com base na dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e a fim de oferecer aos professores e alunos uma proposta alternativa de ensino-aprendizagem para o conteúdo de FMC (Física Moderna e Contemporânea) sobre o estudo do Fóton e algumas de suas aplicações, almejando uma Aprendizagem Significativa.

Pensando em quais aprendizagens os estudantes constroem após uma aplicação de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) envolvendo o estudo do fóton e algumas de suas aplicações no 3º ano Ensino Médias, possibilitou a produção deste Produto Educacional, uma opção de material que poderá auxiliar o docente na realização do ensino aprendizagem de Física.

A fundamentação teórica deste trabalho foi orientada pela teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1963, 1968, 2000), segundo a proposta de Marco Antonio Moreira (2011), organizada por meio de uma UEPS, o objetivo é realizar verificação de conhecimentos prévios (subsunçores) na estrutura cognitiva dos alunos, propor situações-problemas através de atividades variadas como: experimentos, textos, questionários, simuladores virtuais, e vídeos. Utilizando-se desta estratégia didática, buscamos incentivar os estudantes a uma participação ativa na construção do seu conhecimento, objetivando alcançar durante todo o processo de estudo e evidências de aprendizagem significativa sobre o conteúdo abordado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Produto Educacional está disponibilizado em forma de implementação de uma sequência didática. Neste processo foram escolhidas a Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira para realização das atividades realizadas em sala de aula.

2.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

Observamos em Ostermann e Cavalcanti (2011) o ponto principal da teoria de Ausubel, sobre aprendizagem significativa, a qual gira em torno do “subsunçor”, uma base formada por conhecimentos prévios que se relacionará com os novos conhecimentos.

O conceito central da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa, um processo através do qual uma nova informação se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Nesse processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de “subsunçor”, existente na estrutura cognitiva de quem aprende. O “subsunçor” é um conceito, uma ideia, uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de “ancoradouro” a uma nova informação de modo que ela adquira, assim, significado para o indivíduo: a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação “ancora-se” em conceitos relevantes pré-existent na estrutura cognitiva (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2011, p. 34).

Para Ostermann e Cavalcanti (2011), a aprendizagem significativa parte do princípio da existência de um subsunçor que atua como base para construção de um novo conhecimento, nesta relação cognitiva o aluno se apoia nos conhecimentos prévios para formar outros conhecimentos importantes propostos pelo professor, que atua com o papel de um mediador abrindo espaço para o protagonismo do discente.

Percebermos em Pelizzari *et al.* (2002) a diferenciação entre a aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica ou repetitiva.

A aprendizagem é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimento de um aluno e adquire significado para ele a partir da relação com seu conhecimento prévio. Ao contrário, ela se torna mecânica ou repetitiva, uma vez que se produziu menos essa incorporação e atribuição de significado, e o novo conteúdo passa a ser armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva (PELIZZARI *et al.*, 2002, p. 38).

Também ressaltamos com Pelizzari *et al.* (2002) que a aprendizagem significativa depende relevantemente de trabalhar com a relação de conhecimentos preexistentes do aluno e o novo conhecimento. Quando essa soma acontecer de maneira ativa pelo educando, teremos as associações não arbitrárias na formação daquele conteúdo que objetivamos alcançar para aquele aluno, no qual utilizamos esta metodologia.

Verificamos em Ausubel (2003) dois pressupostos essenciais, para que a aprendizagem significativa possa se desenvolver a partir dessa teoria.

A aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material potencialmente significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma *não arbitrária* (plausível, sensível e não aleatória) e *não literal* com *qualquer* estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado ‘*lógico*’) e (2) que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos. Devido à estrutura cognitiva de cada aprendiz ser única, todos os novos significados adquiridos são, também eles, obrigatoriamente únicos (AUSUBEL, 2003, p.1).

Ainda existe outro fator fundamental para o desenvolvimento da aprendizagem significativa, conforme Ausubel (2003), o material potencialmente significativo. A organização desse material contribuirá para uma melhor aprendizagem diante deste modelo didático.

Ausubel (2003) deixa expressamente claro que aprendizagem significativa não é garantida pelo material significativo, no entanto somado a pedagogia com elementos da aprendizagem significativa contribui para alcançar o objetivo final.

A aprendizagem significativa não é sinónimo de aprendizagem de material significativo. Em primeiro lugar, o material de aprendizagem apenas é *potencialmente* significativo. Em segundo, deve existir um mecanismo de aprendizagem significativa. O material de aprendizagem pode consistir em componentes já significativas (tais como pares de adjetivos), mas cada uma das componentes da tarefa da aprendizagem, bem como esta como um todo (apreender uma lista de palavras ligadas arbitrariamente), não são ‘logicamente’ significativas. Além disso, até mesmo o material logicamente significativo pode ser apreendido por memorização, caso o mecanismo de aprendizagem do aprendiz não seja significativo (AUSUBEL, 2003, p. 1).

É importante não se prender apenas ao material de aprendizagem potencialmente significativo, afirma Ausubel (2003), pois esse elemento de maneira isolada não é suficiente para que o processo de aprendizagem significativa obtenha êxito na sua realização.

2.2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE MOREIRA

Apresentamos a seguir a ideia de aprendizagem significativa abordada pelo autor Marco Antônio Moreira (2012), a qual está relacionada com os conhecimentos prévios de cada indivíduo e a construção de um novo saber.

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (MOREIRA, 2012, p. 2).

Para Moreira (2012) a aprendizagem significativa proposta se desenvolve a partir do momento que a nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, aquilo que Ausubel (1978) chama de subsunçor. Logo, os conceitos relevantes tendem a permanecer por mais tempo, comparada a aprendizagem mecânica, fundamentando-se o ensino-aprendizagem significativo em torno dos conceitos, por meio da chamada diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

Observamos a seguir, na visão de Moreira (2012), que o processo de ensino e aprendizagem significativa não é recente, pois desde as primeiras publicações com Ausubel ela se faz presente, além disso até mesmo os estudos do próprio Moreira têm um tempo considerável.

Aprendizagem significativa não é coisa nova. A teoria de Ausubel é dos anos sessenta (1963, 1968) e foi por ele reiterada recentemente em novo livro (Ausubel, 2000). Novak contribuiu na segunda edição da obra de 1968 e escreveu com Gowin um livro traduzido para muitas línguas (Novak e Gowin, 1984). Do autor deste texto há publicações sobre a teoria da aprendizagem significativa desde 1982 (Moreira e Masini 1982, 2006; Moreira 1983; Moreira e Buchweitz, 1993; Moreira, 1999, 2000, 2005, 2006; Masini e Moreira, 2008; Valadares e Moreira, 2009) (MOREIRA, 2012, p. 24).

A partir do final dos anos 1960, percebemos a origem de uma nova metodologia sobre ensino-aprendizagem, conhecida como aprendizagem significativa. Essa filosofia de trabalho pedagógico foi apoiada por diversos autores e tem no autor brasileiro Marco Antônio Moreira seu grande promotor, em uma versão conhecida como aprendizagem significativa crítica, amplamente estudada há quase 40 anos como uma metodologia alternativa que pode melhorar os resultados do ensino brasileiro.

Em Studart (2019, p. 1), percebe-se a aprendizagem ativa e o papel protagonista do aluno, diferentemente da atuação passiva desse aluno quando estava inserido em um processo de ensino-aprendizagem tradicional, essa mudança para uma proposta de proatividade, reconfigura outro cenário de ensino no qual esse discente se torna o personagem principal na construção do seu conhecimento.

Propostas sobre um ensino centrado no aluno remontam, no século XX, ao influente filósofo, psicólogo e pedagogo norte-americano John Dewey (1859-1952), que enfatizou a importância do aprender fazendo no qual o aluno é protagonista de sua própria aprendizagem ao mencionar que se trata de algo que um indivíduo faz quando estuda. É coisa ativa e pessoalmente conduzida. No entanto, o termo genérico aprendizagem ativa no sentido de aprendizagem centrada no aluno, em vez de centrada no professor, vem atraindo a atenção de proeminentes educadores desde o final da década de 1970 e o início da década de 1980 (STUDART, 2019, p.1).

Notamos uma grande diferenciação da maneira como o ensino tradicional acontece e como a metodologia alternativa deve acontecer, ou seja, o discente é o grande protagonista de uma nova maneira de ensino-aprendizagem, que vem sendo inserida há pelo menos 50 anos, visando a busca de um conhecimento ativo pelos alunos.

Segundo Moreira (2005), temos alguns pontos importantes que direciona ao caminho da aprendizagem significativa crítica, os quais podemos observar a seguir:

Quadro 2. Princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica. Perguntas ao invés de respostas (estimular o questionamento ao invés de dar respostas prontas).
 Diversidade de materiais (abandono do manual único).
 Aprendizagem pelo erro (é normal errar; aprende-se corrigindo os erros).
 Aluno como perceptor representador (o aluno representa tudo o que percebe)
 Consciência semântica (o significado está nas pessoas, não nas palavras).
 Incerteza do conhecimento (o conhecimento humano é incerto, evolutivo).
 Desaprendizagem (às vezes o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico).
 Conhecimento como linguagem (tudo o que chamamos de conhecimento é linguagem).
 Diversidade de estratégias (abandono do quadro-de-giz) (MOREIRA, 2005, p. 13).

Segundo norteia Moreira (2005), os princípios facilitadores colaboram para que a aprendizagem significativa crítica possa acontecer, quando adotamos a condução de uma ensinagem que foge ao ensino tradicional.

Na visão de Moreira e Massoni (2015), a aprendizagem significativa crítica começa com adoção de postura na condução ensino pelo professor, a estratégia de ensino-aprendizagem adotada por este será responsável pela mudança de comportamento do discente durante as aulas, vejamos abaixo:

- Princípio da interação social e do questionamento: aprender/ensinar perguntas em lugar de respostas.
- Princípio da não centralidade do livro de texto: aprender a partir de distintos materiais educativos.
- Princípio da consciência semântica: aprender que o significado está nas pessoas, não nas palavras, nas coisas.
- Princípio da aprendizagem pelo erro: aprender que o ser humano aprende corrigindo seus erros.
- Princípio da desaprendizagem: aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes, ou obstaculizadores de novas aprendizagens.
- Princípio da incerteza do conhecimento: aprender que perguntas são instrumentos de percepção constituem o principal instrumento intelectual disponível para os seres humanos. O conhecimento humano depende das definições, perguntas e metáforas utilizadas para construí-lo.
- Princípio do abandono do quadro de giz (lousa): aprender a partir de diferentes estratégias de ensino. Abandono da narrativa do professor como única estratégia (MOREIRA; MASSONI, 2015, p. 28).

Portanto, para a criação de um ambiente propício a aprendizagem significativa crítica, como propõe Moreira (2005) e ampliam Moreira e Massoni (2015), será relevante a transformação da estratégia de ensino proposta pelo professor, como a escolha de novas práticas diferentes daquelas seguidas pelo ensino tradicional, centradas no professor como se fosse um manual único possível para uma sala de aula.

3 ESTUDO DO FÓTON

Este trabalho se desenvolve a partir do conceito sobre Estudo do Fóton e algumas de suas aplicações, inseridos no nosso meio e observando a fundamentação teórica da FMC, pautada em autores como: Baccaro e Gutz (2017), Boylestad e Nashelski (2002), Carvalho (2014), Eisberg e Resnick (1979; 1998), Gonçalves (2019), Halliday e Resnick (2009), Lima (2005), Lima *et al.* (2020), Silva (2015), Soares (2018), Valadares e Moreira (1998).

3.1 O FÓTON

Segundo Eisberg e Resnick (1998), antes da palavra fóton surgiu o termo quanta ou “quantum de luz” (*Energiequanten*) empregado inicialmente por Einstein, a expressão “fóton” foi proposta posteriormente por Gilbert Newton Lewis em 1926, após o trabalho de De Broglie.

Nos autores Halliday e Resnick (2009) temos uma definição para fóton, a partir do significado da palavra quanta.

Em 1905 Einstein propôs que a radiação eletromagnética (ou, simplesmente, a luz) era quantizada; a quantidade elementar de luz é hoje chamada de fóton. A ideia da quantização da luz pode parecer estranha para o leitor, já que passamos vários capítulos discutindo a ideia de que a luz é uma onda senoidal de comprimento de onda λ , frequência f e velocidade c tais que (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 186).

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Procuramos em Halliday e Resnick (2009) um conceito claro que nos auxilie na compreensão do termo fóton, essa definição é corroborada pelo termo quanta, que deixa explícita que o fóton é uma quantidade timidamente ínfima de energia com natureza eletromagnética.

O conceito de quantum de luz, ou fóton, é muito mais sutil e misterioso do que Einstein imaginava. Na verdade, até hoje não é compreendido perfeitamente. Neste livro vamos discutir apenas alguns aspectos básicos do conceito de fóton, mais ou menos de acordo com ideia original de Einstein.

Segundo Einstein, um quantum de luz de frequência f tem energia dada por $E=hf$, onde h é a chamada constante de Planck, a constante que tem valor [...] (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 187).

$$E=hf \quad (2)$$

O fóton, base da teoria quântica, segundo Halliday e Resnick (2009), é um termo delicado de se definir, poderemos descrever como o momento de excitação de uma quantidade mínima de energia, consequência da variação de potencial de um elétron ou de alguns elétrons. Pacotes de energia de massa desprezível, formando de pura radiação eletromagnética.

Silva (2015) também apresenta uma definição para o fóton, considerando a natureza dual onda-partícula.

Iniciaremos a nossa jornada histórica com uma questão mais fundamental diante de toda a promessa de uma nova área de pesquisa, a da fotônica: *qual e mesmo a natureza da luz? O que é um fóton?* Tais indagações fazem-nos lembrar de duas imagens da luz que foram alvo de discussões durante a construção da teoria quântica – a de onda e a de partícula – imagens esquizofrênicas da natureza, conceitualmente contraditórias. Tais imagens podem tornar-se obstáculos para a compreensão do conceito de fóton da óptica quântica. O fóton, daí em diante, não é nem onda, e nem partícula. Mas, sim, uma excitação quantizada dos modos normais do campo eletromagnético. Uma definição que dispensa qualquer utilização de imagens, portanto (SILVA, 2015, p. 11-2).

De acordo Silva (2015), os fótons são as menores partes de energia que pertence a um grupo de subpartículas do átomo e, também, é responsável pela formação da luz. Esta carga consigo uma natureza dualista de onda e partícula, uma natureza que se completa no mundo a FMC.

Segundo Silva (2015, p. 3), “Parece, então, que o conceito de fóton que ficou subentendido era aquele mesmo introduzido por Einstein em 1905 – partícula pequena, indivisível e localizável”.

Eisberg e Resnick (1979, p. 54) apresentam também um conceito conforme a proposta de Albert Einstein em 1905.

Em 1905 Einstein colocou em questão a teoria clássica da luz, propôs uma nova teoria, e citou o efeito fotoelétrico como uma aplicação que poderia testar qual teoria estava correta. Isto aconteceu vários anos antes do trabalho de Millikan, mas Einstein foi influenciado pela experiência de Lenard. Como já mencionamos, Planck originalmente restringiu seu conceito de quantização de energia aos elétrons nas paredes de um corpo negro. Planck acreditava que a energia eletromagnética, uma vez irradiada, se espalhava pelo espaço da mesma forma que ondas de água se espalham na água. Em vez disso, Einstein propôs que energia radiante está quantizada, em pacotes concentrados, que mais tarde vieram a ser chamados fótons (EISBERG; RESNICK, 2006, p. 54).

Portanto, conforme Eisberg e Resnick (1979), fóton é uma partícula de energia que apresenta comportamento de radiação eletromagnética, formado por pura energia e transporta energia e não tem massa.

3.1.1 EFEITO FOTOELÉTRICO

Eisberg e Resnick (1979, p. 51) apresentam uma breve história da descoberta do fenômeno do efeito fotoelétrico e sua definição.

Foi em 1886 e 1887 que Heinrich Hertz realizou as experiências que pela primeira vez confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz. É um desses fatores paradoxais e fascinantes na história da ciência que Hertz tinha notado, no decorrer de suas experiências, o efeito que Einstein mais tarde usou para contradizer outros aspectos da teoria eletromagnética clássica. Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre um deles luz ultravioleta. Lenard, seguindo alguns experimentos de Hallwachs, mostrou logo em seguida que a luz ultravioleta facilita a descarga ao fazer com que elétrons sejam emitidos na superfície do cátodo. A emissão de elétrons de uma superfície, devida à incidência de luz sobre essa superfície, é chamada efeito fotoelétrico (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 51).

De acordo Eisberg e Resnick (1979), o começo do estudo sobre fenômeno fotoelétrico foi no final do século XIX. Heinrich Hertz fazia observações experimentais no laboratório a respeito da descarga elétrica, quando notou alterações na descarga elétrica, em especial quando utilizava luz ultravioleta, a incidência luz ultravioleta na superfície cátodo provocava a emissão de elétrons facilmente.

Segundo Eisberg e Resnick (1998), em suas experiências de 1887, para comprovar a teoria eletromagnética de Maxwell, Hertz detectava uma onda com uma antena ressonante. Essa detecção era acompanhada de uma faísca. Ele observou que a faísca saltava da antena com mais facilidade quando ela estava iluminada (principalmente ultravioleta, $\nu \approx 10^{16}$ Hz). Curiosamente ao comprovar a teoria de Maxwell, sobre a propagação da luz, Hertz estava descobrindo o efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização.

Segundo Eisberg e Resnick (1998), a identificação dos elétrons em 1879 por Joseph John Thomson, através da medida da razão e/m entre a carga e a massa das partículas num tubo de raios catódicos, sugeriu que as partículas carregadas negativamente do efeito fotoelétrico também fossem elétrons. Esta hipótese foi confirmada em 1900 por Phillip von Lenard, quando mediu a razão e/m das partículas fotoelétricas e mostrou que era a mesma que a dos elétrons medida por Thomson.

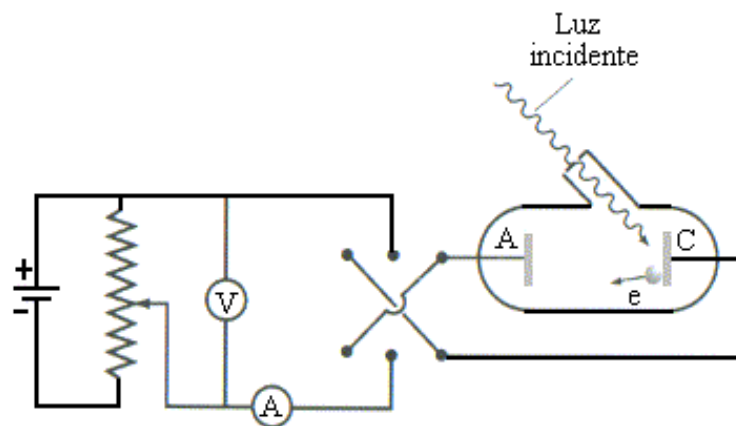


Figura 1 – Aparelho para estudar o efeito fotoelétrico
Fonte: Eisberg e Resnick (1998).

Observamos na Figura 1 que quando a luz incide sobre a superfície metálica limpa, no cátodo C, provoca a emissão de elétrons pela superfície. Se alguns destes elétrons atingirem o ânodo A, haverá uma corrente no circuito externo. O número de elétrons emitidos, chamados de fotoelétrons, que atingem o ânodo, pode ser aumentado ou diminuído fazendo-se o ânodo mais positivo ou mais negativo, em relação ao cátodo. Seja V a diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo.

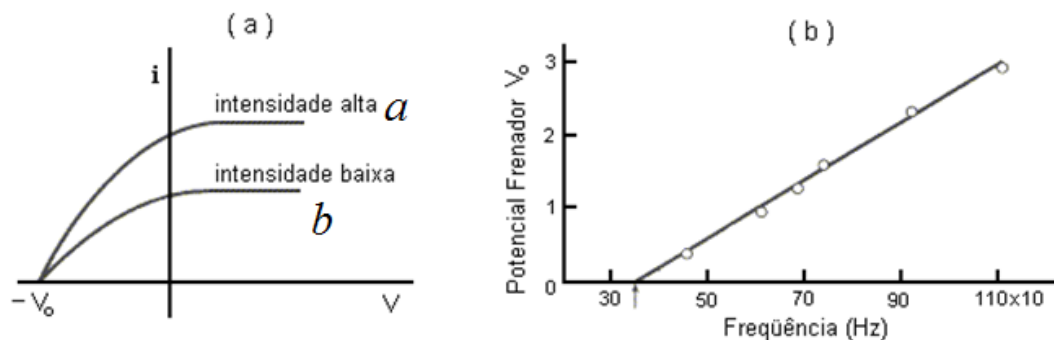


Figura 2 – Gráfico intensidade e frequência da luz
Fonte: Eisberg e Resnick (1998).

De acordo a Figura 2, na curva b a intensidade da luz incidente foi reduzida à metade daquela da curva a. O potencial limite V_0 é independente da intensidade da luz, mas as correntes de saturação I_a , I_b são diretamente proporcionais a ela.

Valor de V_0 para o sódio em função da frequência da luz incidente. Há um limiar de frequência ou frequência de corte, abaixo do qual o efeito fotoelétrico deixa de ocorrer.

Quando V for positivo, todos os elétrons emitidos atingem o anodo e a corrente tem o seu valor máximo.

Observa-se, experimentalmente, que um aumento extra de V não afeta a corrente.

Lenard observou que a corrente máxima era proporcional à intensidade da luz.

Quando V for negativo, os elétrons são repelidos pelo anodo. Porém, a corrente não cai imediatamente a zero. Alguns alcançarão o coletor A apesar do campo elétrico opor-se ao seu movimento. Se essa d.d.p. torna-se suficientemente grande, um valor V_0 (potencial limite ou de corte) é atingido e a corrente cai a zero.

V_0 vezes a carga do elétron, $|eV_0|$, mede a energia cinética do mais rápido fotoelétron emitido, $K_{max} = |eV_0|$.

Pela figura 2.(a) podemos ver que se V for menor que $-V_0$, nenhum elétron.

O potencial V_0 é o potencial frenador o qual está relacionado com a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pela superfície através da relação:

$$\left(\frac{1}{2}mv^2 \right)_{\max} = eV_0 \quad (3)$$

De acordo Eisberg e Resnick (1998), para a Física clássica, o efeito deveria ocorrer para qualquer frequência da luz. Desde que esta fosse intensa o bastante para dar energia necessária à ejeção dos elétrons. Porém, de acordo com a figura 2 (b), há para cada superfície um limiar de frequência característica para que aconteça o efeito.

Ainda para os autores supracitados se a luz é suficientemente fraca, deveria haver um intervalo de tempo mensurável entre o instante em que a luz começa a incidir sobre a superfície e o intervalo da ejeção do fotoelétron. Durante esse intervalo, o elétron deveria estar absorvendo energia do feixe, até que tivesse acumulado o bastante para escapar. No entanto, nenhum retardamento detectável foi jamais medido.

Experimentos (Ernest Orlando Lawrence e Jesse Wakefield Beams em 1928) demonstraram que os elétrons começam a emergir quase imediatamente ($< 10^{-9}$ s) mesmo quando a luz incidente é muito fraca ($I < 10^{-10}$ W/m²).

Segundo Eisberg e Resnick (1998) se o campo elétrico da radiação eletromagnética incidente fosse responsável pela emissão do elétron, e a intensidade incidente fosse absorvida uniformemente pelos elétrons da superfície metálica, o cálculo clássico indica que até horas seriam necessárias para que um único elétron absorvesse energia suficiente para ultrapassar a barreira de energia de poucos eV. (1 eV=1,6x10⁻¹⁹ J).

Conforme Halliday e Resnick (2009, p. 188), sobre o efeito fotoelétrico era preciso uma superfície metálica para receber uma quantidade de energia suficiente, para que alguns de seus elétrons consigam romper a barreira e escapar, produzindo assim esse fenômeno.

Quando iluminamos uma superfície de um metal com um raio luminoso de comprimento de onda suficientemente pequeno, a luz faz com que elétrons sejam emitidos pelo metal. Esse fenômeno, que recebe o nome de efeito fotoelétrico, é essencial para o funcionamento de equipamentos como câmeras de TV e óculos de visão noturna. Einstein usou a ideia do fóton para explicar esse efeito, que simplesmente não pode ser compreendido à luz da física clássica (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 188).

De acordo com Halliday e Resnick (2009), os conhecimentos da Física clássica não tinham uma explicação satisfatória para o fenômeno da fotoeletricidade, que depois se tornou o efeito fotoelétrico, visto que as emissões dos elétrons estavam relacionadas com a frequência da radiação eletromagnética e não com a intensidade dessa radiação recebida. Isso não fazia sentido, pois com base na teoria ondulatória, a intensidade e a amplitude da onda são diretamente proporcionais à energia transportada por uma onda, ou seja, quanto maior a intensidade maior seria a energia. No entanto, não era isso que ocorria no fenômeno da fotoeletricidade.

Notamos que vários físicos contribuíram para que o fenômeno fosse finalmente esclarecido por Albert Einstein no início do século XX.

Eisberg e Resnick (1998) expõe que, em 1905, Einstein colocou em questão a teoria clássica da luz, propôs uma nova teoria e citou o efeito fotoelétrico como uma aplicação que poderia testar qual teoria estava correta. Esta teoria foi aceita porque era a única possibilidade de explicar o efeito fotoelétrico, feito que lhe deu o prêmio Nobel em 1921.

Verificamos que Albert Einstein utilizou a teoria da quantização, proposta por Max Planck, para propor o modelo corpuscular da radiação e explicar o mecanismo da interação da radiação com a matéria.

Einstein sugere que para explicar certos fenômenos (radiação do corpo negro, fluorescência, produção de raios catódicos por luz ultravioleta e outros) é conveniente supor que a energia luminosa está distribuída descontinuamente no espaço. Einstein demonstrou que este resultado experimental poderia ser explicado se a energia luminosa não fosse distribuída continuamente no espaço, mas fosse quantizada, como pequenos pulsos, cada qual denominado um *fóton* com energia $h\nu$ (EISBERG; RESNICK, 1998).

Além disso, Eisberg e Resnick (1998) afirmam que Einstein supôs que um tal pacote de energia está inicialmente localizado em um pequeno volume do espaço e que permanece

localizado à medida que se afasta da fonte com velocidade c . Ele supôs que a energia E do pacote, ou fóton, está relacionada com sua frequência ν pela equação

$$E = h\nu. \quad (4)$$

- Um elétron ejetado de uma superfície metálica exposta à luz, recebe a energia necessária de um único fóton.

- Quando a intensidade da luz, de uma certa frequência, for aumentada, maior será o número de fótons que atingirão a superfície por unidade de tempo, porém a energia absorvida por um elétron ficará imutável.

- Se ω_0 for a energia necessária para remover um elétron de uma superfície metálica, a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pela superfície será:

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\max} = eV_0 = h\nu - \omega_0. \quad (5)$$

- Porque quando um fóton atinge o catodo e é absorvido por um elétron, sua energia é passada ao elétron. Parte da energia é usada para superar a ligação do elétron à superfície, e o que sobra será a energia cinética do elétron K , após ele deixar a superfície:

$$K = h\nu - (\text{Energia de Ligação})$$

- A energia mínima com a qual um elétron está ligado ao metal é chamada função trabalho do metal ω_0 . Muitos metais têm uma função trabalho da ordem de 4 - 5 eV.

- Portanto, a energia cinética máxima do fotoelétron liberado será:

$$K_{\max} = h\nu - \omega_0. \quad (6)$$

- Portanto, elétrons serão ejetados se $h\nu > \omega_0$;

- Se $h\nu < \omega_0$ a única possibilidade de que elétrons sejam liberados seria se muitos fótons pudessem ser absorvidos simultaneamente. Isso é pouco provável, a não ser no caso de feixes laser muito intensos;

- Elétrons são liberados tão logo o primeiro fóton é absorvido. Não importa quão pequena seja a intensidade I , cada fóton ainda tem energia $E = h\nu$;

- K_{\max} depende apenas da frequência dos fótons e não da quantidade de fótons;

- Luz intensa contém mais fótons, e, portanto, irá liberar mais elétrons.

Observamos a equação do efeito fotoelétrico com variáveis h = constante de Planck, f = frequência, K_{\max} = energia máxima e Φ = função trabalho. “Einstein resumiu os resultados dos experimentos do efeito fotoelétrico na equação” (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 189).

$$hf = K_{\text{máx}} + \Phi \quad (\text{equação do efeito fotoelétrico}). \quad (7)$$

3.1.1.1 ALGUMAS APLICAÇÕES DO EFEITO FOTOELÉTRICO

De acordo Valadares e Moreira (1998, p. 124), “Uma aplicação: princípio de funcionamento do sistema de iluminação pública”. Essa aplicação foi altamente difundida pelas empresas de iluminação pública graças ao conhecimento da FMC.

Observamos abaixo, na Figura 3, um sistema de iluminação pública.

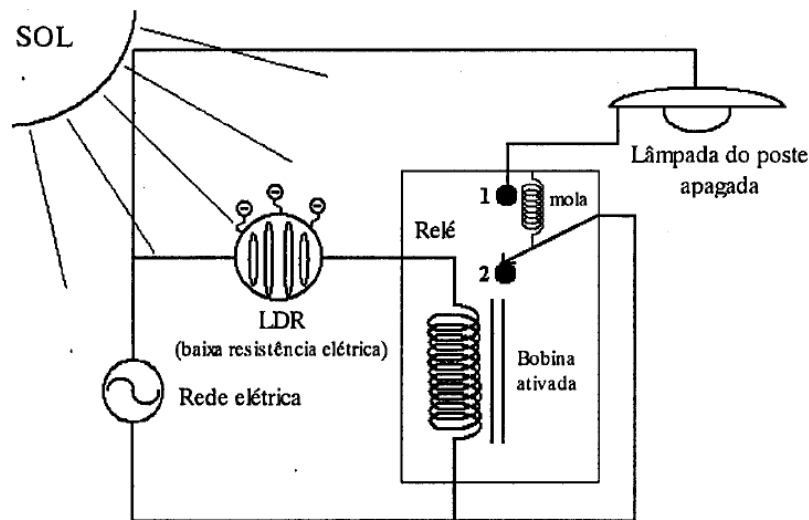


Figura 3 – Sistema com sensor LDR
Fonte: Valadares e Moreira (1998, p. 124).

Conforme a Figura 3 ilustra, temos o esquema elétrico de um circuito construído utilizando um sensor luz LDR (*Light Dependent Resistor*) para ativar e desativar de acordo a luz solar incida ou não.

Segundo Valadares e Moreira (1998, p. 124), temos exemplo de outras aplicações. “Outras aplicações do efeito fotoelétrico: controle automático de portas de elevadores e de esteiras de supermercados. Neste caso um feixe de luz, ao ser interrompido, aciona um sistema automático que abre a porta do elevador ou movimenta a esteira (VALADARES e MOREIRA, 1998, p. 124).”

Logo, podemos verificar em Valadares e Moreira (1998), algumas aplicações práticas frequentes no nosso meio social, são vários equipamentos que demandam essa tecnologia do efeito fotoelétrico e traz vários benefícios para a humanidade.

3.1.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Lima *et al.* (2020, p. 1) apresenta uma síntese da história do fenômeno do efeito fotovoltaico, que surgiu aproximadamente meio século antes das primeiras descobertas sobre o efeito fotoelétrico por Hertz.

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, (pai de Henri Becquerel, famoso pelos estudos em radioatividade), utilizando uma célula eletroquímica para gerar uma diferença de potencial entre dois eletrodos, quando o dispositivo era submetido à luz. Os primeiros painéis solares foram desenvolvidos por Charles Fritts nos anos 1880 e instalados em um telhado na cidade de Nova Iorque, mas somente a partir dos anos 1940, através da patente e dos trabalhos de Russel Ohl, os painéis solares utilizando junções p-n de silício tornaram-se viáveis para aplicações práticas. Eficiências de conversão maiores que 5% foram conseguidas a partir da década de 1950, o que foi um salto fundamental para a viabilização das comunicações via satélite (LIMA *et al.*, 2020, p. 1).

Observamos em Lima *et al.* (2020), que desde as primeiras descobertas com Henri Becquerel, em meados do século XIX até metade do século XX, a eficiência do material utilizando foi melhorando. Passando a utilizar materiais condutores com as chamadas junções p-n (p – carregado positivamente e n – carregado negativamente). Atualmente existem materiais semicondutores com uma eficiência bem melhor do que anos atrás.

“Na essência, o efeito fotovoltaico corresponde à geração de uma diferença de potencial elétrico entre dois terminais de uma estrutura, usualmente uma junção p-n (LIMA *et al.*, 2020, p. 1)”. O princípio do funcionamento efeito fotovoltaico consiste na geração de uma corrente elétrica a partir de uma diferença de potencial elétrico produzido entre a junção p-n, ao converter da luz incidente nas células solares.

Em Carvalho (2014), temos a ilustração na Figura 4 do fenômeno fotovoltaico, que são conhecidas como células solares ou células fotovoltaicas, as quais são feitas de materiais de semicondutores, a maioria utilizam silício e boro, e silício fosforo, responsáveis por constituir as junções p-n.

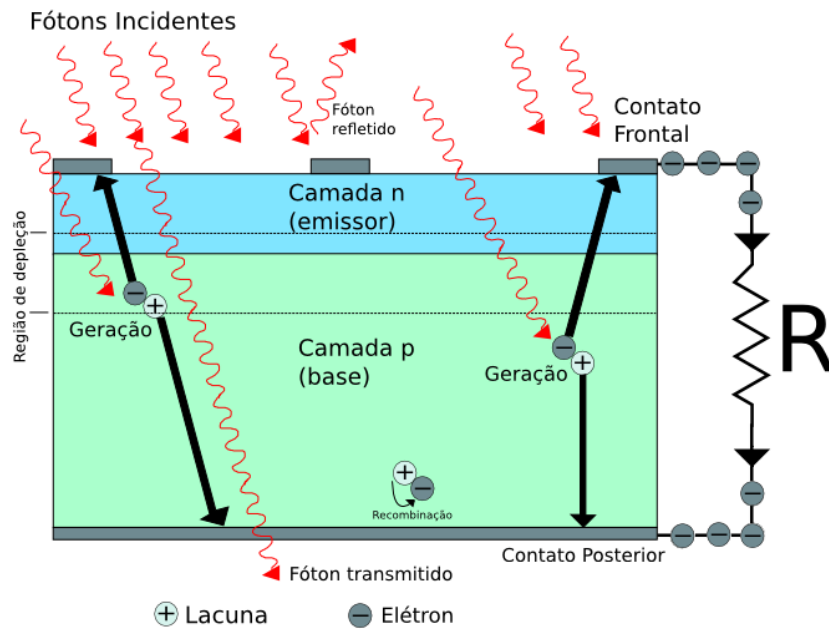


Figura 4 - Ilustração do efeito fotovoltaico
 Fonte: Carvalho (2014, p. 17)

Notamos, em Carvalho (2014), que é preciso um sistema com células fotovoltaicas preparadas para receber a luz solar e converter a radiação eletromagnética natural em uma corrente elétrica, por meio do movimento do elétron que salta de camada, devido à energia recebida do fóton, rompendo a barreira potencial e criando assim o fenômeno do efeito fotovoltaico .

Afirma Lima *et al.* (2020, p. 2), que o entendimento do sistema fotovoltaico requer conhecimento da FMC.

A descrição dos fenômenos fotovoltaicos requer a adequada compreensão da interação da luz com a matéria, cuja natureza é inerentemente quântica, aliada a um modelo físico dos meios materiais considerados. Na descrição semi-clássica de um dispositivo fotovoltaico são ainda necessárias às equações de Maxwell do eletromagnetismo. Os materiais utilizados na conversão fotovoltaica são tipicamente semicondutores, cuja estrutura de bandas de energia é obtida mediante a aplicação das leis da mecânica quântica (LIMA *et al.*, 2020, p. 2).

Verificamos, conforme Lima *et al.* (2020), a importância da Física quântica, o estudo do fóton, visto que temos um fenômeno amplamente aplicado em nosso cotidiano, no entanto, para compreender o seu funcionamento correto, há necessidade de conhecimentos básicos da FMC.

De acordo com Soares (2018, p. 18), a presença de equipamentos que funcionam utilizando o efeito fotovoltaico se torna muito presente no nosso meio, que englobam

pequenos objetos como relógios e calculadoras até os sofisticados sistemas de pesquisas de astronomia.

Os sistemas fotovoltaicos são muito comuns na atualidade, sendo empregados para geração de energia de calculadoras, relógios, satélites, sistema de telecomunicações, sensores e até vigilância remota. As células fotovoltaicas são confeccionadas através de substâncias semicondutoras onde os mesmos apresentam característica sólido cristalino, de condutividade intermediária entre condutores e isolantes. O material mais utilizado é o silício, devido à baixa toxicidade, grande disponibilidade e tecnologia já consolidada na indústria microeletrônica (SOARES, 2018, p. 18).

Percebemos em Soares (2018) que a variedade da aplicação do efeito fotovoltaico é perceptível. Os sistemas fotovoltaicos são dependentes dos materiais semicondutores e o silício está entre sólidos cristalino mais empregado na fabricação das células, devido as suas características favoráveis para essa finalidade.

3.1.2.1 SEMICONDUTORES

Boylestad e Nashelski (2002) apresentam uma definição para o material condutor, isolante e semicondutor.

O termo condutor é aplicado a qualquer material que sustenta um grande fluxo de carga ao se aplicar, através de seus terminais, uma fonte de tensão de amplitude limitada. Isolante é o material que oferece um nível muito baixo de condutividade quando submetido a uma fonte de tensão. Um semicondutor é, portanto, o material que tem o nível de condutividade entre os extremos de um isolante e de um condutor (BOYLESTAD; NASHELSKI, 2002).

Observamos em Boylestad e Nashelski (2002) a definição para os materiais condutores, isolantes e semicondutores. O condutor apresenta muita facilidade para a condução de cargas elétricas, o isolante tem grande dificuldade para conduzir carga elétrica, e o semicondutor é um meio termo entre condutor e o isolante.

Segundo Gonçalves (2019, p. 22), os materiais condutores estão sujeitos às condições do ambiente que se encontram.

Materiais semicondutores mudam o seu comportamento de condutividade e resistência elétrica, dependendo de alguns fatores como: luminosidade e variação de temperatura, sendo um aspecto importante para o desenvolvimento de dispositivos sensíveis ao calor e a presença de luz. Podemos citar como exemplos de materiais semicondutores o germânio (Ge) e o silício (Si), sendo estes os materiais semicondutores mais comuns, por apresentarem um aspecto muito importante, que é o seu alto nível de pureza na sua fabricação. (GONÇALVES, 2019, p. 22).

Verificamos em Gonçalves (2019), fatores do ambiente nos quais os semicondutores estão inseridos e podem influenciar na condução de carga elétrica, tais como variação de luz e temperatura. Dentre os materiais semicondutores mais encontrados em nosso meio estão germânio e silício, destacados como materiais puros.

Segundo Baccaro e Gutz (2017, p. 327), temos na Figura 5 as características físicas que diferenciam os materiais condutores, semicondutores e isolantes respectivamente.

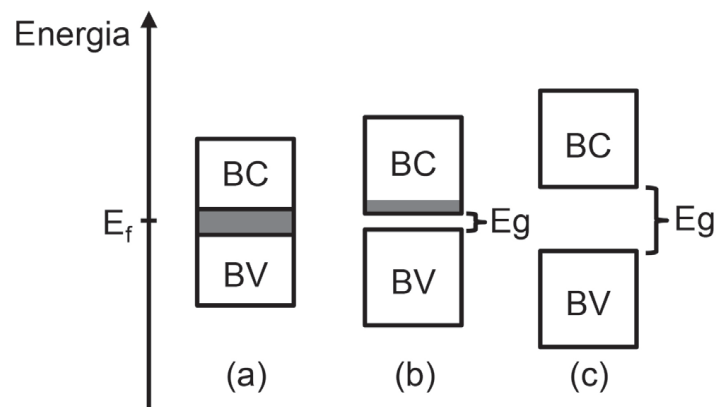


Figura 5 – Representação esquemática de diagramas de bandas típicos para (a) condutores eletrônicos (p. ex. metais), (b) semicondutores e (c) isolantes. E_g : Band Gap; BV: banda de valência; BC: banda de condução; E_f : nível de Fermi a 298,15 K; Sombreamento cinza aponta a presença de estados ocupados com capacidade de transporte de carga

Fonte: Baccaro e Gutz (2017, p. 327).

De acordo com a ilustração representada na Figura 2, os materiais condutores não possuem bandas *gap*, os semicondutores possuem bandas *gap* estreitas e os isolantes têm bandas *gap* largas o que os caracterizam com baixa condutibilidade. “Os estados definem bandas de níveis de energia com espaçamento muito estreitos, separadas por regiões de energias proibidas denominadas de bandas de *gap*” (LIMA, 2005, p. 3).

Segundo Lima (2005), as bandas de energia que compõem os materiais semicondutores, são separadas por pequenas bandas chamadas em inglês de *gap* ou banda proibida.

Viu-se na seção anterior que semicondutores são caracterizados por pequenas bandas de *gap* tal que portadores de carga podem ser termicamente ativados de uma banda totalmente ocupada. Essas bandas totalmente ocupadas contêm elétrons de camadas atômicas mais externas e, portanto, são denominadas de bandas de valência. A banda desocupada, imediatamente acima da banda de valência, para a qual os portadores de carga podem ser excitados é denominada de banda de condução (LIMA, 2005, p. 88).

Para Lima (2005, p. 88-89), também existem duas maneiras de classificar os semicondutores, os intrínsecos composto por cristais puros e os extrínsecos dopado com impurezas.

Denomina-se um semicondutor intrínseco, quando todos os elétrons da banda de condução foram termicamente excitados da banda de valência totalmente ocupada. Essa situação ocorre somente com cristais puros. Entretanto, semicondutores podem conter impurezas, tais como átomos de outros elementos, que podem ter níveis de energia localizados dentro da banda de *gap* do semicondutor. Nesses casos, a energia térmica de ativação dos elétrons nesses estados pode ser consideravelmente menor do que dos elétrons da banda de valência do semicondutor. Tal semicondutor dopado é denominado de um semicondutor extrínseco. Apesar da maioria das aplicações técnicas ocorrerem com semicondutores tipo extrínseco, inicia-se o estudo com um semicondutor tipo intrínseco (LIMA, 2005, p. 88-89).

As alterações que o semicondutor dopado sofre ao receber outro átomo em sua estrutura, permite o surgimento de buracos devido à ausência de elétrons ou de excesso elétrons em suas camadas externas, facilitando o fluxo de carga elétrica, gerando assim uma diferença de potencial elétrico.

Em Halliday e Resnick (2009, p. 289), percebemos amplamente a utilidade dos semicondutores quando passam por um processo chamado de dopagem, seja do tipo p (positivamente) ou n (negativamente).

A versatilidade dos semicondutores pode ser grandemente aumentada se introduzirmos um pequeno número de átomos (chamados impurezas) na rede cristalina; este processo é conhecido como dopagem. Tipicamente, em um semicondutor dopado apenas 1 átomo de silício em cada 10^7 é substituído por uma impureza. Quase todos os dispositivos semicondutores modernos utilizam semicondutores dopados. Os semicondutores dopados podem ser de dois tipos: tipo n e tipo p, vamos discuti-los separadamente (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 289).

As características dos semicondutores dopados citadas anteriormente por Halliday e Resnick (2009), tipo p e n, dependem de qual átomo serão inseridos nesses cristais puros, que não sofreu alterações na sua estrutura molecular.

Observamos na Figura 6 a seguir, a ilustração de uma junção p-n, composta por uma junção p-n: uma banda de condução de um lado e do outro lado a banda de Valência, entre a junção de ambas fica a Camada de depleção.

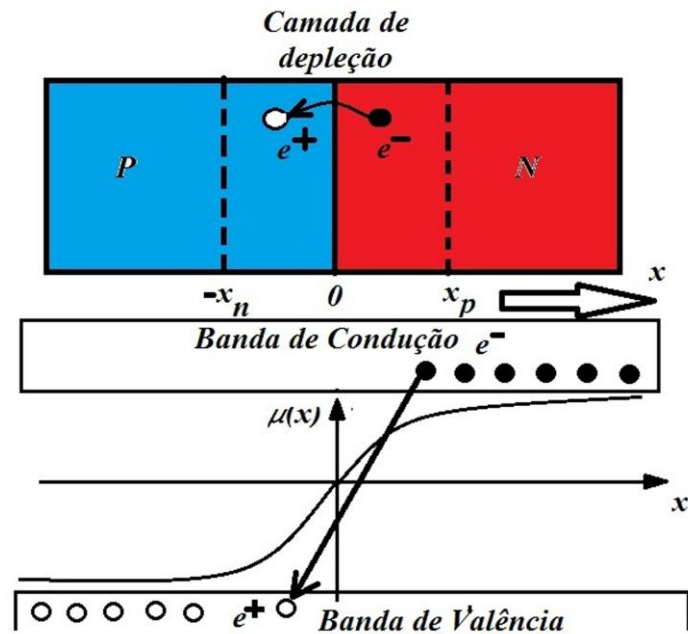


Figura 6 – Junção p-n
 Fonte: Lima *et al.* (2020, p. 11).

Nesta Figura 6, percebemos os detalhes das partes importantes de dispositivos semicondutores que formados com junção p-n: a camada de depleção que está situada na região de contato entre material do tipo p e o material do tipo n, próxima da junção p-n ocorre que banda de valência cede elétron para banda de condução, tornando n carregado positivamente e p carregado negativamente, então surge um campo elétrico interno na camada de depleção.

3.1.2.2 CÉLULA FOTOVOLTAICA

Segundo Lima (2005), existem alguns dispositivos, como diodos (*led*), transistores e as células solares, que utilizam o mesmo princípio de funcionamento baseado numa junção p-n, é o caso da célula fotovoltaica que pode ser observada na Figura 7 abaixo.

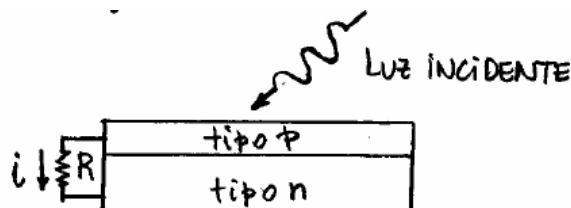


Figura 7 - Representação esquemática de uma célula solar.
 Fonte: Lima (2005, p.115).

Temos uma descrição sobre o funcionamento de uma célula fotovoltaica conforme apresenta Lima (2005).

Quando um fóton, de energia maior que a banda proibida (1,1 eV para o caso do silício), atinge a região tipo p de uma junção p-n, elétrons são transferidos da banda de valência para a banda de condução, aumentando ainda mais o número de buracos nessa região. Alguns desses elétrons criados recombinam-se com buracos, mas outros migram para junção, de onde são transmitidos para a região tipo-n pela tensão de contato V_0 . Esse processo gera um excesso de cargas negativas na região tipo n e um excesso de cargas positivas na região tipo p. Como consequência, fica estabelecida uma diferença de potencial da ordem de 0,6 V entre as regiões p e n que, por sua vez, gera uma corrente elétrica i sobre o resistor R conectado entre as duas regiões. Quanto maior a intensidade da luz incidente, maior será a corrente elétrica resultante (LIMA, 2005, p. 115-116).

Nesta descrição de Lima (2005), o início o processo é acionado pelos fótons da luz solar, ao incidirem do lado p do dispositivo junção p-n, ocorre a elevação do nível de energia para superar a banda proibida, em seguida temos um fluxo de elétrons da banda de valência para banda de condução, conseqüentemente o acúmulo de cargas opostas nas regiões do tipo p e n gera um potencial elétrico, ao ligarem os esses extremos por um condutor e/ou um resistor produz uma o corrente proporcional a luminosidade recebida pelo equipamento.

De acordo Lima *et al.* (2020), houve evolução nos materiais utilizados em células fotovoltaica, as características que compõem os materiais influenciaram na escolha.

Usualmente, a seleção dos materiais para aplicação em células solares depende de características como coeficiente de absorção, discutido anteriormente na presente contribuição, *band gap*, toxicidade, estabilidade e disponibilidade. Semicondutores comumente utilizados são aqueles que apresentam *band gap* entre 1,1 e 1,7 eV, com o intuito de respeitar o limite de Shockley-Queisser, que prevê máxima eficiência de 44% para um valor de $Eg/(kBT_s) = 2$, onde Eg é o valor do gap e T_s a temperatura de corpo negro do corpo radiante (aqui é relevante o sol, $T_s = 6000K$). Todavia, semicondutores com *band gaps* maiores também são utilizados (LIMA *et al.*, 2020, p. 12).

Destacamos pontos importantes sobre os materiais aplicados em células solares, conforme Lima *et al.* (2020), coeficiente de absorção, *band gap*, toxicidade, estabilidade e disponibilidade. Isso colabora para que tenhamos equipamentos viáveis, confiáveis, seguro para a saúde humana e, logicamente, que proporcione uma melhor eficiência energética.

Segundo Carvalho (2014), temos alguns tipos de células solares que mais se destacam, classificadas de acordo as gerações.

Apresentamos a seguir as células solares da primeira geração, as mais tradicionais.

Células de primeira geração ou cristalinas: São células solares fabricadas a partir de wafers de um semicondutor, como o silício (Si) ou arseneto de gálio (GaAs), podendo ser monocristalinos ou policristalinos. As células de silício são as mais utilizadas e comercializadas, dominando cerca de 85% do mercado (dados de 2011). Seu processo de fabricação já é muito bem conhecido e dominado (já que é o mesmo utilizado na fabricação de dispositivos eletrônicos) [...] (CARVALHO, 2014, p. 18).

Conforme a Figura 8 estes são os modelos de células fotovoltaicas mais conhecidas na indústria e no comércio.

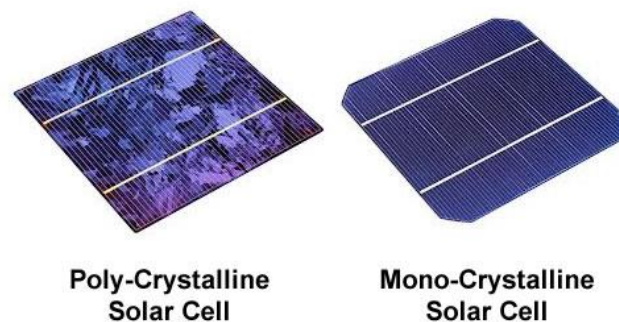


Figura 8: Células cristalinas de silício
Fonte: Carvalho (2014, p.18).

Para Carvalho (2014), as células de primeira geração ou cristalinas formadas por materiais como silício ou arseneto de gálio, sua amplamente conhecidas no mercado.

Células de segunda geração ou filmes finos: São células fabricadas a partir do crescimento de filmes finos (thin-films) de materiais semicondutores. Sua principal vantagem é o seu custo de fabricação, que não depende de técnicas sofisticadas de produção de materiais ultra-puros, além do baixo consumo de material semicondutor (em células de primeira geração, 50% de seu custo está no processo de fabricação do wafer) [...] (CARVALHO, 2014, p. 19).

Em seguida, temos na Figura 9 as células fotovoltaicas de segunda geração.

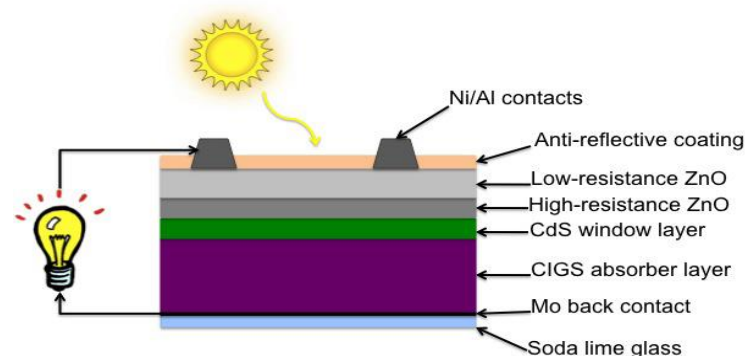


Figura 9: Diagrama das camadas de uma célula CIGS
Fonte: Carvalho (2014, p.19).

Observamos também em Carvalho (2014), que células de segunda geração ou filmes finos tem um ponto positivo quanto baixo custo de fabricação.

Células de terceira geração ou multi-junção: São células solares com múltiplas junções P-N feitas de diferentes materiais semicondutores. Cada junção produzirá uma corrente elétrica em resposta a diferentes comprimentos de onda da luz, aumentando a eficiência de conversão. As camadas semicondutoras são depositadas uma por uma, em uma ordem que maximize a coleta de portadores de acordo com o comprimento de onda (fótons com comprimentos de onda diferentes tem capacidades de penetração diferentes; assim, materiais com E_g elevados ficam na parte superior da célula, enquanto os materiais com baixo E_g ficam na porção inferior) (CARVALHO, 2014, p. 20).

Notamos que as células de terceira geração possuem como grande ponto positivo sua eficiência.

E, por último, temos na Figura 10 o modelo de células solares da terceira geração.

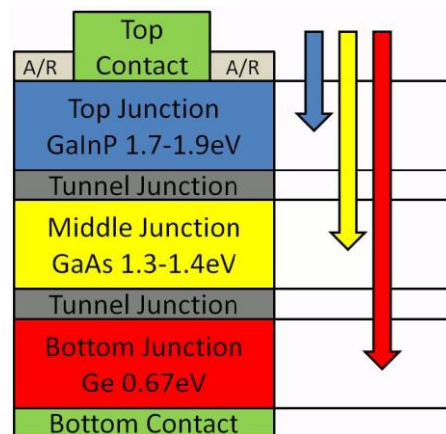


Figura 10: Diagrama das camadas de uma célula multi-junção
Fonte: Carvalho (2014, p.20).

E, finalmente, verificamos as células de terceira geração ou multi-junção com várias junções p-n, compostas por semicondutores diferentes, possuem uma melhor eficiência na conversão da luz solar, mas alto custo de fabricação (CARVALHO, 2014).

Portanto, notamos o desenvolvimento de células fotovoltaicas ao longo de três gerações, a evolução de materiais que possibilite a máxima eficiência energética durante o fenômeno do efeito fotovoltaico e que seja viável economicamente.

4 PROCEDIMENTOS DIDÁTICO-METODOLÓGICOS

A estratégia didática desta pesquisa se desenvolve com base na teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e, principalmente, na proposta de Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira. Norteado por uma UEPS, utilizamos variadas alternativas de recursos pedagógicos, questionários, textos, simuladores computacionais, vídeos e experimentos, para obtenção de evidências de aprendizagem.

Neste trabalho, seguimos os caminhos de uma pesquisa do tipo qualitativa investigativa.

Conforme os autores Gerhardt e Silveira (2009), temos uma caracterização da pesquisa do tipo qualitativa.

A pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc.[...] Os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não métricos (suscitados e de interação) e se valem de diferentes abordagens. [...] As características da pesquisa qualitativa são: objetivação do fenômeno; hierarquização das ações de *descrever*, *compreender*, *explicar*, precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno; observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural; respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos; busca de resultados os mais fidedignos possíveis; oposição ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 32).

Observamos que na pesquisa qualitativa a representatividade numérica não é considerada relevante, pois os dados analisados são não métricos. Ações dessa pesquisa tendem as características mais subjetivas de descrever, compreender, explicar, observar e interagir com o grupo social dos sujeitos da pesquisa.

Também para autora Zanella (2013), temos uma definição a quando se trata da pesquisa do método qualitativo.

O método qualitativo preocupa-se em conhecer a realidade, segundo a perspectiva dos sujeitos participantes da pesquisa, sem medir ou utilizar elementos estatísticos para análise dos dados. Busca é conhecer significados, opiniões e percepções dos sujeitos participantes da pesquisa (ZANELLA, 2013, p.104).

Verificamos que para pesquisa qualitativa, o importante não é as informações estatísticas, mas as opiniões e percepções dos participantes da pesquisa.

E podemos complementar a metodologia da pesquisa qualitativa investigativa com base nos autores Bianchin e Zuliani (2010), sobre o método investigativo.

A utilização da metodologia investigativa tem sido muito explorada no sentido de melhorar o processo de aprendizagem, já que estamos preparados para aprender apenas sobre aquilo que desejamos e nesse estágio indagamos, buscamos e perseguimos nossas curiosidades. A metodologia investigativa pode ser utilizada como um processo orientado que conduz o aprendiz a situações capazes de despertar a necessidade e o prazer pela descoberta do conhecimento. Com ressalvas, podemos associar este conceito à investigação científica (BIANCHIN; ZULIANI, 2010, p.1).

Percebermos na metodologia investigativa, um processo relevante para a construção do conhecimento, quando despertamos a necessidade e o prazer da descoberta, ou seja o querer aprender através da curiosidade do participante.

4.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)

Observamos Moreira (2012, p. 8), para reconhecer os pontos relevantes de como construir o processo de aprendizagem significativa “Essencialmente, são duas as condições para a aprendizagem significativa: 1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender.” Além disso,

A primeira condição implica 1) que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, ...) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e 2) que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não-arbitrária e não-literal (MOREIRA, 2012, p. 8).

Compreendemos que dois pontos são fundamentais para começar a desenvolver essa metodologia de ensino e aprendizagem, sem uma das duas torna-se praticamente inviável realizar a proposta, pois sem o tipo de material e sem a receptividade do aluno em adquirir conhecimento não decola o processo da prática nas aulas.

Verificamos, segundo Moreira (2011, p. 44-45), que aprendizagem significativa reúne a contribuição de diversos autores que foram desenvolvendo suas metodologias ao longo da trajetória de ensino-aprendizagem.

Princípios:

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
- é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin);
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud);
- frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (Johnson-Laird);
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin);
- a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
- essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo;
- a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira) (MOREIRA, 2011, p. 44-45).

Analisando os princípios da aprendizagem significativa crítica proposta por Moreira (2011), notamos a influência e contribuições de trabalhos de vários autores como: a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1968; 2000), em visões clássicas e contemporâneas: Moreira (2000; 2005; 2006), Moreira e Masini (1982; 2006), Masini e Moreira (2008), Valadares e Moreira (2009); as teorias de educação de Joseph D. Novak (1977) e de D.B. Gowin (1981); a teoria interacionista social de Lev Vygotsky (1987); a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990) e Moreira (2004); a teoria dos modelos mentais de Philip Johnson-Laird (1983) e a teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira (2005).

Segundo Moreira (2011, p. 45-46), temos 08 passos para segui-la, detalhando a metodologia de uma UEPS:

1. Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. criar/propor situação(ções) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno 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 bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; 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 o 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, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., 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 à diferenciação progressiva, i.e., 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 oral 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 (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às 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, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;
6. Concluindo a unidade, dar seguimento 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, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um 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 níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;
7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas 5 por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar

baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa; 8. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais (MOREIRA, 2011, p. 45-46).

Para Moreira (2011), a proposta de trabalho com base em uma UEPS requer uma atenção quanto a organização e execução das oito etapas existentes, vale ressaltar, como o próprio autor deixa explícito no último passo, o processo de ensino e aprendizagem significativa só terá êxito caso os alunos demonstrem evidências de compreensão e consigam aplicar os novos conhecimentos adquiridos em situações-problema.

4.2 MAPAS CONCEITUAIS

Apresentamos uma definição sobre mapa conceitual, segundo Moreira (1997, p. 1) “De um modo geral, mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos”. Moreira (1997) deixa explícito que “[...] Mapas conceituais não buscam classificar conceitos, mas sim relacioná-los e hierarquizá-los”. E ainda “[...] Mapas conceituais devem ser explicados por quem os faz; ao explicá-lo, a pessoa externaliza significados. Reside aí, o maior valor de um mapa conceitual” (MOREIRA, 1997, p. 2).

Analisamos que os mapas conceituais são de grande relevância para o desenvolvimento da aprendizagem significativa, visto que sua construção demanda uma exposição do conhecimento do seu autor, o que permite analisar uma ensinagem (ensino-aprendizagem) de conteúdo curricular ou de uma disciplina especificamente.

Veremos abaixo um exemplo de mapa conceitual, conforme ilustra a Figura 11.

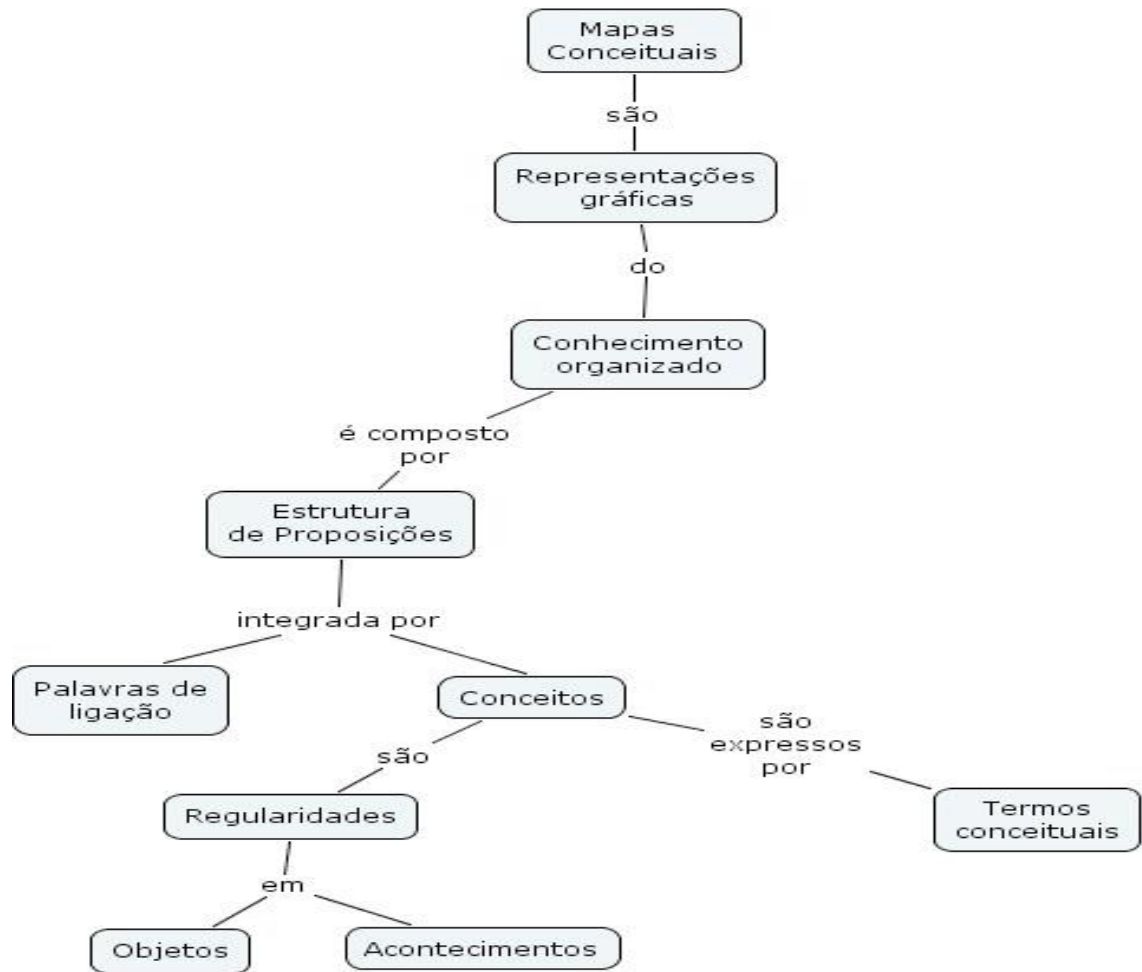


Figura 11 – Exemplo de mapa conceitual
 Fonte: Azevedo JR. (2008, p. 36).

Notamos que os mapas conceituais, embora não sigam a obrigatoriedade de um modelo específico, têm alguns elementos em comum: diagramas, palavras chaves e uma expressão unindo essas palavras ou estabelecendo uma ligação, geralmente um verbo faz essa interação.

Na visão de Moreira (2006, p. 9), podemos ter uma síntese sobre o que são mapas conceituais.

De uma maneira ampla, mapas conceituais são apenas diagramas que indicam relações entre conceitos. Mais especificamente, podem ser interpretados como diagramas hierárquicos que procuram refletir a organização conceitual de um corpo de conhecimento ou de parte dele. Ou seja, sua existência deriva da estrutura conceitual de um conhecimento. (MOREIRA, 2006, p. 9).

Logo, vimos que os mapas conceituais tratam-se, em sua essência da reflexão organizacional, de um conhecimento estrutural de forma hierárquica por diagramas, para

melhor assimilação desse conhecimento do seu construtor, de maneira mais específica o discente, o sujeito principal da aprendizagem significativa.

5 INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA

Na realização deste trabalho, buscamos os objetivos de criar caminhos alternativos para ensino-aprendizagem sobre o estudo do Fóton, dentro de uma relação mais próxima da realidade do aluno, optando por uma metodologia de aprendizagem significativa.

5.1 CONTEXTO DA PESQUISA

A pesquisa qualitativa do tipo investigativa ocorreu durante 12 às aulas de Física, entre os meses de setembro e novembro de 2021, no município de Rio Pardo de Minas, Minas Gerais, promovido pelo autor deste trabalho.

Num cenário de pandemia devido a Covid-19, houve dificuldades para realização das atividades, somada a outros contratemplos de frequência não obrigatória as aulas, devido ao sistema de ensino híbrido adotado pela rede estadual de Minas Gerais, após um longo período de ensino remoto.

Inicialmente 11 alunos fizeram parte da pesquisa, a partir da etapa presencial outros alunos também participaram do estudo, a numeração seguiu lista de matrícula da turma.

5.2 DESCRIÇÃO DA TURMA

Esta UEPS foi aplicada em uma turma do 3º ano do Ensino Médio, no turno matutino. O perfil da turma pesquisada foi construído com base nas informações fornecidas pela secretaria da escola, conforme informações fornecidas no cadastro de matrícula.

Esta turma era formada por trinta e dois alunos, dezoito do sexo feminino e quatorze do sexo masculino, com idade entre dezessete e vinte anos. Sendo que deste total, vinte e dois alunos residem na zona urbana e dez alunos residem na zona rural, percebermos um perfil mais urbano nesta turma, diferentemente do perfil geral do Ensino Médio desta escola, que segundo informações de matrícula, são, na maioria, alunos que moram em área rural e, conseqüentemente, dependem do transporte escolar.

5.3 PREPARAÇÃO PARA A APLICAÇÃO DA UEPS

Nesta parte, fizemos uma abordagem introdutória sobre conhecimentos iniciais básicos da construção de um mapa conceitual, a fim de que os alunos e o professor pudessem explorar essa ferramenta didática durante a aplicação da UEPS.

No primeiro momento, começamos com apresentação da definição de um mapa conceitual conforme Moreira (1997), em seguida, colocamos de maneira expositiva os modelos de mapas conceituais. Prosseguindo, buscamos juntamente com a participação dos alunos relacionar as características em comum que estão inseridas nos mapas conceituais como: apresentam variadas formas, utilizam palavras chaves, a distribuição das palavras chaves acontece por meio de diagramas, os diagramas têm uma relação de hierarquia onde os conceitos principais devem estar explícitos e possuem uma ligação de significados entre as palavras chaves.

Vejamos a seguir um exemplo de mapa conceitual, conforme Figura 12 abaixo:

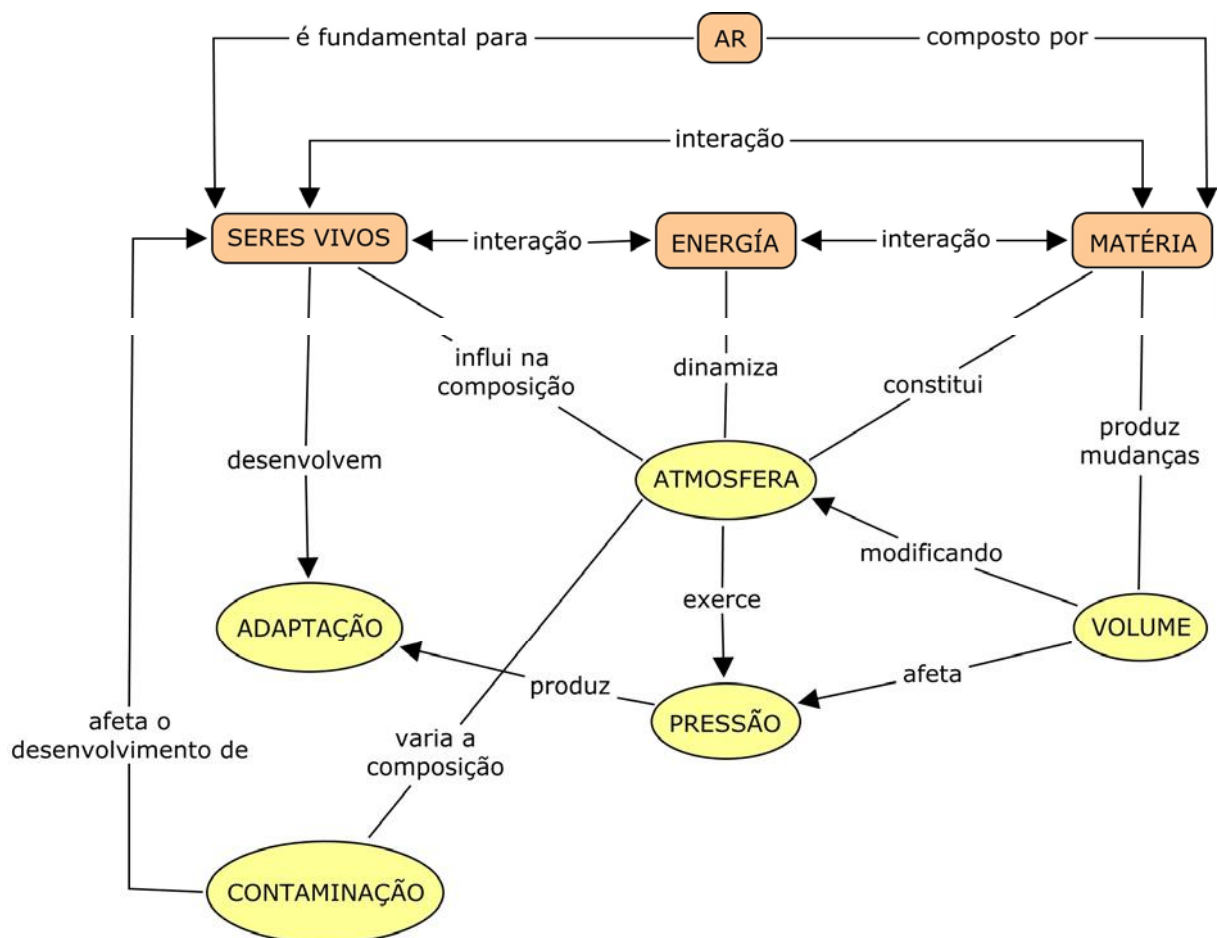


Figura 12 – Exemplo de Mapa Conceitual
Fonte: Moreira (1997, p. 3).

No segundo momento o professor orienta os alunos na construção de um mapa conceitual coletivo, sendo um tema de livre.

No terceiro momento, os alunos, com apoio do texto “O que é energia?” (Anexo A), realizaram a leitura e a discussão do texto, com o objetivo de construir individualmente e compartilhar com toda a turma um mapa conceitual sobre tema: o que é energia.

5.4 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Na perspectiva de Marco Antônio Moreira (2011), trabalhar com a UEPS é adotar metodologias que visem facilitar a construção de uma aprendizagem significativa crítica, diferentemente do que ocorre com o método da aprendizagem mecânica.

5.4.1 Momento 1 - Definição do tópico específico a ser abordado

Na realização do primeiro momento, no qual apresentamos o tópico específico definido para esta UEPS, O Estudo do Fóton e Alguma de Suas Aplicações, trabalhamos introdutoriamente com a definição e características do fóton, a luz (onda eletromagnética).

Após a introdução dos conhecimentos básicos sobre o fóton, seguimos para algumas das aplicações do fóton no nosso meio, nos quais apresentam dois importantes fenômenos que estão diretamente envolvidos: o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico. Este momento foi realizado por meio do ensino remoto, utilizando a plataforma do Google Classroom. A aula foi expositiva e dialogada sobre a escolha do tema.

5.4.2 Momento 2 - Levantamento de conhecimentos prévios

Neste momento, continuamos na modalidade remota de forma a explorar ferramentas tecnológicas conectadas à internet: formulário eletrônico, aplicativos e plataforma ensino remoto.

Selecionamos situações que possibilitaram os alunos externalizar os conhecimentos prévios a respeito do tópico a ser abordado, chamados pela teoria da aprendizagem significativa de subsunçores. Visando a realização desta etapa da nossa sequência didática, tivemos aplicação de um questionário com situações-problema que estimulasse os discentes a

reflexão sobre o assunto. Este questionário foi disponibilizado aos alunos por meio do Google Forms, eles receberam o link através do aplicativo WhatsApp e email institucional.

Para cumprir o objetivo foi produzido um questionário (Anexo B), como uma opção para incentivar os alunos sobre o tema proposto. O teste de sondagem foi proposto buscando extrair informações conceituais sobre a FMC.

5.4.3 Momento 3 - Situações-problema em nível introdutório

Nesta etapa, após 3 aulas, tivemos o retorno das atividades com as aulas presenciais. Prosseguindo com os trabalhos, propomos a introdução de situações-problemas com base nos conhecimentos prévios, utilizando o texto “A evolução do conceito de fóton” (Anexo C) como base. A discussão desse texto com os alunos tem o objetivo de provocar o interesse deles para o tema da FMC.

A apresentação do referido texto, em forma de uma leitura conjunta dos alunos e professor, serviu de ponto de partida para discussão sobre questões-problemas. Como aconteceu a evolução para a FMC, diante das tecnologias atuais as quais são de relevância para conhecimento que envolve o estudo dos fótons, mais precisamente..

5.4.4 Momento 4 - Apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido

Neste momento, fizemos a apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido através da exposição de vídeos e interação professor/aluno.

Considerando uma vez trabalhada as situações iniciais, é importante acontecer a diferenciação progressiva, ampliando os níveis cognitivos dos discentes, a fim de estabelecer um elo com novos conhecimentos com base no subsunçor existente.

Teremos, nesta etapa, a inserção dos princípios que norteiam a FMC, conceitos de fótons, característica, surgimento e comportamento do fóton. A diferenciação do comportamento da física do mundo quântico em relação à física clássica.

Propomos, para esta aula, a discussão dos conceitos sobre a natureza do fóton, o princípio de que caracterizam seu surgimento e comportamento e, em especial, compreender o seu princípio de energia quantizada. Apresentação do vídeo “O que é a luz? Saiba Tudo Sobre um Fóton Nesse Vídeo Animado”.

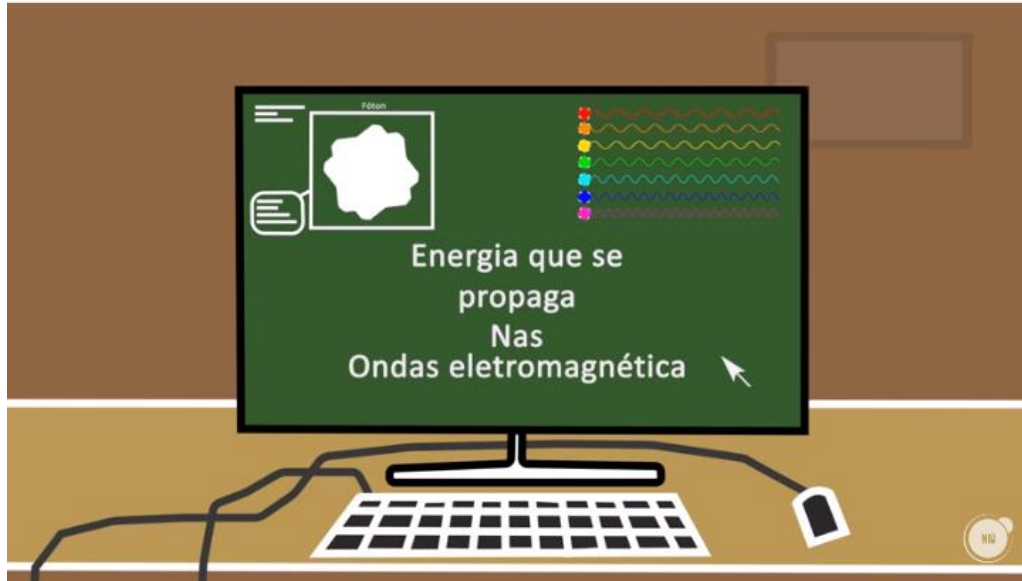


Figura 13 – Fotograma do vídeo 1: “O que é a luz? Saiba Tudo Sobre um Fóton Nesse Vídeo Animado”

Fonte: Canal Niu (2017).

O vídeo da Figura 13 procura, de maneira dinâmica, definir o que é a luz, apresentando a luz como uma onda eletromagnética. Realiza comparações entre os tipos de ondas existentes e suas características, explica o surgimento da luz através do movimento de oscilação dos elétrons entre as camadas eletrônicas do átomo. Também fala que os elétrons não absorvem e nem emitem qualquer onda eletromagnética, mas depende na natureza de cada átomo.

Exibição do vídeo 2 – “Como surgem os fótons: as partículas de luz”.

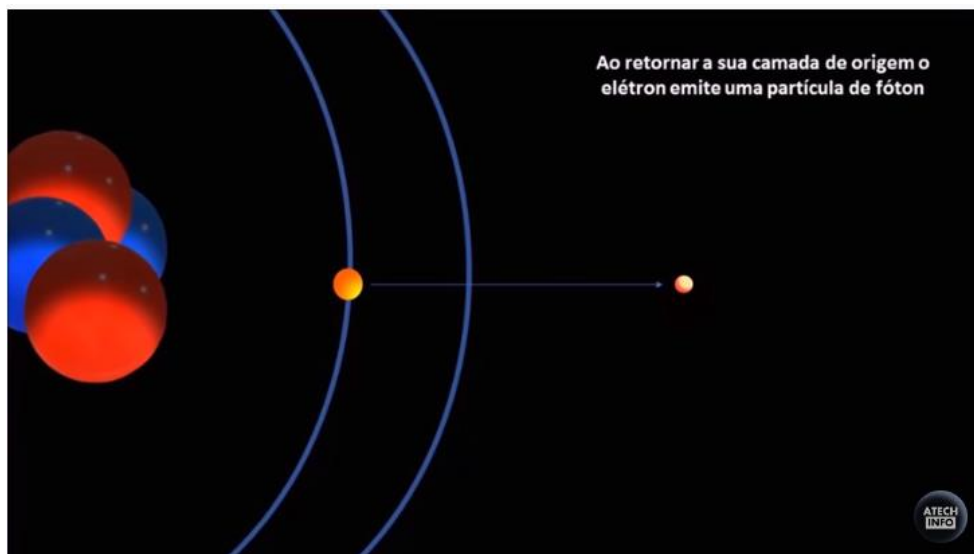


Figura 14 – Fotograma do vídeo 2: “Como surgem os fótons: as partículas de luz”

Fonte: Canal ATECH-INFO (2018).

O vídeo da Figura 14 explica como surgem os fótons: as partículas de luz, por meio de animações ilustrativas. Diferentemente do vídeo anterior, esse apresenta a natureza dual da luz de onda-partícula, explicando a natureza corpuscular e a descoberta do efeito fotoelétrico. Descreve o surgimento dos fótons a partir do movimento de excitação dos elétrons. Estes ao saltar de uma camada eletrônica inferior para uma camada eletrônica superior, cessado o estado de excitação, retorna para a camada eletrônica de origem, liberando energia na forma de fótons, e o ciclo se repete milhões de vezes por segundo.

O vídeo 3, “Fóton Energia | Física quântica | Física | Khan Academy”, é o próximo a ser exibido.

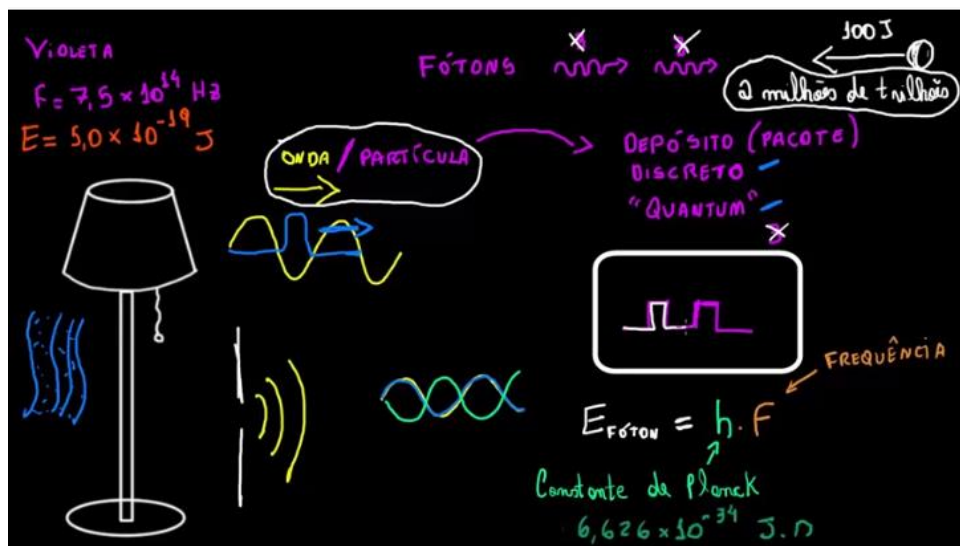


Figura 15 – Fotograma do vídeo 3: “Fóton Energia | Física quântica | Física | Khan Academy”
Fonte: Canal Khan Academy Brasil (2016).

O vídeo da Figura 15 trata da energia do fóton, inicia a sua explicação expositiva sobre as características dual da luz, onda-partícula e, em seguida, fala da energia em pacote discreto ou “quantum”, demonstrando a equação da energia do fóton $E = h \cdot f$ (E representa energia, h é a constante de Planck e f é a frequência), detalha que na escala macroscópica a energia parece se comportar de forma contínua, mas na escala microscópica o comportamento da absorção ou emissão ocorre de maneira discreta.

Na finalização desta etapa, o professor propõe aos alunos uma atividade (Anexo D), na qual deverão resolver questões que estão relacionadas com: energia do fóton, frequência de corte, função trabalho para saber diferenciar quando ocorre ou não emissão de fótons e com a finalidade de compreender características que influencia energia cinética dos fótons.

5.4.5 Momento 5 - Retomar os aspectos gerais em nível mais alto de complexidade

Este momento será abordado de forma presencial, visando uma maior aproximação do professor e aluno.

Propomos aprofundamento do tópico a ser ensinado, conforme as atividades já desenvolvidas anteriormente ao longo da pesquisa, pautando-se pelos pontos relevantes, na qual foi abordado as situações-problema em níveis crescentes de complexidade.

A fim de promover a reconciliação integradora, a inserção de atividades que visa proporcionar ao aluno a construção de um novo conhecimento que relaciona semelhanças vivenciadas antes com ideias que ancoram para formar o novo significado.

Então, promovemos a realização de atividades colaborativas, para que assim os alunos tivessem melhor condições de interagir socialmente, negociando significados. Nesta etapa coube ao docente mediar os procedimentos pedagógicos. Foram propostas atividades experimentais em vídeos.

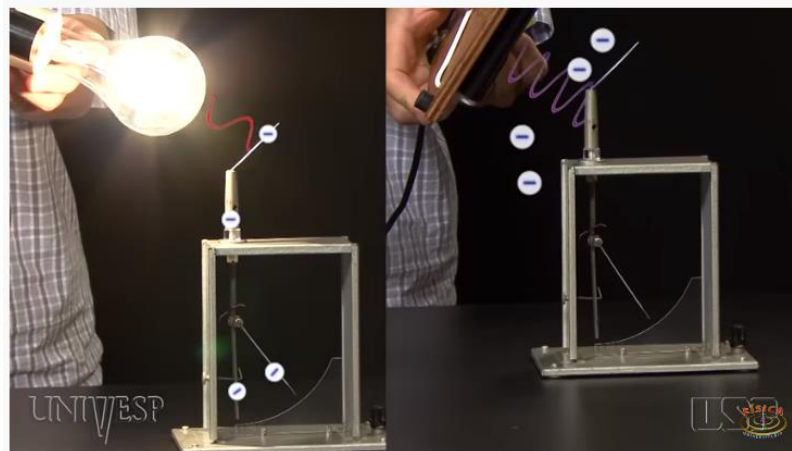


Figura 16 – Fotograma do vídeo 4: “Efeito Fotoelétrico”
Fonte: Furukawa (s.d.).

O vídeo da Figura 16, sobre o efeito fotoelétrico, apresenta a realização de um experimento para demonstrar como ocorre este fenômeno, utilizando: um eletroscópio, um canudinho de plástico, papel toalha, uma lâmpada incandescente, uma lâmpada de vapor de mercúrio e uma fonte de energia. A interação da radiação com a matéria é percebida apenas como a luz de ultravioleta da lâmpada de vapor de mercúrio, ao descarregar o eletroscópio carregado com elétrons, conforme descreve a teoria do efeito fotoelétrico.

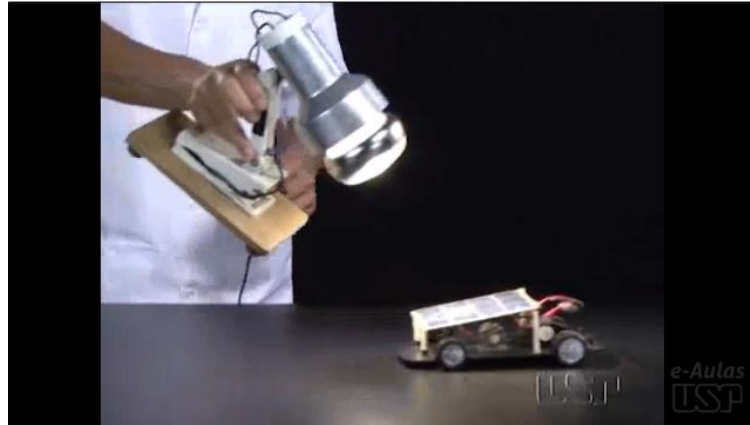


Figura 17 – Fotograma do vídeo 5: “Efeito Fotovoltaico”
Fonte: Marques (s.d.).

No vídeo da Figura 17, sobre o efeito fotovoltaico, é demonstrado um experimento utilizando um pequeno painel fotovoltaico, conexões, um carrinho de brinquedo que depende de eletricidade, uma fonte energia e uma lâmpada incandescente. Quando a luz da lâmpada incandescente incidente sobre a célula fotovoltaica gera corrente elétrica que é transmitida ao carrinho por conectores, e este ganha movimento, interrompendo a incidência de luz na placa fotovoltaica o movimento do carrinho também é interrompido.

No fechamento deste passo, o professor monta e apresenta um experimento sobre efeito fotovoltaico, uma placa solar de *led* (anexo E) com a finalidade de observar assimilação e interação do conhecimento através dos procedimentos que envolvem a aplicação dos fótons.

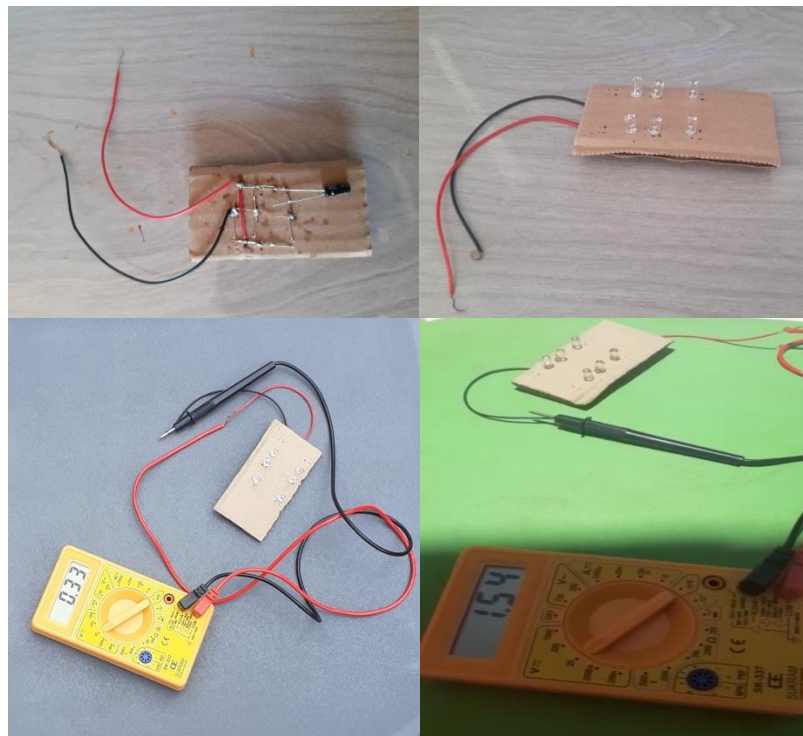


Figura18 – Experimento sobre Efeito Fotovoltaico.
Fonte: Autor (2021).

Este experimento da Figura 18 tem por objetivo reproduzir uma pequena aplicação do fóton através do fenômeno do efetivo fotovoltaico presente no procedimento de transformar a energia solar em energia elétrica por meio dos *leds*.

Após a montagem do experimento com o painel de *led*, posiciona-se a parte superior com os leds para cima em direção em direção ao sol, ligamos multímetro e posicionamos o seu marcado na posição 20 volts, assim observamos de quase imediato a incidência da luz solar, o aumento do número da tensão elétrica no painel do multímetro, se interrompermos incidência da luz nos *leds*, notamos a diminuição na tensão elétrica a praticamente zero. E assim vamos observando a variação dos números de acordo o nível de intensidade da luz solar.

5.4.6 Momento 6 - Concluir a unidade

Este momento tem aspecto conclusivo do conteúdo. É a última etapa da diferenciação progressiva e busca relacionar os aspectos mais importantes do tema desenvolvido nestas atividades pedagógicas, visando, ao final, realizar a reconciliação integrativa. Após esta terceira apresentação, novas situações-problema foram propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações aconteceram em resolução de atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente.

Exibição do vídeo 6 – “Célula Fotovoltaica”.

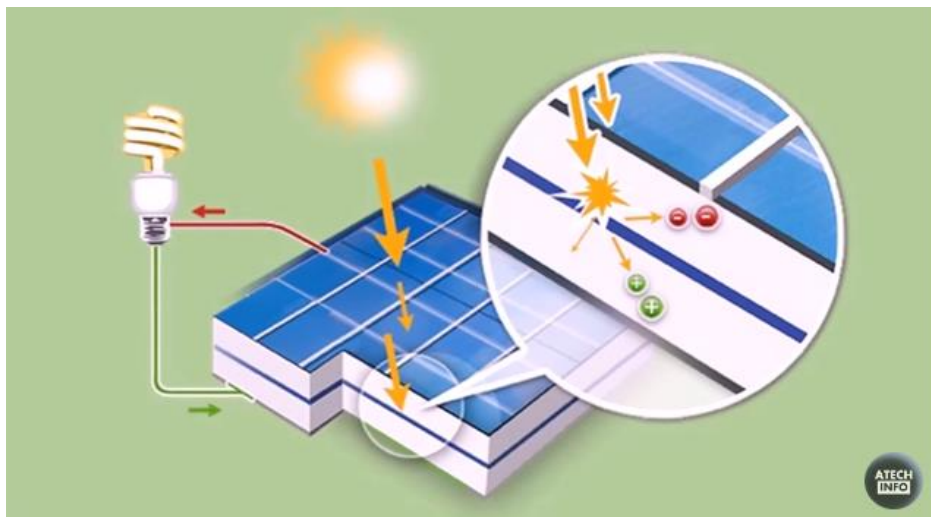


Figura 19 – Fotograma do vídeo 6: “Célula Fotovoltaica”
 Fonte: ATECH-INFO (2020).

O vídeo da Figura 19 versa sobre a célula fotovoltaica, apresentando um dispositivo responsável em converter a energia luminosa (fóton) em energia elétrica. Esta célula é produzida com um material semicondutor, o vídeo continua relatando a descoberta do efeito fotovoltaico e evolução das células fotovoltaica, a qual, por meio deste equipamento, utilizam fótons para separação de elétrons dos átomos, produzindo assim eletricidade.

O vídeo também faz uma diferenciação entre o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico. O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material geralmente metálico, quando recebe uma radiação eletromagnética de alta frequência o suficiente para energizar os fótons e arrancar os elétrons da placa. Por outro lado, o efeito fotovoltaico é o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando este é exposto à luz visível, assim os elétrons, ao receber luz na banda de valência, saltam para a banda de condução produzindo uma corrente elétrica no interior da estrutura cristalina do semicondutor.

Para complementar e aprofundar o ensino-aprendizagem neste momento foi apresentado aos discentes dos simuladores do phet colorado: um sobre o efeito fotoelétrico e outro sobre semicondutores.

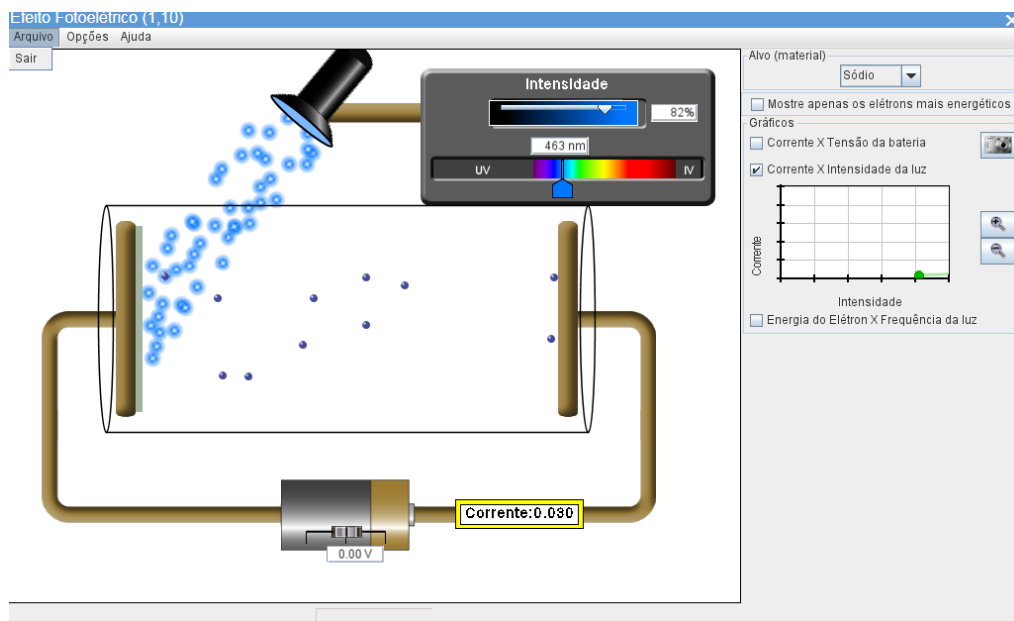


Figura 20 – O Efeito Fotoelétrico
 Fonte: Soares (PhET, s.d.).

Na Figura 20 temos o simulador phet colorado para o efeito fotoelétrico, um dispositivo que reproduz a situação que podemos perceber tal efeito, um controle ajustável para diferentes radiações eletromagnéticas, opções de infravermelho, visível e ultravioleta, podendo escolher a variação de intensidade, frequência e o tipo material alvo para incidência dos fótons, possibilitando uma análise mais aprofundada das condicionantes do fenômeno.

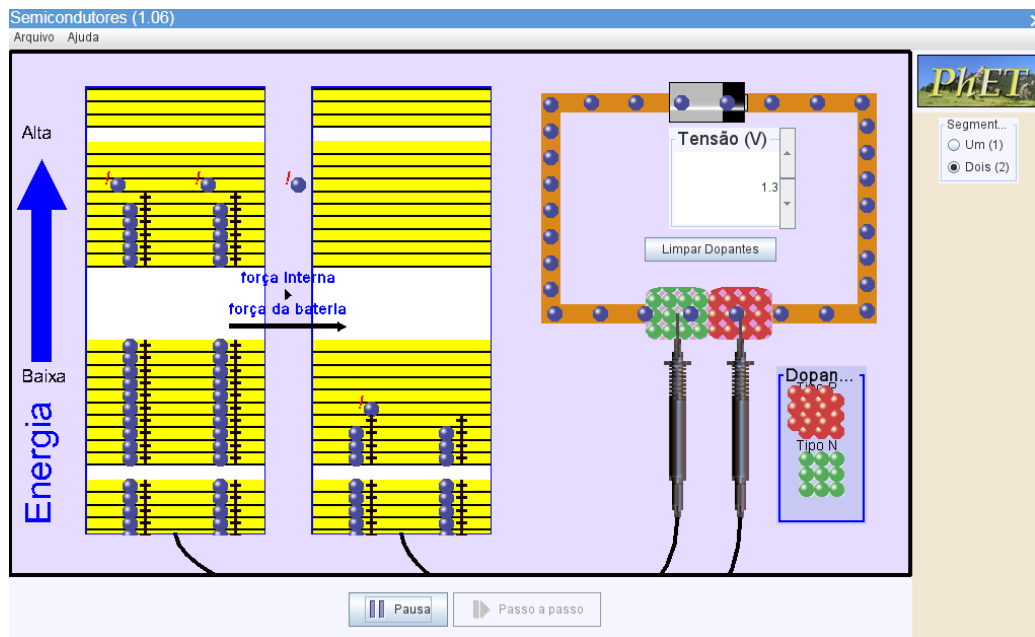


Figura 21 – Semicondutores
Fonte: Soares (PhET, s.d.).

Na Figura 21 temos um simulador phet colorado para semicondutores, este simula a tensão elétrica e o sentido da corrente elétrica no interior de um sólido semiconductor, sem a dopagem do cristal semiconductor com material o tipo P ou N, não ocorre a condução de corrente elétrica, após a adição das impurezas ao material semiconductor visualizamos o a circulação dos elétrons.

Neste momento, os alunos receberam do professor uma atividade (Anexo F), esta contém questões sobre o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico, fenômenos já apresentados pelo docente e trabalhados em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores. Nesta etapa, é necessário que os alunos tenham assimilado ou compreendido o conhecimento ensinado para que possam resolver as questões-problemas em nível mais aprofundado.

5.4.7 Momento 7 - Avaliação da aprendizagem através da UEPS

Nesta etapa, procuramos evidências de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado. Por isso, como forma de complementar os registros realizados durante toda a sequência didática, preparamos uma ferramenta (mapa conceitual e/ou questionário) que pudesse externalizar a aprendizagem significativa, como conclusão de todo esse processo, auxiliando na análise da próxima etapa.

Será proposto aos alunos, neste momento, a construção de mapa conceitual individual (Anexo G) sobre o conteúdo abordado “O estudo do fóton e algumas de suas aplicações”, a fim de que com o mapa individual possamos ter exposição específica dos conhecimentos adquiridos, neste tema abordado.

5.4.8 Momento 8 - Análise da aplicação da UEPS

Nesta última etapa, analisaremos os resultados dos trabalhos realizados pelos alunos, para saber quais aprendizagens foram possíveis perceber ao final deste estudo. Sempre buscando evidências do conhecimento do adquirido pelos discentes. Consideramos assim todo conjunto de atividades, participação e interação dos alunos durante este processo ensino-aprendizagem.

5.5 CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO DA UEPS

Apresentamos abaixo, na Quadro 1, o cronograma de realização desta pesquisa distribuída entre o período do mês de setembro a dezembro de 2021.

Quadro 1 – Cronograma da UEPS

Aulas	Tempo	Resumo das atividades
01 e 02	100 min	Oficina de Mapas Conceituais (ensino remoto). <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do tema a ser abordado; • Construção de Mapas Conceituais; • Análise coletiva dos resultados.
03	50 min	Levantamento dos conhecimentos prévios (ensino remoto). <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do questionário sobre conhecimento prévios dos alunos (teste de sondagem); • Análise coletiva dos resultados.
04 e 05	100 min	Situações-problema em nível introdutório (a sala de aula)

		<p>presencial).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leitura e análise do todo texto “A evolução do conceito de fóton sobre aplicações do fóton”;
06 e 07	100 min	<p>Apresentação do Conhecimento Ser Ensinado/Aprendido (sala de aula presencial).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva e dialogada. • Apresentação de vídeos sobre o fóton: conceito, características e comportamento. • Atividades Energia dos Fótons
08 e 09	100 min	<p>Retomar os Aspectos mais Gerais em Nível mais Alto de Complexidade (sala de aula presencial).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análise em ambiente dos experimentos sobre o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Fotovoltaico. • Atividade sobre Aplicação dos Fótons.
10 e 11	50 min	<p>Concluir a Unidade, Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa (sala de aula presencial).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aula em ambiente virtual com Simulador Phet colorado Efeito fotoelétrico, Semicondutores. • Atividades sobre o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico.
12	50 min	<p>Avaliação da Aprendizagem através da UEPS (sala de aula presencial).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construção de mapa conceitual individual sobre conteúdo abordado “O estudo do fóton e algumas de suas aplicações”
		<p>Análise da aplicação da UEPS</p> <ul style="list-style-type: none"> • É realizada de maneira continua durante a aplicação da sequência didática e o processo de escrita dos resultados.

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA MINAS. *Megaprojeto eólico e solar de mais de R\$ 5 bilhões será implantado em Minas Gerais*. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/megaprojeto-eolico-e-solar-de-mais-de-r-5-bilhoes-sera-implantado-em-minas-gerais>. Acesso em: 14 mar. 2022.

AUSUBEL, David P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. 1.^a Edição PT-467, Editora Plátano, janeiro de 2003.

BACCARO, Alexandre L. B.; GUTZ, Ivano G. R. Fotoeletocatálise em semicondutores: dos princípios básicos até sua conformação à nanoescola. *Química Nova*, v. 41, p. 326-339, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QkYzQTQFCdTXcjHxXnPCWYS/?lang=pt>. Acesso em: 02 mar. 2022.

BIANCHINI, Thiago Bufeli; ZULIANI, Silvia Regina Quijadas Aro. Utilizando a Metodologia Investigativa para diminuir as distâncias entre os alunos e a Eletroquímica. Disponível em <http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R0374-1.pdf>. Acesso em 10/03/2022.

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

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*. 8^a edição – São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CARVALHO, André Luiz Costa de Carvalho. *Metodologia para análise, caracterização e simulação de células fotovoltaicas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

EISBERG, R.; RESNICK, R., *Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Editora Campus, 1979.

EISBERG, R.; RESNICK, R., *Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Editora Campus, 1998.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GONÇALVES, Edevânio João. *Uso de um dispositivo LDR para o ensino de semicondutores fotoresistivos*. 2019. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Medianeira, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4740/1/dispositivoldrsemicondutoresfotoresistivos%20%281%29.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.

INDI. *Energia Renovável*. Disponível em: <https://www.indi.mg.gov.br/minas-gerais/setores-de-destaque/energia-renovavel/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna*. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009.

- LIMA, Ariane. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de Energia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 42, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnhLQ8dMHk7CDmSfs/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- LIMA, Carlos R. A. Lima. Sólidos. *Notas de aulas de estrutura da matéria*. 2005. Disponível em: https://www.ufjf.br/carlos_lima/files/2019/01/cap13.pdf. Acesso em: 02 fev. 2022.
- MNPEF. *Dissertações MNPEF*. 2021. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- MOREIRA, Marco Antônio. *Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica*. UFRS. 2005. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/visaoclasicavisao critica.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2021
- MOREIRA, M.A; MASSON, N.T. *Textos de apoio ao professor de física*. IF-UFRGS v.26 n.6 2015. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v26_n6.pdf. Acesso em: 06 mar. 2021.
- MOREIRA, M. A. *Ensino e Aprendizagem: enfoques teóricos*. São Paulo: Moraes, 1985.
- MOREIRA, Marco Antônio. *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa*. Instituto de Física, UFRGS. Porto Alegre – RS, 1997.
- MOREIRA, Marco Antônio. *Mapas Conceituais e Diagrama V*. Instituto de Física, UFRGS. 2006. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro_Mapas_conceituais_e_Diagramas_V_COMPLETO.pdf. Acesso em: 03 mar. 2021.
- MOREIRA, M. A. Unidades de ensino potencialmente significativa – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, V1, n.2, 2011. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.
- MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review* – V1(2), pp. 43-63, 2011. Disponível em http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf. Acesso em: 02 abr. 2020.
- MOREIRA, M. A. *O Que É Afinal Aprendizagem Significativa?* Disponível em <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- NUPIC. A transformação das teoria modernas e contemporâneas para a sala de aula: física de partículas elementares. São Paulo: NUPIC/LaPEF. 9 agot. 2007. Disponível em: <http://www.lapef.fe.usp.br/nupic/trabeproj/pedagogico/em/index.html>. Acesso em: 28 fev. 2022.
- OSTERMANN, Fernando; CAVALCANTI, Cláudio José de Holanda. *Teorias de Aprendizagem*. Porto Alegre: Evangraf/ UFRGS, 2011.

PELIZZARI, A. *et al.* *Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel*. Curitiba, v. 2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002.

PENA, Fabio Luís Alves Pena. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 1 - 2, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/gNHXzH9HTpp6crh4WGnVVQz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SILVA, Indianara. Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrênicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 4, 4204, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/smz83ByLjipJbB8hncSBQx/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SOARES, Derbiano Alves. *Micro usina solar e o efeito fotovoltaico para aluno do terceiro ano do ensino médio*. 2018. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física)— Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: Acesso em: 10 abr. 2020. Acesso em: 10 abr. 2020.

STUDART, Nelson. Inovando a Ensinagem de Física com Metodologias. *Ativas Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 3, p. 1-24, Brasília, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/28857>. Acesso em: 10 abr. 2020.

VALADARES, E.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896/7584>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. *Metodologia de pesquisa*. – 2. ed. reimp. – Florianópolis: UFSC, 2013.

RECURSOS VIRTUAIS

SOARES, Alexandre R. (responsável pela versão em português). **PhET - Semicondutores**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/semiconductor.

SOARES, Alexandre R. (responsável pela versão em português). **PhET - O Efeito Fotoelétrico**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric. Acesso em:

VÍDEO 1 – O QUE é a luz? Saiba Tudo Sobre um Fóton Nesse Vídeo Animado. [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (3 min). Publicado pelo canal Niu. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ATDqpG8RBqQ>. Acesso em: 10 ago. 2021.

VÍDEO 2 – COMO surgem os fótons: as partículas de luz. [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (6 min 27 seg). Publicado pelo canal ATECH-INFO. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=6EG2ttCYbrA&feature=youtu.be>. Acesso em: 10 ago. 2021.

VÍDEO 3 – FÓTON Energia | Física quântica | Física | Khan Academy”. [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (10 min 22 seg). Publicado pelo canal Khan Academy Brasil. Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=Cg_zAtks2js. Acesso em: 10 ago. 2021.

VÍDEO 4 – CÉLULA Fotovoltaica. [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (7 min 10 seg). Publicado pelo canal ATECH-INFO. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=VH5_G9noaTk

ANEXOS

ANEXO A O QUE É ENERGIA?

DE ONDE A ENERGIA VEM?

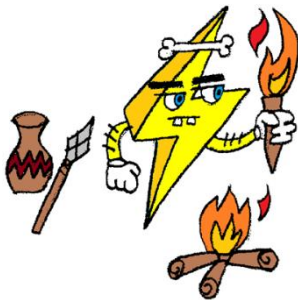
Ao acordar todas as manhãs, podemos ver e sentir a maior **fonte de energia** para o planeta Terra: o sol! O **sol** faz a água do mar e dos rios evaporar e formar as nuvens de chuva. Ao aquecer a Terra, ajuda a formar os ventos. As plantas utilizam o sol para crescer. O ser humano pode utilizar diretamente o sol como fonte de energia ou utilizar outras fontes de energia influenciadas pelo sol.

Para entender o que é energia, vamos conhecer as várias outras formas em que ela está presente na natureza e como podemos utilizá-la.



COMO O SER HUMANO UTILIZA ENERGIA?

O fogo foi a primeira forma de energia dominada pela humanidade. Com o fogo, o ser humano aprendeu a espantar animais selvagens, cozinhar alimentos e fazer ferramentas e utensílios para o uso em sua jornada pela Terra.



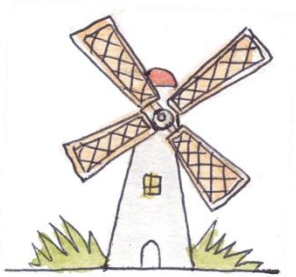
Os primeiros utensílios feitos com o uso do fogo foram panelas e jarros de barro cozido, que facilitaram a vida do ser humano. Posteriormente, começou a utilizar o fogo para fundir metais e fazer lanças, flechas, espadas e outros instrumentos mais elaborados.



grãos

Monjolo

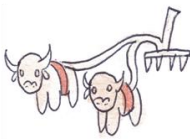
Outra **forma de energia** utilizada pela humanidade foi o movimento dos fluidos, como a água dos rios e o vento. Ainda existem no Brasil e em outras partes do mundo as rodas d'água e os moinhos, que utilizam a energia das águas para trituração de grãos.



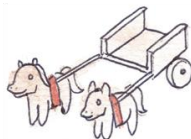
Moinho

Os moinhos de vento também serviram para moer grãos, como o trigo, para fazer alimentos e hoje em dia servem principalmente para bombear água para locais mais altos.

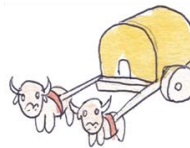
Utilizar a energia dos animais domesticados ajudou o ser humano a preparar a terra para cultivar alimentos, transportar cargas pesadas e ainda, se deslocar com maior velocidade.



Arado



Carroça

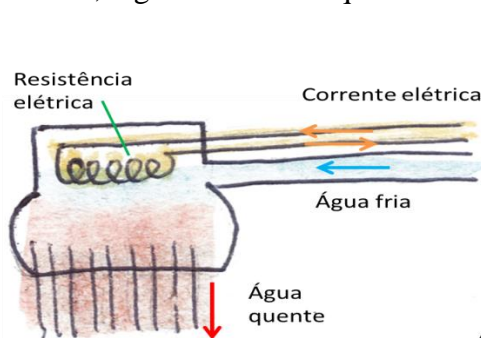


Carro-de-Boi

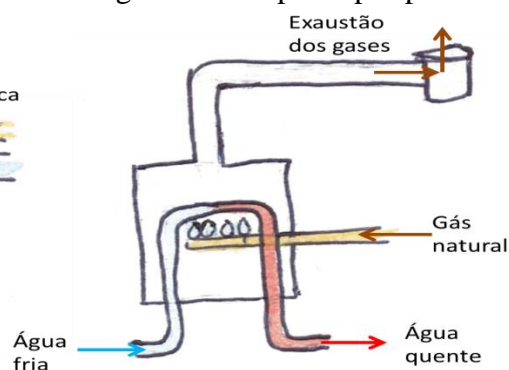


Biga

Hoje convivemos com várias formas de energia, que utilizamos na nossa vida diária. Na sua casa tem a geladeira, a televisão, as lâmpadas, o seu brinquedo a pilha - todos precisam de energia para funcionar. Uma pipa no ar está utilizando a energia do vento, uma panela no fogão cozinhando alimentos está utilizando a energia do fogo, uma criança correndo está usando a energia dos alimentos que ela ingeriu e a televisão usa energia elétrica para que possamos assistir a nossos filmes e desenhos favoritos. Portanto, atenção ao seu dia a dia: você mesmo poderá descobrir outras formas de utilização da energia. Quando tomamos banho quente, também usamos energia para aquecer a água, seja a eletricidade para o chuveiro elétrico, o gás natural do aquecedor ou a energia do sol captada por painéis no telhado.

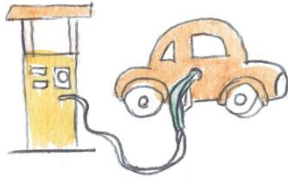


Chuveiro elétrico



Aquecedor a gás natural

Todos os carros precisam de energia para funcionar. O ônibus, o transporte escolar, o navio, o avião, todos precisam de uma **forma de energia**. Essa energia vem dos **combustíveis** (leia mais em **O que são combustíveis**).



Talvez você já tenha visto um carro sendo abastecido com gasolina, álcool (etanol) ou mesmo gás (GNV – Gás Natural Veicular) num posto de combustíveis.



Ah! A sua bicicleta também precisa de energia: a sua energia, que você obtém dos alimentos.

Observando todos esses tipos de energia a nossa volta, podemos agora entender o conceito de energia do dicionário: “energia é a capacidade de um sistema de realizar trabalho”. “Trabalho” significa deslocar, rodar, transformar. A Ciência nos ensina que a energia existe em grande quantidade no universo e que ela não aumenta nem diminui, mas passa por muitas transformações.

Então, a **energia** é muito importante para a nossa sobrevivência e conforto e é parte da história da humanidade, que ao longo dos tempos vem aprimorando as formas de transformá-la e utilizá-la a seu favor. Mas nesses processos de **transformação de energia**, quase sempre causamos algum impacto ambiental, ou seja, prejudicamos a flora, a fauna ou pessoas, produzimos resíduos (lixo) ou corremos o risco de esgotar um recurso natural (acabar com florestas, por exemplo). Por isso, nós temos a responsabilidade de cuidar para que a energia não seja mal utilizada ou desperdiçada.

Fonte: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/o-que-e-energia>

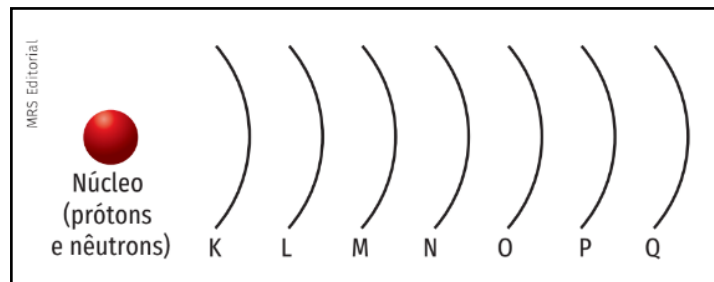
ANEXO B

TESTE DE SONDAGEM

1- O ilustre físico dinamarquês Niels Bohr aperfeiçoou o modelo atômico de Rutherford e estabeleceu um modelo a partir de seus próprios postulados, que estão relacionados a seguir. Mas **ATENÇÃO**, alguns estão transcritos de forma incorreta.

Em cada questão abaixo, assinale, **(V)** para as alternativas verdadeiras e **(F)** para as alternativas falsas:

- a) () Bohr estabeleceu em sua teoria atômica que os elétrons giram em 7 órbitas circulares denominadas níveis ou camadas ao redor do núcleo, como mostra a ilustração.



- b) () A camada Q é a mais energética.
- c) () Quando o núcleo recebe energia, salta para um nível mais externo.
- d) () Se um elétron passa do estado A para o estado B, recebendo X unidades de energia, quando voltar de B para A devolverá X unidades de energia na forma de ondas eletromagnéticas.
- e) () Quando um elétron passa de um estado menos energético para outro mais energético, devolve energia na forma de ondas eletromagnéticas.
- f) () Quando um elétron absorve certa quantidade de energia, salta para uma órbita mais energética.
- g) () Quando ele retorna à sua órbita original, libera a mesma quantidade de energia, na forma de onda eletromagnética.
- h) () Um elétron libera energia afastando-se do núcleo. Ao absorver energia, retorna para seu local anterior.
- i) () Núcleo e elétrons se repelem mutuamente.
- j) () Um elétron só pode assumir determinados valores de energia, que correspondem às órbitas permitidas, tendo, assim, determinados níveis de energia ou camadas energéticas.

- k) () Um elétron pode absorver energia de uma fonte externa somente em unidades discretas, chamadas de quanta, ou quantum no singular.
- l) () A frequência mínima da radiação incidente para que o efeito fotoelétrico seja observado depende da constituição química do material.
- m) () A energia de cada fotoelétron ejetado no processo depende da intensidade da radiação incidente.
- n) () A quantidade de fotoelétrons ejetados no processo depende da intensidade da radiação eletromagnética incidente.
- o) () O efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.

2- (SSA/2015-16) Analise a seguinte charge:



Disponível em: <http://hquimica.webnode.com.br/> Acesso em: junho/2015

As estudantes Eugênia e Lolita estão falando, respectivamente, sobre os modelos atômicos de

- a) () Dalton e Thomson.
- b) () Dalton e Rutherford-Bohr.
- c) () Thomson e Rutherford-Bohr.
- d) () Modelo Quântico e Thomson.
- e) () Rutherford-Bohr e Modelo Quântico.

3- Quais os modelos melhor representa o comentário do professor de Eugênia e Lolita “esqueça vamos pensar em energia”

- a) () Dalton e Thomson.
- b) () Dalton e Rutherford-Bohr.

- c) () Thomson e Rutherford-Bohr.
 d) () Modelo Quântico e Thomson.
 e) () Rutherford-Bohr e Modelo Quântico.

4- Analise a seguinte charge:



Disponível em:

http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda_mais/jurema/ficha_dualidadeonda.htm Acesso

em: novembro/2018

Explique o diálogo acima.

5) Sobre o seu conhecimento em relação ao conteúdo deste teste de sondagem. Responda você considera que:

- a) () Tem pouco conhecimento.
 b) () Tem conhecimento mediano
 c) () Tem muito conhecimento.
 d) () Não tem nenhum conhecimento.

Fonte:

BOCAFOLI, Francisco. Exercícios de vestibulares com resolução comentada sobre Efeito Fotoelétrico. **Física e Vestibular**. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-moderna/efeito-fotoeletrico-2/exercicios-de-vestibulares-com-resolucao-comentada-sobre-efeito-fotoeletrico/#:~:text=I%20%E2%80%93%20o%20efeito%20fotoel%C3%A9trico%20s%C3%B3,eletromagn%C3%A9tica%20que%20atinge%20a%20placa>. Acesso em: 03 jul. 2021.

EXERCÍCIOS sobre átomo de Bohr. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-quimica/exercicios-sobre-Atomo-bohr.htm#questao-2>. Acesso em: 03 jul. 2021.

EXERCÍCIOS sobre modelo atômico de Bohr. **Mundo Educação**. Disponível em: <https://exercicios.mundoeducacao.uol.com.br/exercicios-quimica/exercicios-sobre-modelo-atomico-bohr.htm#:~:text=Um%20el%C3%A9tron%20s%C3%B3%20pode%20assumir,quanta%20ou%20quantum%20no%20singular>. Acesso em: 03 jul. 2021.

Exercícios. **Stoodi**. Disponível em: <https://www.stoodi.com.br/exercicios/puc-rs/2016/questao/analise-as-afirmativas-abaixo-referentes-ao-efeito-fotoeletrico-i-a/>. Acesso em: 03 jul. 2021.

SANTOS, Rafael. Dualidade-onda: uma sequência didática para o ensino médio utilizando poema “Ser ou não Ser” de Antônio Gedeão. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/14937/T2017_Rafael%20dos%20Santos_Produto-Manual-Professor.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 03 jul. 2021.

UPE. Processo de ingresso UPE. 2016. Disponível em: <https://processodeingresso.upe.pe.gov.br/processo2016/arquivos/ssa1/PROVA-SSA1-2DIA.pdf>.

VÁRIOS, Autores. Física: Caderno 4: manual do professor. Belo Horizonte: Editora Educacional, 2018, Rede Pitágoras.

ANEXO C

A evolução do conceito de fóton

Sendo a luz constituída dessas partículas diminutas, podemos nos perguntar por que só neste século nos demos conta disso? O homem conhece a luz e seus efeitos desde priscas eras. A luz é o fenômeno primeiro. Nós nos damos conta da sua existência já ao nascer. Além disso, ela participa, em vários estágios do ciclo da vida.

É claro que ela despertava a curiosidade dos antigos. A formação de sombras e penumbras ocorre no dia-a-dia de todos os seres humanos. Os eclipses já eram utilizados alguns séculos antes de Cristo como um meio de determinar a distância da Terra até a Lua. Tales de Mileto, seis séculos antes de Cristo, já aprendera o método de triangulação para medir distâncias, inferindo a altura da Pirâmide de Gizé a partir da sombra projetada no solo pela pirâmide. Erastótenes utilizou a sombra de uma haste fincada no solo (um gnomon) para determinar o raio da Terra.

As sombras e penumbras podem ser explicadas pelo Princípio da Propagação Retilínea da Luz. Princípio esse já enunciado pelos gregos e aparece na obra de Euclides (300 a.C.)

Outros fenômenos associados à luz, como a reflexão e a refração, já eram conhecidos na Antigüidade. Fala-se muito em instrumentos utilizados com muita engenhosidade por Arquimedes na defesa de Siracusa. Dentre eles estavam alguns espelhos para provocar confusão nas hostes inimigas (os romanos).

A suspeita de que a luz tinha velocidade finita começou provavelmente com Galileu. Na época de Newton, ele já tinha conhecimento da determinação da sua velocidade feita por Roemer. De acordo com ele, a luz levaria sete minutos para passar do Sol à Terra. Esses fatos, bem como outros, poderiam ser explicados se a luz fosse composta por partículas. Por isso, Newton elaborou uma teoria para a luz, cujo ponto básico é a sua constituição por corpúsculos de luz. O livro de Newton começa definindo: Por raios de luz entendo as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas.

Newton se interessou pela óptica antes que pela mecânica. Publicou seu primeiro trabalho em óptica aos 29 anos. Preocupou-se com um fenômeno que naquela época era célebre: o fenômeno das cores. Esse fenômeno, objeto do trabalho de decomposição da luz em diversas cores ao passar por um prisma, já fora detalhadamente descrito por ele aos 23 anos, em 1666. No seu livro "Óptica" Newton afirma que "é evidente que a luz consiste em partes"

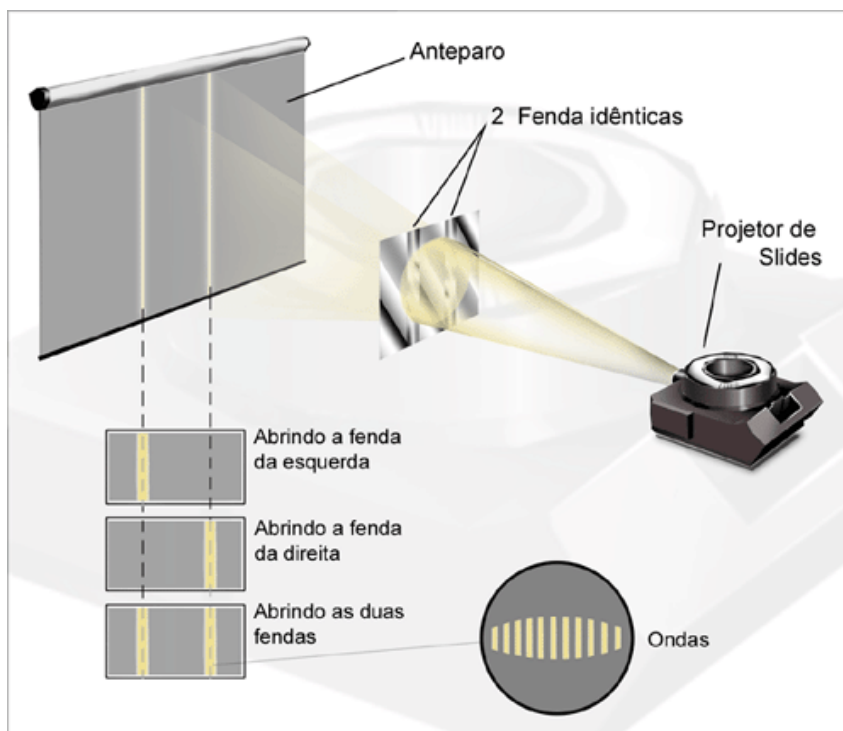
e se utiliza de termos como "corpos minúsculos" e "partículas de luz". Muitos físicos, de valor excepcional, se opuseram à teoria de Newton. Dentre eles, Robert Hooke e Christiaan Huyghens. A ideia dominante era a de que a luz era a pressão ou o movimento de alguma perturbação que atravessa um determinado meio. Muito próximo, portanto, do que hoje denominamos de ondas.

A ideia da teoria corpuscular da luz prevaleceu (a despeito da oposição) durante o século XVII. Em parte, graças ao prestígio de Newton e em parte por falta de evidências contrárias à teoria de Newton.

A teoria de Newton sofreu, no entanto, um grande abalo com os trabalhos de Young e Fresnel a respeito do fenômeno da interferência da luz. A teoria de Newton não é compatível com esse fenômeno.

Podemos ilustrar essa questão imaginando um dispositivo que contém duas fendas (elas estão a uma certa distância uma da outra) com um anteparo a uma certa distância delas. Podemos fazer três experiências. Em cada uma delas enviamos um feixe de partículas.

- a) Manter a fenda inferior fechada.
- b) Manter a fenda superior fechada.
- c) Manter as duas fendas abertas.



O resultado de Young e Fresnel mostrava que a luz exibia interferências. As ondas, ao se superporem (com as duas fendas abertas), podem produzir máximos (quando ocorre

interferência construtiva) ou mínimos (interferência dita destrutiva). As experiências de Young e Fresnel levaram à Teoria Ondulatória da Luz. A luz seria constituída por vibrações (oscilações de campos elétricos e magnéticos, como se viu depois) transversais à direção de propagação.

A partir dos trabalhos de Young e Fresnel, a teoria de Newton caiu no esquecimento. Foi de outra forma retomada depois do trabalho pioneiro de Einstein, em (), sobre o efeito fotoelétrico.

Esse efeito pode ser resumido assim. Podemos arrancar elétrons de uma placa se fizermos incidir luz sobre ela. Essa é a origem do nome "fotoelétrico". Sabemos que, para arrancar um elétron, devemos despende uma certa quantidade de energia, pois os elétrons estão presos (ligados) à placa.

Se a luz não fosse constituída por corpúsculos, haveria a necessidade de um intervalo de tempo entre a luz incidir e o elétron sair. Isso porque se acreditava na necessidade de o elétron acumular energia vinda da radiação luminosa. Ademais, qualquer onda eletromagnética serviria (dizemos de qualquer comprimento de onda). Algumas seriam apenas mais eficientes do que outras. Isto é, arrancariam em menor tempo do que outras.

Duas surpresas ocorreram. A primeira é a de que só radiação com uma frequência acima de um certo valor podia arrancar elétrons. E a segunda é a de que, para essa radiação, não havia a necessidade de se esperar nada. Einstein então, em 1905, interpretou, corretamente, que o efeito fotoelétrico com essas características só poderia ser explicado se a luz fosse composta por partículas (denominadas por ele de quanta de luz), denominadas hoje de fótons. Os fótons observados deram razão a Einstein. Desde então as evidências têm-se acumulado em favor da teoria corpuscular da luz, que é a teoria vigente.

Como todas as partículas, os fótons exibem uma natureza dualística: onda e partícula. Os fótons em alguns fenômenos exibem mais claramente a natureza ondulatória (como na interferência de Young) e em outros se torna mais evidente a natureza de partículas (como no efeito fotoelétrico). Hoje, com o dualismo onda-matéria podemos conciliar a ideia de Newton com os resultados de Young e de Fresnel.

A confirmação inequívoca de que a luz exhibe a natureza corpuscular veio com a descoberta, em 1923, do efeito Compton (em homenagem ao seu descobridor, Arthur Compton). Nesse efeito, o fóton exhibe um comportamento típico de bola de bilhar. Isto é, a colisão entre o fóton e um elétron obedecer às regras de colisão entre partículas.

ANEXO D

Atividade Energia dos Fótons

1 - A tabela abaixo mostra as frequências para três tipos distintos de ondas eletromagnéticas que irão atingir uma placa metálica cuja função trabalho corresponde a 4,5eV. A partir dos valores das frequências podemos afirmar que:

ONDA	FREQUÊNCIA (Hz)
A	$2,5 \cdot 10^{17}$
B	$3,0 \cdot 10^{18}$
C	$5,0 \cdot 10^{18}$
D	$4,5 \cdot 10^{15}$

Dados: Considere a constante de Planck como $h = 4,0 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$, e a velocidade da luz no vácuo $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

- a) A onda C possui frequência menor que a frequência de corte.
- b) A energia cinética do fotoelétron atingido pela onda D é de 13,5eV.
- c) O efeito fotoelétrico não ocorrerá com nenhuma das ondas.
- d) A razão entre a frequência de corte e a frequência da onda A é 0,085.
- e) O comprimento de onda referente à onda B é $2,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

2 - Determine a frequência de corte para um metal cuja função trabalho seja 2,3eV. Dados: Considere a constante de Planck como $h = 4,0 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

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

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

4 -(UFC) A função trabalho de um dado metal é 2,5 eV.

a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal incide luz de comprimento de onda $\lambda = 6,0 \times 10^{-7} \text{ m}$. A constante de Planck é $h \approx 4,2 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ e a velocidade da luz no vácuo é $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$.

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

Fonte: HELERBROCK, Rafael. "Efeito fotoelétrico"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/o-efeito-fotoeletrico.htm>. Acesso em 12 de agosto de 2021.

ANEXO E

EXPERIMENTO - PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO DE LED

1. Introdução:

Este experimento tem por objetivo reproduzir uma pequena aplicação do fóton, através do fenômeno do efetivo fotovoltaico presente no procedimento de transformar a energia solar em energia elétrica por meio dos *leds*.

2. Materiais:

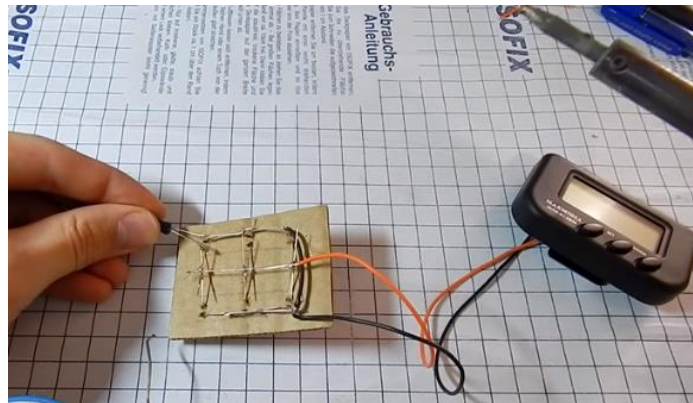
- 01 pedaço de papelão de 5 cm x 6 cm;
- 02 pedaço fino de 15 cm de comprimento;
- 06 leds de alto brilho;
- 01 capacitor de 10 uF por 50 v;
- 01 ferro de solda;
- 01 pedaço de solda de estanho;
- 01 tesoura.
- 01 um relógio pequeno ou uma calculadora, ou um multímetro.

3. Procedimentos:

- Iniciamos fazendo as marcações das posições dos *leds* no pedaço de papelão, dividimos igualmente o espaço em duas colunas;
- Em seguida fazemos furos para colocar os *leds* de forma que este fique com cada perna isolada, precisamos pares de buracos para cada *led*, e assim colocamos três *leds* cada coluna no papelão;
- Introduzimos as pernas do *led* no furo do papelão de modo que a perna positiva do *led* fique posicionada no buraco na parte interna e perna negativa fique no buraco externo de cada coluna, a perna maior é identificado como positiva e perna menor como negativa;
- Prosseguindo soldamos na direção horizontal a perna positiva com outra positiva, e no sentido vertical também soldamos perna negativa com outra negativa, dobrando as pontas sempre no sentido interna;

- Continuando descasamos a pontas dos fios finos, e soldamos o primeiro fio em todos os três pontos que soldamos as pernas positivas, e logo após soldamos outro fio ligado a uma perna negativa e uma coluna com outra perna negativa da outra coluna, com um único fio.
- Depois soldamos em nos terminais do compartimento de bateria ou pilha de um relógio ou calculadora os fios que já fixamos nos *led*, positivo e negativo respectivamente, conforme os terminais indicados para encaixe da pilha ou bateria.
- Para finalizar em uma das opostas onde *led* não receberam ligações de soldas, soldamos o capacitor, a perna positiva deste na perna positiva do *led* e negativa na parte negativa respectivamente.
- Agora está tudo pronto, basta apontar o painel de *leds* para o sol e observar o funcionamento do equipamento.

A figura abaixo ilustra como ficará a montagem do experimento depois de pronto.



Vídeo: “Como Fazer uma Placa Painel Solar Fotovoltaica com Leds Fácil Tutorial”
Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=sT-pxIxRKgI>

QUESTÕES

1. Resultados:

a) Relate o que aconteceu com cada experimento.

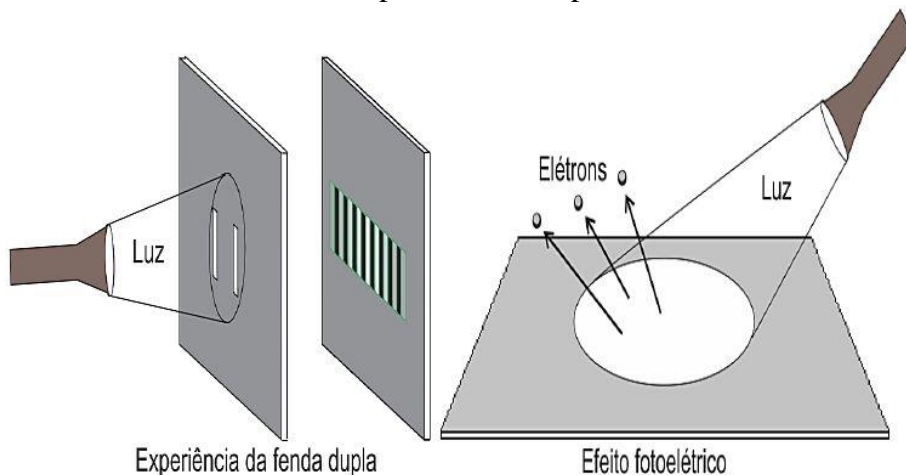
b) Descreva o que foi observado nesse experimento.

2. Conclusão:

ANEXO F

Atividades o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Fotovoltaico

1- (UFSC 2017) A natureza da luz é um tema que ocupa os estudiosos desde a antiguidade. As teorias corpuscular e ondulatória buscam a preferência de cientistas famosos para explicar fenômenos importantes da ciência. No entanto, após o experimento da fenda dupla de Thomas Young, em 1802, e da explicação do efeito fotoelétrico realizada por Albert Einstein, em 1905, a ideia da dualidade onda/partícula da luz foi aceita pela comunidade científica. A experiência da fenda dupla consiste em fazer a luz passar por duas fendas em uma placa e observar o padrão de franjas (listras) claras e franjas (listras) escuras. Já o efeito fotoelétrico consiste em incidir luz sobre uma placa metálica para arrancar elétrons.



Considerando o que foi exposto acima, é correto afirmar que:

- 1) o efeito fotoelétrico foi explicado por Einstein pela teoria ondulatória da luz.
- 2) a formação do padrão de franjas claras e franjas escuras no experimento da fenda dupla de Young foi explicada pela teoria corpuscular da luz, em que as partículas da luz (fótons) sofrem o fenômeno de interferência.
- 4) no efeito fotoelétrico, para arrancar os elétrons da placa, a luz deve ser formada por partículas (fótons) com uma energia mínima que é proporcional à frequência da luz.
- 8) tanto a teoria corpuscular quanto a teoria ondulatória da luz explicam o padrão de franjas claras e franjas escuras no experimento da fenda dupla.
- 16) no experimento de Young, a obtenção do padrão de franjas claras e franjas escuras ocorre por meio do fenômeno de interferência construtiva e interferência destrutiva das ondas, logo a explicação do fenômeno é ondulatória.
- 32) os fenômenos de interferência e difração são mais bem representados pela teoria ondulatória da luz, enquanto o fenômeno do efeito fotoelétrico é mais bem representado pela teoria corpuscular da luz.

2- (UDESC 2010) Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.

I – A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.

II – A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.

III – Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- B) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- C) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- D) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- E) Todas as afirmativas são verdadeiras.

3- (UDESC 2008) Foi determinado experimentalmente que, quando se incide luz sobre uma superfície metálica, essa superfície emite elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e foi explicado em 1905 por Albert Einstein, que ganhou em 1921 o Prêmio Nobel de Física, em decorrência desse trabalho. Durante a realização dos experimentos desenvolvidos para compreender esse efeito, foi observado que:

1. os elétrons eram emitidos imediatamente. Não havia atraso de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons.
2. quando se aumentava a intensidade da luz incidente, o número de elétrons emitidos aumentava, mas não sua energia cinética.
3. a energia cinética do elétron emitido é dada pela equação $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = hf - W$, em que o termo hf é a energia cedida ao elétron pela luz, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz incidente. O termo W é a energia que o elétron tem que adquirir para poder sair do material, e é chamado função trabalho do metal.

Considere as seguintes afirmativas:

- I - Os elétrons com energia cinética zero adquiriram energia suficiente para serem arrancados do metal.
- II - Assim como a intensidade da luz incidente não influencia a energia dos elétrons emitidos, a frequência da luz incidente também não modifica a energia dos elétrons.
- III - O metal precisa ser aquecido por um certo tempo, para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- B) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- C) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- D) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- E) Somente a afirmativa I é verdadeira.

4- (URCA 2015/1) O chamado efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por um metal quando um feixe de luz ou radiação eletromagnética incide sobre ele. A física clássica é inadequada para explicá-lo/descrevê-lo. O físico Albert Einstein teorizou em 1905 que a luz ou qualquer radiação eletromagnética se propaga como se fosse um fluxo de “grãos” (os “quanta” ou “fótons”) o que posteriormente foi confirmado em vários laboratórios; estes fótons são partículas energéticas sem massa cada qual com uma energia $E=hf$, onde h é uma

constante universal (a constante de Planck) e f é a frequência da radiação correspondente. Suponha que dois feixes de radiação, I e II, com frequências $f(I)$ e $f(II)$ respectivamente incidem num metal e são absorvidos totalmente por ele, que emite então os “fotoelétrons”. Seja $E(I)$ a energia de cada fóton do feixe I e $E(II)$ a energia de cada fóton do feixe II. Se $f(I)=2f(II)$, então:

- A) $E(I)=E(II)$.
- B) $E(I)=2E(II)$.
- C) $E(I)=3E(II)$.
- D) $E(I)=4E(II)$.
- E) $E(I)=5E(II)$.

5- (UFPR 2017 - C. Gerais) Entre os vários trabalhos científicos desenvolvidos por Albert Einstein, destaca-se o efeito fotoelétrico, que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1921. Sobre esse efeito, amplamente utilizado em nossos dias, é correto afirmar:

- A) Trata-se da possibilidade de a luz incidir em um material e torná-lo condutor, desde que a intensidade da energia da radiação luminosa seja superior a um valor limite.
- B) É o princípio de funcionamento das lâmpadas incandescentes, nas quais, por ação da corrente elétrica que percorre o seu filamento, é produzida luz.
- C) Ocorre quando a luz atinge um metal e a carga elétrica do fóton é absorvida pelo metal, produzindo corrente elétrica.
- D) É o efeito que explica o fenômeno da faísca observado quando existe uma diferença de potencial elétrico suficientemente grande entre dois fios metálicos próximos.
- E) Corresponde à ocorrência da emissão de elétrons quando a frequência da radiação luminosa incidente no metal for maior que um determinado valor, o qual depende do tipo de metal em que a luz incidiu.

6- (UFPR 2015 - C. Gerais) No final do século XIX e início do século XX, a Física se defrontou com vários problemas que não podiam ser explicados com as teorias e modelos aceitos até esse período. Um desses problemas consistia em explicar corretamente o fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Sobre esse efeito, considere as seguintes afirmativas:

1. Esse efeito foi observado primeiramente por Henrich Hertz e sua explicação correta foi publicada em 1905 por Niels Bohr.
2. A explicação correta desse efeito utilizou uma ideia de Max Planck, de que a luz incidente não poderia ter energia com um valor qualquer, mas sim uma energia dada por múltiplos inteiros de uma porção elementar.
3. Segundo o modelo proposto, cada fóton, ao colidir com um elétron, transfere-lhe uma quantidade de energia proporcional a sua velocidade.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
- B) Somente a afirmativa 2 é verdadeira.
- C) Somente a afirmativa 3 é verdadeira.
- D) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- E) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.

7 - A geração de eletricidade a partir da luz do sol pode ser obtida de forma direta ou indireta, cujas tecnologias são, respectivamente,

- a) aparelhos radioativos e sensores isotérmicos
- b) células fotovoltaicas e aquecimento de líquidos em tubulações
- c) coletores solares e aquecimento da água
- d) geradores térmicos e correntes de ar quente
- e) sensores de calor e leitura de raios infravermelhos

Fonte:

<https://www.infoescola.com/fisica/dualidade-onda-particula/exercicios/>

<https://www.infoescola.com/fisica/efeito-fotoeletrico/exercicios>

ANEXO G

Atividade Construção do Mapa Conceitual sobre o Estudo do Fóton e Algumas de Suas Aplicações

Prezado aluno(a), com base nos conhecimentos adquiridos durante esta sequência didática faça o Mapa Conceitual.

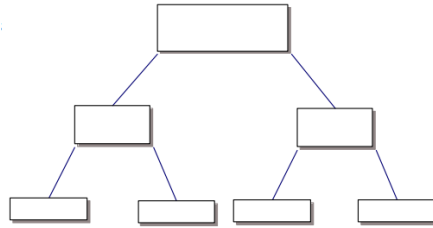


Figura – Modelo de diagrama de mapa conceitual.

Fonte: https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro_Mapas_conceituais_e_Diagramas_V_COMPLETO.pdf