

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

ERICK DE OLIVEIRA FEITOSA

**INTRODUÇÃO A CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SEMICONDUTORES DENTRO DA METODOLOGIA DE
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.**

JUIZ DE FORA

2021

ERICK DE OLIVEIRA FEITOSA

**INTRODUÇÃO A CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SEMICONDUTORES DENTRO DA METODOLOGIA DE
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Giovana Trevisan Nogueira

JUIZ DE FORA
2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Feitosa, Erick de Oliveira.

Introdução a Conceitos de Física Moderna a Partir de Experimentos com Semicondutores Dentro da Metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos / Erick de Oliveira Feitosa. -- .

207 p. : il.

Orientadora: Giovana Trevisan Nogueira

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, .

1. Semicondutores. 2. Ensino de Física Moderna. 3. Aprendizagem Baseada em Projetos. 4. Teoria de Bandas. I. Nogueira, Giovana Trevisan, orient. II. Título.


ERICK DE OLIVEIRA FEITOSA

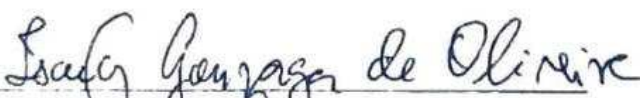
**INTRODUÇÃO A CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SEMICONDUTORES DENTRO DA METODOLOGIA
DE APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.**

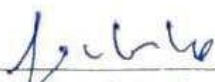
Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 24 de setembro de 2021

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Giovana Trevisan Nogueira - Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora


Prof. Dr. Isafy Gonzaga de Oliveira – Examinador 1
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro


Prof. Dr. José Luiz Mathcus Valle – Examinador 2
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedicatória:

Dedico este trabalho a todos os excluídos, que, por decisão de uma minoria, continuam sendo marginalizados e massacrados nas áreas da educação, da aprendizagem, do mercado, do trabalho, da saúde etc. Bem como, às milhares de vidas que foram perdidas em meio a uma pandemia terrível. E, neste momento, a minha profunda gratidão, admiração e respeito aos trabalhadores da área de saúde.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste material se deu principalmente por aqueles, que de forma direta ou indireta, colaboraram para sua concretização. Foi uma experiência que se tornou grande justamente por ter sido dividida.

Quero registrar meus sinceros agradecimentos à Prof.^a. Dr.^a. Giovana Trevisan Nogueira, por suas valiosas orientações, sem as quais dificilmente esse trabalho teria se concretizado;

Ao professor Marlon, que com seu profissionalismo, respeito e generosidade, possibilitou-me melhoras significativas na escrita.

À professora Dr.^a Eveline Cardoso, por suas impagáveis contribuições e revisões. Muito obrigado, minha amiga.

Ao professor e amigo Silvio Branco Wiesenthal-Branco, pessoa que muito admiro e respeito e que, direto de Israel, colaborou com o *abstract*.

A todos os colegas com os quais tive convivência na UFJF, especialmente Abílio Bittar, Anderson Kneipp, Antônio Amaral, Felipe Gonçalves, Leonardo Peres e Wallace Morais.

Aos professores que aceitaram o convite e que participaram das oficinas.

À CAPES pelo apoio financeiro, por meio da bolsa concedida;

À UFJF e ao IF Sudeste de Minas, aqui representados por seus docentes, funcionários e discentes, por terem me recebido de braços tão abertos;

À FAETEC pelo apoio;

A esse povo mineiro que tanto amo e respeito.

Em particular, ao meu filho João Victor Feitosa, minha inspiração e orgulho, e ao grande amor da minha vida, minha esposa Cláudia Feitosa, que nunca deixou de me apoiar e soube como ninguém compreender minhas angústias, aflições e ausências, confortando-me sempre com um olhar carinhoso e uma palavra de incentivo.

Finalmente, aos meus pais, que possibilitaram tudo isto.

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

A todos, meu muito obrigado.

RESUMO

Os conceitos de Física apresentados nas escolas de ensino médio geralmente limitam-se aos conhecimentos elaborados até meados do século XIX, contrariando a tendência mundial de que a Física Moderna e Contemporânea faça parte dos currículos da educação básica para uma melhor compreensão do mundo tecnológico que nos cerca (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009). Dentro desse contexto, apresentamos uma proposta para o estudo de conceitos de Física Moderna e Contemporânea, a partir da compreensão do funcionamento de materiais semicondutores, tendo como base a metodologia da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) alinhada à teoria sociointeracionista de Vygotsky. Assim, para que o projeto fosse executado em consonância com a metodologia adotada, segundo a qual o aluno é visto como o protagonista do processo de ensino-aprendizagem e o professor como mediador, propor-se-ia aos alunos, como tema motivador e, ao mesmo tempo, desafiador, a construção de placas solares caseiras de máxima eficiência, considerando-se não apenas a obtenção de maior tensão elétrica com o menor uso de LEDs, mas também um balanço entre a tríade corrente elétrica, tensão gerada e número de LEDs utilizados. Em razão das restrições impostas pela pandemia do novo coronavírus, o produto educacional idealizado precisou ser adaptado para tornar mais viável sua aplicação presencial e remota. Dessa forma, foi reformulado em formato de minicurso para professores de Física do ensino médio, composto por oficinas que visavam a ofertar aos participantes uma breve introdução a conceitos da Física Moderna e Contemporânea a partir da compreensão de fenômenos envolvendo semicondutores, além de propor a prática da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). Assim, após a identificação dos conhecimentos prévios dos participantes – um grupo de professores responsáveis por aproximadamente três mil alunos – e da leitura e discussão sobre os conceitos de semicondutores e teoria de bandas, propôs-se a construção de circuitos com LEDs e resistores de segurança, utilizando o simulador *Crocodile*. Nessa etapa, promoveram-se discussões a respeito da associação dos LEDs, da polarização direta e inversa, do cálculo do resistor de segurança, além da análise das tensões de corte para os LEDs vermelho, amarelo e verde. De posse do esquema elétrico, cada participante procedeu, então, à finalização do circuito do produto. Na sequência, foram realizadas abordagens experimentais propostas para cada oficina. Os docentes envolvidos responderam a um questionário do *Google Forms*, cuja análise dos resultados permitiu concluir que tanto o produto educacional quanto as propostas experimentais são viáveis e de fácil aplicação, adequando-se bem à utilização como instrumentos de ensino e aprendizagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea. Os professores reconheceram que o protagonismo dado a cada participante durante as atividades foi essencial para estimular

o desejo de solucionar o problema proposto inicialmente, demonstrando ter adquirido conhecimentos capazes de promover um ensino mais seguro dos temas explorados. Por fim, sendo o ensino-aprendizagem uma via de mão dupla, destaca-se que os sujeitos participantes, com suas experiências profissionais, também contribuíram de forma significativa para ajustes e complementos que aprimoraram a proposta em foco neste trabalho.

Palavras-chave: Semicondutores. Ensino de Física Moderna. Aprendizagem Baseada em Projetos. Teoria de Bandas.

ABSTRACT

The concepts of Physics presented at secondary schools are usually limited to the accumulated knowledge that had been elaborated until the mid-XIX century in contrast to the world trend in which Modern and Contemporary Physics is an integral part of the syllabus of basic education for a better understanding of the technological world that surrounds us (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009). Within this context, we present the proposal for the study of Modern and Contemporary Physics based on the comprehension of the functionality of semiconductor materials, having at its core the methodology of Project-Based Learning (PBL) aligned with the theory of the socio-interactionist Vygotsky. Thus for the execution of the project, in accordance with the adopted methodology in which the student is seen as the protagonist of the process of teaching-learning and the teacher as a mediator, we recommended to the student, for its motivational theme as well as its challenge, the construction of home solar panels for maximum efficiency, considering not only the production of higher electric tension with the least usage of LED, but also the balance among the triad of electrical current, the generated tension and the number of LED lights used. Due to the restrictions imposed by the pandemic of Covid 19 the envisaged educational project needed to be adapted as to become more viable in its remote and face-to-face applications. In this way, the project was reformulated into mini-courses for teachers of Physics at secondary schools and it was composed of workshops aimed at offering the participants a brief introduction to the concepts of Modern and Contemporary Physics in the understanding of phenomena involving semiconductors as well as the application of the practices of Project Based Learning (PBL). So, after assessing the prior knowledge of the participants – a group of teachers responsible for approximately three thousand students – the reading and discussion on the concepts of semiconductors and band theory, we proposed the construction of circuits utilizing LEDs and security resistors, using the simulator *Crocodile*. At this stage, we promoted discussions on the association of LEDs, the direct and inversed polarization, the calculations of the security resistor, as well as tension cuts for LEDs red, yellow and green. With the electric schematics in hands, each participant proceeded then to the finalization of the circuit of the product. In the sequence, there was the completion of the experimental approaches proposed to each workshop. The teachers involved then answered a questionnaire in Google Forms, whose result analysis LED to the conclusion that both the educational product as well as the experimental proposals are viable and of easy application, well-adapted to its use as instruments of teaching and learning of topics of Modern and Contemporary Physics. The teachers recognized that the protagonism given to each participant during activities was essential to stimulate the desire to

solve the problem presented initially, demonstrating to have acquired the necessary knowledge in order to promote a more secure teaching of the theme explored. As a final consideration, bearing in mind that the teaching-learning process is a two-way street, we highlight the involvement of the participants with their professional experience that also contributed significantly towards the adjustments and complementation which improved the proposition at the heart of this work.

Keywords: Semiconductors, Teaching of Modern Physics, Project Based Learning, Band Theory

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DESENHO FEITO POR ISAAC NEWTON.....	32
FIGURA 2 - ESPECTRO SOLAR OBSERVADO DA TERRA NA FAIXA DO VISÍVEL EM (NM).....	33
FIGURA 3 - DESENHO DO ESPECTRO SOLAR FEITO POR FRAUNHÖFER EM 1814 COMPRIMENTO DE ONDA DO VERMELHO AO VIOLETA.....	33
FIGURA 4 - ESPECTRO SOLAR EM ALTA RESOLUÇÃO	34
FIGURA 5 - ESPECTRO DE ABSORÇÃO E EMISSÃO DE LUZ.....	34
FIGURA 6 - ESPECTRO DE EMISSÃO SEGUIDO POR UM ESPECTRO DE ABSORÇÃO, AMBOS DO HIDROGÊNIO	35
FIGURA 7 - ESPECTROS DE EMISSÃO HIDROGÊNIO, HÉLIO, NEÔNIO E MERCÚRIO.	36
FIGURA 8 - ESPECTROS DE ABSORÇÃO (LINHAS ESCURAS) E DE EMISSÃO (LINHAS CLARAS DO SÓDIO (Na)).....	37
FIGURA 9 - DIFERENÇA ENTRE ESPECTRO DE EMISSÃO DE LINHA E ESPECTRO DE EMISSÃO DE BANDA.....	37
FIGURA 10 - GRÁFICO DA INTENSIDADE X COMPRIMENTOS DE ONDA	38
FIGURA 11 - A CATÁSTROFE DO ULTRAVIOLETA.....	40
FIGURA 12 - DISPOSITIVO DO EFEITO FOTOELÉTRICO.	41
FIGURA 13- DISPOSITIVO SUBMETIDO A UMA DDP =0	42
FIGURA 14- DISPOSITIVO SUBMETIDO A UMA DDP >0	42
FIGURA 15 – GRÁFICO CORRENTE X TENSÃO.....	42
FIGURA 16 - DISPOSITIVO SUBMETIDO A UMA DDP >0	43
FIGURA 17 - GRÁFICO CORRENTE X TENSÃO.....	43
FIGURA 18 - GRÁFICO CORRENTE X TENSÃO PARA DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS.....	43
FIGURA 19 - GRÁFICO ENERGIA X FREQUÊNCIA.....	48
FIGURA 20 - ESQUEMA DO DESDOBRAMENTO DE UM NÍVEL DE ENERGIA DE SEIS ÁTOMOS, EM FUNÇÃO DA SEPARAÇÃO R ENTRE ÁTOMOS ADJACENTES.....	52
FIGURA 21 - FORMAÇÃO DE BANDAS NUM SÓLIDO.	52
FIGURA 22 - BANDAS DE ENERGIA PERMITIDA E BANDAS PROIBIDAS.....	53
FIGURA 23 - ESTRUTURA SIMPLIFICADA DAS BANDAS DE ENERGIA A 0 K	54
FIGURA 24 - REDE CRISTALINA DE SILÍCIO	56
FIGURA 25 – DOPAGEM DO TIPO N.....	58
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO DOS NÍVEIS DE ENERGIA EM SEMICONDUTORES EXTRÍNSECOS DO TIPO-N	58
FIGURA 27 - DOPAGEM DO TIPO P	59
FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DOS NÍVEIS DE ENERGIA EM SEMICONDUTORES EXTRÍNSECOS DO TIPO P.	60
FIGURA 29 - CRISTAL TIPO P	60
FIGURA 30 - CRISTAL TIPO N.....	60
FIGURA 31 - JUNÇÃO P-N.....	61
FIGURA 32 - JUNÇÃO P-N E A BARREIRA DE POTENCIAL.....	62
FIGURA 33 - JUNÇÃO P-N.....	62
FIGURA 34 - POLARIZAÇÃO DIRETA	63
FIGURA 35 - DIODO EM CONDUÇÃO	63
FIGURA 36 - POLARIZAÇÃO INVERSA	64
FIGURA 37 - GRÁFICO I X V - CURVA CARACTERÍSTICA DOS DIODOS.....	64
FIGURA 38 - RETIFICAÇÃO DA CORRENTE.....	65
FIGURA 39 - ABSORÇÃO DE LUZ	66

FIGURA 40 – REDE DE DIRAC	68
FIGURA 41 - GRÁFICO DE $F(Z)$, MOSTRANDO BANDAS PERMITIDAS (SOMBREADAS) SEPARADAS POR LACUNAS PROIBIDAS (ONDE $ F(Z) > 1$	70
FIGURA 42 - ENERGIAS PERMITIDAS PARA UMA FORMA POTENCIAL PERIÓDICA DE BANDAS ESSENCIALMENTE CONTÍNUAS	71
FIGURA 43- BANDAS DE ENERGIA E ENERGIA DE FERMI (E_F)	72
FIGURA 44 – KIT ORIGINAL	77
FIGURA 45 - PLANCKÔMETRO VERSÃO ORIGINAL.....	77
FIGURA 46 - PLANCKÔMETRO NA FUNÇÃO ABSORÇÃO – LED AZUL SENDO ILUMINADO PELA CANETA LASER VIOLETA.....	77
FIGURA 47 - PLANCKÔMETRO VERSÃO ADAPTADA	78
FIGURA 48- CÉLULA SOLAR COMERCIAL	83
FIGURA 49 - CONFECÇÃO DE UMA PLACA SOLAR.....	85
FIGURA 50 - EXPERIMENTO COM A PLACA SOLAR	85
FIGURA 51 - ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DAS PLACAS SOLARES.....	86
FIGURA 52 - CAIXAS PREVIAMENTE PERFURADAS.....	90
FIGURA 53 - ESQUEMA DO CIRCUITO DO PLANCKÔMETRO MODIFICADO.....	90
FIGURA 54 - OFICINA REMOTA.....	91
FIGURA 55 - OFICINA PRESENCIAL	91
FIGURA 56 - APRESENTANDO O PRODUTO EXPERIMENTAL.....	95
FIGURA 57 - PROFESSOR “G” NA OFICINA HÍBRIDA – PARTE PRESENCIAL	96
FIGURA 58 - CIRCUITO CRIADOS A PARTIR DO SIMULADOR PARA CÁLCULO DA CONSTANTE DE PLANCK	102
FIGURA 59 - CIRCUITO ELABORA A PARTIR DO SIMULADOR PARA ANÁLISE DA BARREIRA DE POTENCIAL	102
FIGURA 60 - CIRCUITOS ELABORADOS A PARTIR DO SIMULADOR PARA ANÁLISE DO CIRCUITO PARA POLARIZAÇÃO DIRETA E INVERSA	103
FIGURA 61 - PROFESSOR “B” CRIANDO OS CIRCUITOS NO SIMULADOR	120
FIGURA 62 - PROFESSOR “C” REALIZANDO O EXPERIMENTO DA CONSTANTE DE PLANCK EM DOIS MOMENTOS	120
FIGURA 63 - PROFESSOR “D” REALIZANDO O EXPERIMENTO DA CONSTANTE DE PLANCK	121
FIGURA 64 - PROFESSOR “E” MEDINDO O POTENCIAL DE CORTE DE UM DOS LEDS	121
FIGURA 65 - PROFESSOR “F” COMPARTILHANDO TELA – CONSTRUINDO CIRCUITOS NO SIMULADOR <i>CROCODILE</i>	122
FIGURA 66 - EXPLICANDO A ZONA DE DEPLEÇÃO EM UMA JUNÇÃO PN – PLATAFORMA <i>ZOOM</i>	122
FIGURA 67- A ESQUERDA O ENCONTRO PRESENCIAL E A DIREITA O ENCONTRO VIRTUAL.....	123
FIGURA 68 - PLANILHA FORNECIDA	124
FIGURA 69 - TABELA A SER PREENCHIDA NA PLANILHA	125
FIGURA 70 - IMAGEM RETIRADA DO VÍDEO: LED COMO GERADOR FOTOVOLTAICO	138
FIGURA 71 - IMAGEM RETIRADA DO VÍDEO: ACENDE OU NÃO?	139

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - AVALIAÇÃO DO MATERIAL DE APOIO	98
GRÁFICO 2 - AVALIAÇÃO DO MATERIAL DE APOIO	99
GRÁFICO 3 – GRÁFICO GERADO PELO PROFESSOR A - LED VERMELHO.....	100
GRÁFICO 4 - AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS EXPERIMENTOS	105
GRÁFICO 5 – CLASSIFICAÇÃO DAS PROPOSTAS EXPERIMENTAIS.....	105
GRÁFICO 6 - SELEÇÃO DOS EXPERIMENTOS PROPOSTOS	106

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DA ABP	28
QUADRO 2 - RELAÇÃO DAS CORES E OS MATERIAIS UTILIZADOS.....	49
QUADRO 3 - PROPOSTAS EXPERIMENTAIS MEDIADAS PELO PLANCKÔMETRO	80
QUADRO 4 – PONTOS FUNDAMENTAIS DA PROPOSTA.....	81
QUADRO 5 - PROPOSTAS EXPERIMENTAIS MEDIADAS PELO PLANCKÔMETRO	125
QUADRO 6 - INTRODUÇÃO DO PROJETO	196
QUADRO 7 - PLANEJAMENTO DO PROJETO EM EQUIPES.....	197
QUADRO 8 - DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA INICIAL	198
QUADRO 9 - CRIAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO E ARTEFATOS.....	199
QUADRO 10 - DESENVOLVIMENTO DA SEGUNDA FASE DA PESQUISA.....	199
QUADRO 11 - DESENVOLVIMENTO DA VERSÃO FINAL DA APRESENTAÇÃO E DOS ARTEFATOS	201
QUADRO 12 - AVALIAÇÃO DO PROJETO E DOS ALUNOS	202
QUADRO 13 - PUBLICAÇÃO DO PROJETO	203

TABELAS

TABELA 1 - VALORES OBTIDOS PARA CONSTANTE DE PLANCK	101
TABELA 2 – TABELA A SER PREENCHIDA DURANTE O EXPERIMENTO BARREIRA DE POTENCIAL	127
TABELA 3 – TABELA A SER PREENCHIDA DURANTE O EXPERIMENTO DESCOBRINDO A COR DO LED	128

SUMÁRIO

SUMÁRIO	27
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 O DESENVOLVIMENTO DESTE TRABALHO NO CONTEXTO DA PANDEMIA DE COVID-19	16
1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	17
2 MARCO REFERENCIAL.....	19
2.1 BREVE BIOGRAFIA DE VYGOTSKY	19
2.2 A TEORIA SOCIOINTERACIONISTA DE VYGOTSKY	20
2.2.1 A Relação Entre Desenvolvimento e Aprendizagem	21
2.3 O LABORATÓRIO DIDÁTICO	24
2.4 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS (ABP).....	25
3 ESPECTROSCOPIA	32
3.1 A ESPECTROSCOPIA E A MECÂNICA QUÂNTICA	38
4.0 O EFEITO FOTOELÉTRICO	41
5. A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES SOB UM OLHAR QUALITATIVO	49
5.1 CONDUTORES, SEMICONDUTORES E ISOLANTES - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	50
5.2 TEORIA DE BANDAS DOS SÓLIDOS	51
5.2.1 Condutores, Semicondutores e Isolantes Sob o Olhar da Teoria de Bandas dos Sólidos	54
5.3 SEMICONDUTORES.....	55
5.3.1 Dopagem tipo N	57
5.3.2 Dopagem tipo P	59
5.3.3 Junção P-N.....	60
5.4 SEMICONDUTORES NO FORMALISMO DA MECÂNICA QUÂNTICA	66
5.6 DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)	72
5.7 CÉLULAS SOLARES	74
6. O MATERIAL INSTRUCIONAL	76
7. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DIDÁTICA DO “PLANCKÔMETRO” DENTRO DA METODOLOGIA ABP	79
7.1 EXPERIMENTOS SUGERIDOS	79
7.2 ASPECTOS GERAIS DA PROPOSTA DENTRO DA APB.....	81
7.2.1 Desenvolvimento do Projeto	82

7.2.2 Etapa 1 - Apresentação do Tema e do Problema.....	82
7.2.3 Etapa 2 - Elaboração Colaborativa do Projeto	83
7.2.4 Etapa 3 - Desenvolvimento do Projeto	84
7.2.5 Etapa 4 - Apresentação e Avaliação dos Resultados.....	87
8. VALIDAÇÃO DO PRODUTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	88
8.1 METODOLOGIA DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	88
8.1.1 Convite Aos Professores.....	89
8.1.2 Dinâmica da Oficina.....	90
8.1.3 Atividades Realizadas	92
8.2 PARTICIPAÇÃO DOS PROFESSORES NAS OFICINAS.....	94
8.2.1 SUGESTÕES	96
8.2.2. ALGUNS RESULTADOS	99
8.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	103
8.4 COMENTÁRIOS FINAIS	107
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
REFERÊNCIAS.....	112
APÊNDICE A - REGISTROS DAS APLICAÇÕES	119
A.1 INTRODUÇÃO	119
A.2 REGISTRO DE IMAGENS	120
A.2.1 ENCONTRO PRESENCIAL COM O GRUPO DE 3 PARTICIPANTES.....	120
A.2.2 ENCONTRO PRESENCIAL INDIVIDUAL	121
A.2.3 ENCONTRO EXCLUSIVAMENTE REMOTO	121
A.2.4 ENCONTRO HÍBRIDO	123
A.3. SUGESTÕES APRESENTADAS.....	123
APÊNDICE B - MATERIAIS DE APOIO E QUESTIONÁRIO	124
B.1 TEXTO DE APOIO	124
B.2 PLANILHA.....	124
B.3 PROPOSTAS EXPERIMENTAIS	125
B.3.1 Atividade 1 – Polarização Direta e Inversa	126
B.3.2 Atividade 2 - Barreira de Potencial.....	126
B.3.3 Atividade 3 - Cálculo da Constante de Planck	127
B.3.4 Atividade 4 - Descobrimo a Cor do LED	128
B.3.5 Atividade 05 - Utilizando o Simulador.....	129
B.3.6 Atividade 6 - Construindo Uma Placa Solar Utilizando LEDs	130

APÊNDICE C - SIMULADORES SUGERIDOS	131
C1. SEMICONDUTORES	131
C2. CONDUTIVIDADE	131
C3. ESTRUTURA DE BANDAS	132
C4. ESPECTRO DO CORPO NEGRO.....	132
C5. LÂMPADAS DE NEÔNIO E OUTRAS LÂMPADAS DE DESCARGA.....	133
C6. LASER.....	134
C7. EFEITO FOTOELÉTRICO	134
APÊNDICE D - FORMULÁRIO DO GOOGLE FORMS	136
APÊNDICE E - O PRODUTO EDUCACIONAL	143
ANEXO A – ESTRUTURAÇÃO PRAXEOLÓGICA DE UMA PROPOSTA DE APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS (ABP)	196
ANEXO B - TEXTOS DE APOIO QUE PODEM SER UTILIZADOS COMO ÂNCORA	204
TEXTO A - ENERGIA SOLAR	204
TEXTO B - A CRISE DOS SEMICONDUTORES PODE ESTAR MAIS PRÓXIMA DE VOCÊ DO QUE IMAGINA	205

1. INTRODUÇÃO

Ao se analisarem os conteúdos programáticos relativos à disciplina de Física das escolas de ensino médio no Brasil, nota-se o pouco ou nenhum prestígio da Física Moderna apesar das propostas e flexibilidades indicadas nas Bases Nacionais Comum Curricular (BNCC). Chiquetto (2011) afirma que o currículo de Física do ensino médio está velho e ultrapassado, o que comprova descrevendo o que encontrou no arquivo histórico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP): um diário de classe manuscrito, datado de 1939, cujo registro das aulas, segundo o autor, poderia ser aplicado a escolas atuais e provavelmente poucas pessoas perceberiam uma diferença significativa.

Moreira (2002) vai ainda além, alertando para a necessidade de uma Física que parta do concreto para o abstrato, ou seja, de um ensino voltado para o real, com desdobramentos para o dia a dia dos estudantes, e que possa ajudá-los a compreender a tecnologia que os cerca. O autor aponta para a necessidade de um novo olhar em relação à própria estrutura dos cursos de Física, seja na modalidade da licenciatura, seja no bacharelado.

Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) afirmam que a lacuna provocada por um currículo de Física desatualizado, além de resultar em uma prática pedagógica desvinculada e descontextualizada, faz com que os alunos não compreendam os motivos pelos quais necessitam estudar tal disciplina. Nessa perspectiva, precisamos ir além de uma simples modificação curricular. Devemos rever nossa própria prática pedagógica, em um exercício de autocrítica em torno de como relacionamos a Física aos demais conhecimentos:

Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdos, mas sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. Aprender uma Física que explique a queda dos corpos, o movimento da Lua ou das estrelas do céu, o arco-íris e também os raios laser, as imagens da televisão e as formas de comunicação. Uma Física que explique os gastos da “conta de luz” ou o consumo diário de combustível e também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluída a energia nuclear, com seus riscos e benefícios. Uma Física que discuta a origem do universo e sua evolução. Que trate do refrigerador ou dos motores a combustão, das células fotoelétricas, das radiações presentes no dia-a-dia, mas também dos princípios gerais que permitem generalizar todas essas compreensões. Uma Física cujo significado o aluno possa perceber no momento em que aprende, e não em um momento posterior ao aprendizado. (BRASIL, 1999, p. 230)

Segundo Moreira e Pinto (2003, *apud* LOPES, 2018, p.13), uma das formas de diminuir o descompasso entre a Física ensinada na escola e os fenômenos observados no cotidiano, tal como preconiza a BNCC, é o ensino de conceitos de Física moderna e contemporânea que permitam uma melhor compreensão das novas tecnologias e seus desdobramentos no mundo contemporâneo. Isso porque, segundo Neto, Freire e Rocha (1999, p. 52):

(...) o alunado do Ensino Médio, de uma maneira geral, independentemente de sua perspectiva profissional, não pode estar alheio a determinadas mudanças conceituais introduzidas na e pela Física em nosso século. (...) Como para a maioria do alunado do Ensino Médio, o contato com a Física, via educação formal, esgota-se na própria escola secundária, pensamos ser um dever dessas escolas ensinar Física Moderna como parte do patrimônio cultural de nossa época.

Além disso, é comum nos depararmos nesse ambiente com um ensino de Física baseado na mecanização e realização em série de exercícios, na maioria das vezes, excessivamente matemáticos e deslocados de uma proposta que vise a alicerçar a parte conceitual da Física. Assim, um número exagerado de fórmulas é apresentado ao aluno sem uma prévia interpretação e/ou contextualização, o que acaba por abafar, em muito, os fundamentos da disciplina.

Outra característica com que comumente nos deparamos é a ausência de um laboratório para as aulas de Física, justificada pelos altos custos, seja dos equipamentos e sua manutenção, seja da contratação de técnicos ou professores com dedicação laboratorial. E assim, mais uma vez, aulas que deveriam ter como expectativa a busca, viabilizadas por projetos pedagógicos que incentivem o pensamento crítico além do observacional assim como a autonomia do aluno, mais uma vez, estas não conseguem passar de uma mera exposição de conteúdos e do incentivo à mera memorização de fórmulas e definições de conceitos. Não é de se espantar que algo assim produza tanta repulsa em muitos alunos.

Na expectativa de reverter tal cenário, é importante que o professor, sempre que possível, recorra a estratégias que promovam a participação ativa dos alunos nas aulas, envolvendo, por exemplo, atividades de observação, discussão e experimentação.

As atividades de experimentação associadas a atividades investigativas, em particular, possuem um papel importante no processo de ensino aprendizagem. O benefício da experimentação dentro do contexto de ensino é defendido por vários autores na literatura, dentre eles podemos citar Alves e Stachak (2005) quando afirmam que o ato de experimentar, no ensino de Física, é de fundamental importância no processo ensino-aprendizagem. E tal prática deve ser utilizada mesmo para os conteúdos mais básicos, pois, como se sabe, não é a relação de conteúdos propostos que determina a qualidade do trabalho de um professor, mas seus objetivos e as práticas desenvolvidas. Assim, entendemos e compartilhamos a ideia de que a experimentação é responsável por benefícios concretos, tais como o auxílio à transição do pensamento abstrato para o concreto, a motivação do aluno, além da contextualização dos conceitos abordados. Ademais, a experimentação oportuniza ao aluno a aquisição de novos conhecimentos científicos a partir de suas observações, análises e discussões.

Deve-se, no entanto, ter cuidado para não recairmos em um corriqueiro equívoco de confundir atividades práticas com a necessidade de um ambiente com equipamentos especiais

para realização de tarefas experimentais (BORGES 2002). Precisamos entender, de uma vez por todas, que o esperado é a total inexistência de um laboratório de ciências ou no máximo, um laboratório inoperante por fatos aqui já expostos.

Por este e outros motivos, as metodologias ativas, como a ABP, defendida por nós neste trabalho, podem se apresentar como uma alternativa potencialmente relevante e ao mesmo tempo pedagogicamente interessante, uma vez que viabilizam um processo experimental independente de um laboratório e que, ao mesmo tempo, propõem aos alunos uma posição investigativa e questionadora.

É preciso que o professor compreenda que, assim como aprender, ensinar não significa limitar-se, mas estender-se. Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo principal de trazer à luz uma proposta metodológica e experimental que, em conjunto, possa conduzir os docentes e alunos a análises, a discussões e à compreensão de tópicos da Física Moderna e Contemporânea a partir da compreensão do comportamento de certos materiais semicondutores e que possa contribuir para um currículo comprometido com os desafios do contemporâneo.

Trata-se de um aparato experimental que permite o estudo de alguns conceitos e fenômenos relacionados à Física Moderna e Contemporânea (doravante FMC), tais como o conceito de fóton, bandas de energia e a interação de fótons com a matéria, a partir da compreensão do comportamento do material semicondutor. O produto permite a exploração, tanto dos aspectos de emissão de luz emitida pelos LEDs quanto da absorção de luz sofrida pelos mesmos quando submetidos à iluminação oriunda de canetas *lasers* ou mesmo por outros LEDs.

Junto com este produto, apresentaremos também uma proposta de trabalho dentro da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). De forma mais específica, a utilização deste produto educacional associado à metodologia ABP objetiva promover um ensino no qual os estudantes assumam o protagonismo do processo de ensino-aprendizagem. Assim, ao mesmo tempo, visa-se a atribuir ao professor o significativo papel de facilitador desse processo, cuja ação deve ir muito além de aguçar a curiosidade dos alunos, no sentido de contribuir para que possam incorporar, em seus arcabouços científicos, os princípios físicos relativos aos assuntos propostos e a suas diversas aplicações. Destarte, mais que uma introdução a alguns conceitos do escopo da FMC, intenta-se, ainda, dar uma significativa contribuição para a alfabetização científica desses discentes.

1.1 O DESENVOLVIMENTO DESTE TRABALHO NO CONTEXTO DA PANDEMIA DE COVID-19

O desenvolvimento deste trabalho teve início em maio de 2019 em um momento anterior à Pandemia de COVID-19. O projeto de trabalho inicial previa o desenvolvimento de um modelo experimental que permitisse, com boa aproximação, a determinação da constante de Planck. Porém, conforme o curso avançava, assim como as orientações, percebemos que poderíamos muito mais. E assim, em uma tríade que uniu a vivência profissional, as orientações obtidas e os aprofundamentos teóricos abordados, o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) conduziu-nos a um desafio muito maior.

Passamos a desenvolver um *kit* experimental que permitisse a abordagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea a partir da compreensão do funcionamento de certos materiais semicondutores. Assim, um novo protótipo foi elaborado e com isto foi possível abordar o estudo tanto da emissão quanto da absorção da luz. Em paralelo à construção desse produto, buscamos e estudamos uma metodologia que pudesse atender às nossas expectativas pedagógicas. Dentre as diversas metodologias ativas, elegemos a ABP, por julgá-la mais próxima às nossas convicções.

No término de 2019, já havíamos definido que a aplicação do produto educacional se daria no primeiro semestre de 2020, em uma escola pública situada na cidade de Teresópolis, uma vez que tanto o protótipo do experimento quanto o plano de atividades dentro da metodologia ABP já estavam estruturados e prontos para a aplicação em sala de aula.

Entretanto, o cenário mundial de emergência em saúde pública em razão da pandemia do COVID-19 nos atingiu já no início do ano de 2020, provocando o fechamento das instituições de ensino no Brasil, o que impossibilitou a aplicação do produto referente a esta dissertação nos moldes do que havia sido planejado inicialmente. Assim, passou-se a repensar tanto o produto quanto a metodologia e sua aplicação, visando à validação do produto educacional.

Dentro dos vários objetivos do MNPEF, destacamos o que consta do capítulo V do Regimento Geral do programa, que diz respeito ao regime didático. O art. 23 afirma que “para a obtenção do título de mestre, faz-se necessário o desenvolvimento de um produto educacional e de uma dissertação de mestrado em que estejam descritos os processos que culminaram nesse produto e sua aplicação em situações de ensino”. Além disso, fomos amparados pelo § 4º do art. 4º da Resolução nº 1 do MNPEF, de 03 de junho de 2020, que diz que “A aplicação do produto educacional poderá ser flexibilizada, ocorrendo, por exemplo, de forma remota, em

situações de ensino destinadas à formação docente inicial ou continuada (cursos de licenciatura, grupos de egressos do mestrado, minicursos, oficinas etc.)”.

Após vários diálogos com nossos pares, assim como diversos testes, surge a ideia da elaboração de uma oficina voltada para professores de Física, pois isso se traduziria em uma grande possibilidade de ir além de uma simples validação do produto. Seria uma oportunidade de submeter tanto o produto educacional quanto o material escrito (correspondente ao Capítulo 4 desta dissertação) aos olhares críticos daqueles profissionais, promover uma troca baseada nas experiências profissionais individuais e, por fim, enxergá-los como potenciais transmissores dos saberes ali adquiridos.

Assim, as oficinas foram desenvolvidas e realizadas tanto no modelo presencial, no qual foram respeitados todos os protocolos sanitários (distanciamento social, álcool em gel e uso de máscaras), quanto no modelo remoto, utilizando-se as plataformas *Google Meet* e *Zoom*. Esta última, apesar de oferecer vários recursos, têm uso condicionado a um limite de tempo de 30 minutos na versão gratuita, o que nos obrigava a reativar a reunião após esse período. Foram 07 (sete) professores participantes do evento, dos quais 02 (dois) atuavam exclusivamente no estado de Minas Gerais, 03 (três) lecionavam exclusivamente no estado do Rio de Janeiro e os outros 02 (dois), em ambos os estados. À época, os sete docentes participantes juntos eram responsáveis por 86 turmas, equivalendo a um total de aproximadamente 3 (três) mil alunos distribuídos em três turnos letivos.

Apesar de o produto educacional não ter sido aplicado dentro da metodologia ABP, por motivos contrários aos nossos anseios, decidimos mantê-la junto à dissertação como sugestão viável de implementação do produto. Isso se justifica porque, em princípio, entendemos que essa abordagem, junto com a experimentação, tem o potencial de criar um ambiente que seja desafiador e ao mesmo tempo motivador para o ensino/aprendizagem de Física; e também em razão das inúmeras descrições a respeito dessa metodologia encontradas na literatura específica.

1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Para que o leitor possa navegar nesta dissertação da forma que melhor lhe convier, apresenta-se, em seguida, resumidamente, a proposta de cada capítulo:

O **capítulo 1** expõe os referenciais teóricos e pedagógicos, com foco nas teorias de ensino e aprendizagem de Vygotsky, relacionando-os com a metodologia escolhida em nossa proposta, a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP).

Já no **capítulo 2**, faz-se uma abordagem sobre a espectroscopia, esclarecendo-se, dentro de um sucinto contexto histórico, sua evolução e contribuições para as ciências afins, além de salientar sua importância para o surgimento da mecânica quântica.

No **capítulo 3**, é apresentada uma breve evolução histórica dos conceitos relacionados à elaboração dos modelos atômicos, passando por Leucipo, Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, De Broglie, Sommerfeld, Heisenberg até chegarmos a Schrödinger. A ideia é fornecer um rápido panorama contextual dos desenvolvimentos que foram realizados nessa área, na tentativa de retratar a ciência Física como produto do processo da construção humana e, como tal, passível de uma contínua e perpétua reelaboração.

Durante o **capítulo 4**, será apresentado ao leitor, uma breve abordagem a respeito do efeito fotoelétrico, as análises experimentais realizadas por Lenard e as interpretações de Einstein a respeito deste fenômeno.

O **capítulo 5** traz um tema de máxima importância para toda a indústria e a área de tecnologia eletrônica atual, o qual, paradoxalmente, ao mesmo tempo é tão pouco ou quase nunca debatido nas escolas médias. Assim, o capítulo é dedicado à física dos semicondutores, trazendo alguns conceitos relacionados à teoria das bandas nos sólidos, especificamente os sólidos cristalinos, seus processos de dopagem e a junção p-n, além das consequências dessas evoluções, tais como fotodiodos, diodos retificadores e diodos emissores de luz (LED).

O produto educacional, sua discriminação e o projeto de construção e manutenção são comentados no **Capítulo 6**, enquanto as etapas de aplicação, discussão e resultados obtidos são apresentados nos **Capítulo 7 e 8**. Finalmente, dedico o **Capítulo 9** às conclusões e considerações finais desta investigação aplicada.

2 MARCO REFERENCIAL

O referencial teórico da presente pesquisa está ancorado no diálogo entre a teoria sociointeracionista de Vygotsky e a metodologia da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), desenvolvidos nos itens a seguir.

2.1 BREVE BIOGRAFIA DE VYGOTSKY

Lev Smyonovitch Vygotsky, contemporâneo de Piaget, nasceu em Orsha, na Bielorrússia, em 5 de novembro de 1896. Sua trajetória como estudante foi marcada por uma conduta responsável e competente (PALANGANA, 2015).

Segundo Gaspar (2014), apesar de interessar-se muito mais por ciências humanas e sociais, Vygotsky ingressa, em 1913, no curso de medicina da Universidade de Moscou. Essa escolha deve-se a ser esse, na época, um dos poucos cursos para os quais aquela universidade oferecia uma cota, ainda que pequena, destinada aos judeus, o que lhe permitiria sair da Pale¹. Passado um mês, transferiu-se para o curso de Direito.

Em 1914, o jovem Vygotsky passa a estudar história e filosofia na Universidade Shanavsky, uma instituição progressista, independente, de alto nível e sem discriminações, mas que não era reconhecida oficialmente. Forma-se em ambas as universidades em 1917 e retorna a Gomel, onde trabalha como professor e pesquisador nos campos da psicologia, pedagogia, filosofia, literatura, deficiência física e mental, além de atuar em diversas instituições de ensino e pesquisa ao mesmo tempo em que lia, escrevia e ministrava conferências. Atuou, ainda, em uma área conhecida por pedologia, que trata do estudo sistemático da vida e do desenvolvimento das crianças. Ainda em Gomel, dirigiu a seção de teatro do Centro de Educação de Adultos. Fundou a revista literária *Verask*, na qual publicou sua primeira pesquisa em literatura, *Psicologia da arte* (1925), e criou um laboratório no Instituto de Treinamento de Professores, onde ministrava cursos de psicologia. Mais tarde, já em Moscou, ajudou na criação do Instituto de Deficiências.

Vygotsky foi pioneiro na noção de que o desenvolvimento intelectual das crianças ocorre em função das interações sociais e condições de vida. Para o pensador bielorrusso, o desenvolvimento mental da criança é um processo contínuo de aquisição de controle ativo sobre funções inicialmente passivas.

¹ Nome dado à região da Rússia Czarista onde os judeus podiam morar.

Vygotsky morreu precocemente, aos 37 anos, em 11 de junho de 1934. Infelizmente, em tempos ainda sombrios, em 1936, por decisão de Josef Stalin, suas obras foram retiradas de circulação, de modo que a arbitrariedade e o autoritarismo políticos fizeram com que os conceitos vygotkianos fossem rejeitados e ignorados por muito tempo.

Apesar da curta vida, Vygotsky deixou-nos uma grande herança teórica. Segundo Prestes e Tunes (2012), os livros publicados principalmente após sua morte reúnem muitos artigos, textos e estenografias de aulas proferidas ou discursos em eventos científicos. Um levantamento mais completo e sistematizado, realizado por Vigodskaja e Lifanova (1996), revela uma significativa obra, que relaciona o expressivo número de 274 títulos.

2.2 A TEORIA SOCIOINTERACIONISTA DE VYGOTSKY

A associação entre cognição, interação e conhecimento é a base para compreender o pensamento de Lev Vygotsky sobre a aprendizagem. Na visão do autor, o desenvolvimento cognitivo acontece na interação social, possibilitando a criação de novas experiências e a aquisição de novos conhecimentos.

Diferentemente de Piaget, que acreditava que os fatores internos eram preponderantes sobre os externos, privilegiando, assim, as questões biológicas, Vygotsky dá uma nova dimensão e relevância às questões sociais e ao meio em que o indivíduo está inserido. Embora soubesse ser o cérebro o órgão responsável pela cognição, o psicólogo compreende o ambiente social como origem da função cognitiva, descreditando seu caráter biológico.

Usando as palavras de Rego (1995, p. 93):

Vygotsky, inspirado nos princípios do materialismo dialético, considera o desenvolvimento da complexidade da estrutura humana como um processo de apropriação pelo homem da experiência histórica e cultural. Segundo ele, organismo e meio exercem influência recíproca, portanto o biológico e o social não estão dissociados. Nesta perspectiva, a premissa é de que o homem constitui-se como tal através de suas interações sociais, portanto, é visto como alguém que transforma e é transformado nas relações produzidas em uma determinada cultura.

Compreende-se, pois, por que o pensamento de Vygotsky costuma ser chamado de sociointeracionista e não apenas de interacionista, como o de Piaget. Ainda que ambos tenham atribuído grande importância ao organismo ativo, Vygotsky destaca o papel do contexto histórico e cultural nos processos de desenvolvimento e aprendizagem. Segundo Fonseca (2018, p. 69), “(...) a raiz da cognição para Piaget é a ação, mas para Vygotsky é também, para

além da ação, a interação, ou seja, a cognição humana tem raízes sociais, de onde nasce a interação entre seres humanos emissores e receptores de informações.”

A teoria sociointeracionista vygotskiana representa, portanto, um campo epistemológico que assume o conhecimento como resultante da interação sociocultural, ou seja, percebe que o conhecimento se constitui na interação com o meio em que o indivíduo está inserido (RESENDE, 2009). Assim, segundo Rego (1995), as características de cada indivíduo são construídas através de trocas recíprocas entre este e o meio, sendo que cada aspecto influi sobre o outro.

De acordo com Novaes (2011), para Vygotsky, o desenvolvimento humano se dá de fora para dentro, uma vez que é a partir da cultura manifesta na imersão do sujeito em seu entorno no mundo que a aprendizagem aparece, possibilitando definir os rumos do desenvolvimento.

2.2.1 A Relação Entre Desenvolvimento e Aprendizagem

A relação entre desenvolvimento e aprendizagem é, sem dúvida, uma questão teórica central nos estudos de natureza psicológica, e Vygotsky não se esquivou dessa análise. (PALANGANA, 2015). Influenciado por Marx, o autor concluiu que as origens das formas superiores de comportamento consciente deveriam ser investigadas nas relações sociais que o indivíduo mantém com o mundo exterior.

Em *Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem* (2010), reafirma-se que o homem não é apenas um produto de seu ambiente, é também um agente ativo no processo de criação desse meio. Conforme Rego (1995), ao mesmo tempo em que o ser humano transforma seu meio para atender suas necessidades básicas, transforma-se a si mesmo.

Em sua teoria socioconstrutivista, Vygotsky afirma que sempre que há um tipo de troca (relação), existe aprendizagem. Portanto, como já observado por Romero (2015), devemos dar voz às crianças, pois assim fazemos com que exercitem o pensamento. Vygotsky enxerga o processo dialético como um processo de interação cuja verdade está inserida no processo de mediação ensejado por instrumentos e signos. O diálogo, por sua vez, caracteriza-se pela presença do outro e pelas intervenções que se sucedem.

Assim como Vygotsky, Paulo Freire (1980) também entende o diálogo como uma ferramenta importante para a interação, a ponto de propor uma concepção dialógica de ensino, colocando o diálogo como uma forma de conscientização e libertação crítica.

Para Vygotsky, a aprendizagem e o desenvolvimento são dois fenômenos distintos e independentes. O autor julga a importância linguística entre os dois processos, pois, em sua perspectiva, o desenvolvimento da linguagem implica o desenvolvimento do pensamento uma vez que, por meio das palavras, o pensamento ganha existência (MIRANDA; SENRA, 2012, p. 9). Conforme Stadler *et al.* (2012, p.6), “a linguagem age decisivamente na estrutura do pensamento e é ferramenta básica para a construção de conhecimentos”, intervém no desenvolvimento intelectual da criança desde seu nascimento.

Da mesma forma, “a linguagem fornece os conceitos e as formas de organização do real que constituem a mediação entre o sujeito e o objeto de conhecimento” (FOSSILE, 2010, p. 113). Nesse sentido, Carvalho (2013) registra que o entendimento desse tema revela a importância de nos atentarmos ao desenvolvimento da linguagem em sala de aula como um dos principais artefatos culturais que fazem parte da interação social, não apenas como facilitador na interação professor-aluno, mas principalmente na função transformadora da mente do aluno.

Como já sabemos, Vygotsky atribuiu enorme importância ao papel da interação social no desenvolvimento do ser humano. Porém, conforme Rosa e Rosa (2004), uma das mais importantes contribuições do pensador para a psicologia e para a educação talvez seja a explicação dada à forma como o processo de desenvolvimento é socialmente construído e como a aprendizagem e o desenvolvimento se inter-relacionam.

Segundo Maior e Wanderley (2016), o alvo da produção teórica de Vygotsky são as chamadas funções psíquicas superiores ou funções psicológicas superiores, aquelas funções mentais que caracterizam o comportamento consciente do homem. Para Vygotsky, atividades como o planejar ações, imaginar fatos e pensar em objetos ausentes caracterizam uma atividade mental superior e são assim denominadas para se diferenciarem dos mecanismos elementares, de origem biológica, presentes no ser humano e também nos animais, tais como ações reflexas, reações automatizadas ou processos de associações simples entre eventos.

Na busca por explicar sua teoria de desenvolvimento e aprendizagem, Vygotsky nos apresenta os seguintes conceitos:

- **Zona de Desenvolvimento Real:** Segundo Rego (1995), o desenvolvimento real pode ser entendido como referente àquelas conquistas que já estão consolidadas na criança, aquelas funções ou capacidades que ela já aprendeu e domina, pois já consegue utilizar sozinha, sem assistência de alguém mais experiente da cultura (pai, mãe, professor, criança mais velha etc.)

- **Zona de Desenvolvimento Potencial:** trata-se da etapa em que a criança está pronta para situações mais complexas. Também segundo Rego (1995), tal desenvolvimento refere-se a tudo que a criança é capaz de fazer ou resolver, porém mediante auxílio de um mediador, por intermédio de informações compartilhadas ou pistas fornecidas.
- **Zona de Desenvolvimento Proximal:** pode ser compreendida como a distância entre as zonas de desenvolvimento real e potencial, ou seja, metaforicamente, é o espaço entre o que a criança é capaz de realizar de forma autônoma e de forma auxiliada. É nesta etapa que se identificam funções que ainda não amadureceram ou que sofreram maturação.

É justamente o aprendiz o responsável por criar a zona de desenvolvimento proximal, na medida em que, em interação com outras pessoas, a criança é capaz de colocar em movimento vários processos de desenvolvimento que, sem a ajuda externa, seriam impossíveis de ocorrer. Tais processos se internalizam e passam a fazer parte das aquisições do desenvolvimento individual daquele sujeito (REGO, 1995, p.72). Desta sorte, o mediador auxilia a criança a concretizar o desenvolvimento que está próximo, ou seja, ajuda a transformar o desenvolvimento potencial em desenvolvimento real.

Fonseca (2018) lembra que as ZDPs representam uma visão dinâmica do potencial cognitivo, já que mudam, no sentido de expandir-se, à medida que o sujeito mediatizado atinge um nível superior de conhecimento. Conseqüentemente, vem à tona um novo nível de realização cognitiva. Essa expansão acaba por facilitar o aprendizado por parte do aprendiz, já que se sentirá mais preparado, motivado e confiante para novas aprendizagens.

É apropriado lembrar, que, segundo o próprio Vygotsky, as crianças estão envolvidas no processo de desenvolvimento e aprendizagem desde o nascimento. Quando chegam ao ambiente escolar, já trazem uma bagagem de conhecimentos cotidianos ou espontâneos oriundos de observações, além dos pseudoconhecimentos, que são aqueles que se apoiam no achismo, nas superstições e até mesmo nas experiências pessoais. Para Vygotsky, é papel da escola fazer com que as crianças troquem os pseudoconhecimentos pelos conhecimentos reais ou científicos, permitindo uma visão mais apropriada da realidade e dificultando cenários como ainda hoje vivenciamos, tais como a presença de negacionistas, grupos antivacinas ou mesmo terraplanistas.

É preciso compreender que a escola é o lugar onde a intervenção pedagógica intencional desencadeia o processo de ensino-aprendizagem. É, portanto, papel do docente provocar avanços no desenvolvimento dos alunos, o que se torna possível por meio de sua interferência na zona de desenvolvimento proximal.

2.3 O LABORATÓRIO DIDÁTICO

De acordo com a BNCC, o uso da experimentação deve estar presente ao longo de todo o processo de aprendizagem do aluno, de maneira a desenvolver conhecimentos físicos mais significativos e o desenvolvimento de outras habilidades, tais como interação, questionamentos, investigação entre outros.

Para Gaspar (2014, p. 227), é por meio dos experimentos que as ciências encantam e aguçam o interesse das pessoas. Certamente, aulas experimentais são uma poderosa ferramenta que, sem dúvida, pode auxiliar alunos e professores no processo ensino-aprendizagem. No entanto, devemos cuidar para que essa ferramenta esteja associada a metodologias de ensino que realcem e, acima de tudo, incentivem a investigação além do observacional e que encorajem o pensamento crítico do aluno assim como sua própria autonomia.

Conhecendo a triste realidade que cerca a educação brasileira, muitos aqui questionariam como seria possível a realização de aulas experimentais se a estrutura não dispõe de um laboratório apropriado?

De acordo com Alves Filho (2005), a concepção de um laboratório didático, na acepção de ambiente físico próprio, não mais terá significado, ou seja, a função do laboratório de Ciências será a de propiciar mais um ambiente facilitador dos processos de ensino e de aprendizagem. Desta forma, as novas atividades devem estar intimamente ligadas ao fenômeno didático que, sob orientação do professor, irá desencadear e mediar o diálogo construtivista na sala de aula.

Para Leiria e Mataruco (2015), atividades experimentais, seja no âmbito do laboratório didático ou não, contribuirão para a interação social entre os alunos. O papel da experimentação, quando analisada sob o olhar da teoria sociointeracionista de Vygotsky, é, portanto, o de corroborar a interpretação dos significados compartilhados e a apropriação do processo da atividade de estudo, permitindo que o aprendiz compartilhe significados e se aproprie de novos conhecimentos. Segundo Borges (2002), a riqueza das atividades experimentais consiste em propiciar ao estudante o manuseio de coisas e objetos num exercício de simbolização ou representação, para que ele consiga, assim, efetuar a conexão dos símbolos com as coisas e com as situações imaginadas.

Para Borges (2002), o professor pode preparar uma atividade experimental de diversas formas, desde demonstrações até atividades prático-experimentais através de roteiros. Segundo

ele, todas essas práticas podem ser úteis, dependendo dos objetivos que o professor pretende alcançar.

Sob a perspectiva de Carvalho (2013), as aulas experimentais podem ser classificadas como *demonstrativas* – quando o aluno apenas acompanha o experimento realizado pelo professor; ou como *manipulativas*, quando o aluno manuseia os equipamentos.

Destarte, a condução das aulas experimentais pode ser do tipo altamente herméticas e dependentes de roteiros, cujo objetivo é a comprovação de algo já estudado durante as aulas teóricas ou de forma de forma investigativa, cuja proposta é introduzir o aluno na resolução de um problema experimental.

Na visão de Sére, Coelho e Nunes (2003), a forma tradicional das aulas experimentais é aquela em que a discussão do aluno não é levada em conta. Nessa proposta, o aluno aprende como se servir de um material, de um método, ou mesmo aprende a manipular uma lei, fazendo variarem os parâmetros, e a observar um fenômeno.

De uma forma geral, aulas experimentais tradicionais são aquelas que fazem uso de roteiros tipo “receita de bolo” e que promovem uma visão reducionista da ciência ao propor atividades pouco flexíveis e pré-estabelecidas.

O que devemos buscar são momentos experimentais, seja em laboratórios ou em sala de aula, mas que tenham como objetivo envolver o aluno na busca da solução por uma via que não seja dogmática e sim investigativa. Pensando nesse contexto, elaboramos um produto que pode adequar-se a diversas propostas experimentais, desde o tipo demonstrativo até o investigativo. Entretanto, daremos destaque, nesta dissertação, ao seu uso associado à metodologia ABP, pois trata-se de uma ótima alternativa para aqueles que buscam uma visão construtivista alinhada com uma experimentação investigativa.

2.4 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS (ABP)

Infelizmente, em nossas escolas, temos assistido, ano após ano, a um desfecho quase sempre fatídico em termos de rendimento, aprendizagem e interesse em Física. Segundo Bonadiman e Nonenmacher (2007), ao ingressarem no ensino médio, os alunos chegam motivados na busca de novos horizontes científicos, porém, após pouco contato com a disciplina de Física já é suficiente para tornar essa experiência muitas vezes frustrante. Esse quadro se agrava cada vez mais quando encontramos programas curriculares que não condizem

com a realidade escolar, que acabam por contribuir para uma baixa produção científica e que dispõem de reduzida carga horária.

É preciso compreender que o processo educacional não pode, jamais, ser encarado como algo pronto e acabado e que a dinâmica do mundo moderno acaba sempre por exigir novos métodos e técnicas de ensino. Moran e Bacich (2018) apresentam pesquisas atuais da neurociência que comprovam que o processo de aprendizagem é único e diferente para cada ser humano e que cada pessoa aprende o que é mais relevante e o que faz sentido para si, gerando conexões cognitivas e emocionais. Nesse sentido, na visão dos autores (2018, p.10), os estudantes hoje inseridos nos sistemas de educação formal requerem de seus professores habilidades, competências didáticas e metodológicas para as quais esses profissionais não foram e não estão sendo preparados.

Diante de um cenário tão sombrio e entristecedor, a metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) se apresenta como capaz de fornecer um treinamento para sobrevivência no século XXI, oferecendo aos alunos a oportunidade de aprender a trabalhar em grupo e realizar tarefas comuns (BUCK INSTITUTE FOR EDUCATION, 2008). Esse pensamento é compartilhado por Willian Bender no livro *Aprendizagem baseada em projetos* (2018), no qual são citadas pesquisas que têm demonstrado de forma consistente que a ABP é um modelo de ensino altamente eficaz.

Segundo Bender (2014, p.15), “[...] a ABP pode ser definida pela utilização de projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa, ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos alunos no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas”. Conforme o autor, tal metodologia tem se mostrado capaz de envolver os estudantes em investigações que ultrapassam os limites da sala de aula e que, além da aprendizagem acadêmica, proporcionam motivação, engajamento e, em muitos casos, contribuições à comunidade na qual os alunos estão inseridos.

Diferentemente do ensino expositivo, cuja linha de raciocínio parte inteiramente do professor e o aluno somente a segue, procurando entendê-la sem ser o agente do pensamento (CARVALHO, 2013); na ABP, os alunos são tratados e considerados como protagonistas do processo ensino-aprendizagem. Como afirmado por Moran e Bacich (2018), tal metodologia tem como princípio a aprendizagem colaborativa, baseada no trabalho coletivo, integrando diferentes conhecimentos e estimulando competências, como protagonismo, pensamentos críticos, empatia, autonomia, responsabilidade e participação, fazendo com que o aluno passe a desempenhar um papel mais ativo em seu aprendizado.

Para Bender (2014, p. 9), a ABP é um modelo de ensino que permite que os alunos confrontem as questões e os problemas do mundo real que consideram significativos,

determinando como abordá-los e agindo, então, de forma cooperativa em busca de soluções. É importante salientar que o termo cooperação ultrapassa aqui o limite do significado de “ajuda”, assumindo uma nova dimensão, que pressupõe a coordenação de pontos de vista ou de ações que emanam de diferentes sujeitos. Em outras palavras, cooperar consiste em juntar as ações e os saberes a elas ligados, resultando em trocas interindividuais (ANDRADE; VICARI, 2003).

A ABP é, assim, uma das metodologias ativas que reúne em si características muito desejadas por nós educadores. Afinal, fazer com que o aluno desenvolva uma maior autonomia além do senso crítico e observacional é o que todo educador espera. Urge, portanto, que toda comunidade escolar possa refletir sobre suas práticas pedagógicas, em especial o professor.

A utilização da ABP, demanda, primeiramente, que o docente reconheça – e preferencialmente abandone – a postura onipotente de detentor do conhecimento para dar lugar ao papel de mediador, deixando o protagonismo do processo educacional para os alunos. Da mesma sorte, os estudantes precisarão assumir uma postura mais responsável e autônoma, tomando para si a própria aprendizagem e o reconhecimento da importância desse novo docente mediador.

Outro importante fato é que, segundo Prado (2003), a pedagogia de projetos permite que o aluno APRENDA-FAZENDO e que reconheça a própria AUTORIA naquilo que produz por meio de QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO que lhe impulsionam a CONTEXTUALIZAR CONCEITOS já conhecidos e DESCOBRIR outros que emergem durante o desenvolvimento do projeto. É uma concepção que dialoga com a perspectiva emancipatória e crítica freireana de que “aprender, é um processo que pode deflagrar no aprendiz uma curiosidade crescente, que pode torná-lo mais e mais criador” (FREIRE, 1996, p. 14).

Assim como na concepção interacionista de Vygotsky (1989), também na metodologia da ABP, a postura do professor deixa de ser a de um provedor de informações para ser a de um gerenciador de entendimentos. Não caberá ao professor expor todo o conteúdo para que somente depois a turma comece a trabalhar. Caberá sim, aos próprios alunos, sob a égide da orientação do professor, buscar os conhecimentos necessários para atingirem seus objetivos. Com isso, ao mesmo tempo em que o professor abandona o papel de transmissor de conhecimentos e passa a assumir o papel de mediador e responsável pelos diálogos, interações, organização e motivações, o aluno abandona a postura de receptor passivo de informações e passa a ser construtor e socializador de conhecimentos (ANDRADE; VICARI, 2003).

Diante do exposto, é importante observar que, ainda que se trabalhe um mesmo projeto a ser realizado por grupos distintos de uma mesma turma, muito provavelmente se alcançarão diferentes resultados, o que enriquecerá ainda mais o aprendizado.

Bender (2014) ressalta que, com o objetivo de diferenciar projetos tradicionais daqueles que utilizam a abordagem da ABP, alguns autores acabaram por desenvolver listas de aspectos comuns ou características essenciais desse modelo de ensino. No entanto, é importante salientar que não se trata de passos dentro do processo de ensino ou de elaboração dos projetos em ABP, mas de características que devem ser encontradas em sua maioria. São elas:

Quadro 1 - Características essenciais da ABP

Âncora: Introdução e informações básicas para preparar o terreno e gerar o interesse dos alunos;
Trabalho em equipe cooperativo: É crucial para as experiências ABP, enfatizado por todos os proponentes da ABP como forma de tornar as experiências de aprendizagem mais autênticas;
Questão motriz: Deve chamar a atenção dos alunos, bem como focar seus esforços;
Feedback e revisão: A assistência estruturada deve ser rotineiramente proporcionada pelo professor ou no interior do processo de ensino cooperativo. O <i>feedback</i> pode ser baseado nas avaliações do professor ou dos colegas;
Investigação e inovação: A partir da questão motriz abrangente, o grupo precisará gerar questões adicionais focadas, mais especificamente, nas tarefas do projeto;
Oportunidades e reflexão: Criar oportunidades para a reflexão dos alunos dentro de vários projetos é aspecto enfatizado por todos os proponentes da ABP.
Processo de investigação: Podem-se usar diretrizes para a conclusão do projeto e geração de artefatos para estruturá-lo. O grupo pode desenvolver linhas de termos e metas específicas para a conclusão de aspectos do projeto;
Resultados apresentados publicamente: Os projetos de ABP pretendem ser exemplos autênticos dos tipos de problemas que os alunos enfrentam no mundo real, de modo que algum tipo de apresentação pública dos resultados do projeto é fundamental;
Voz e escolha do aluno: Os alunos devem ter voz em relação a alguns aspectos de como o projeto pode ser realizado, além de serem encorajados a fazer escolhas ao longo de sua execução.

Fonte: Bender (2014, p. 32).

Por fim, todo resultado deve ser avaliado. O professor deve analisar a participação de todos os envolvidos e verificar como contribuíram para o resultado, diagnosticando, assim, falhas no aprendizado e buscando formas de atacá-las de maneira direta.

Em relação ao processo avaliativo, o *Buck Institute for Education* (2008) sugere o trabalho com um plano de avaliação equilibrado, que inclua diversas avaliações intimamente ligadas aos resultados do projeto, tais como os padrões de conteúdo, as habilidades e os hábitos mentais. Afirma, ainda, como o mais importante a necessidade de se reconhecer que múltiplos indicadores de desempenhos proporcionam aos diversos tipos de alunos, cada qual com qualidades diferentes, a oportunidade de êxito. Com efeito, a instituição lembra que um plano de avaliação deve incluir métodos capazes de reunir evidências do desempenho dos alunos, interpretar tais evidências e fazer juízo sobre elas, de modo que o processo avaliativo inclua tanto avaliações formativas – que permitem fornecer aos alunos um retorno durante o

andamento do projeto – quanto somativas – que lhes fornecem uma avaliação final de seu desempenho.

Enfim, para a aplicação da proposta ABP, é possível apanharmos suas características, descritas no Quadro 1, e resumi-las em:

1. Introdução: etapa em que o professor deve preparar a turma para o tema que se deseja trabalhar (âncora), procurando apresentá-lo de forma instigante. Assim, o professor poderá fazer uso de vídeos, simuladores, reportagens, algum modelo experimental expositivo. É importante que, durante essa etapa, o profissional busque levantar o quanto a turma sabe sobre o assunto. Superado esse momento, é chegada a hora de apresentar a questão motriz. Trata-se de uma pergunta mais que motivadora, diríamos desafiadora e que não possa ser respondida de forma imediata, ou seja, que requeira um trabalho de pesquisa.

2. Trabalho em equipe: o professor deverá dividir a turma em grupos, buscando respeitar os critérios, na medida do possível, apresentados pelos alunos. Trata-se de uma etapa fundamental. É necessário que o profissional oriente, estimule, defina metas e solicite a elaboração de um cronograma.

3. Desenvolvimento da Pesquisa: É hora do *feedback* e revisão. O professor deve ter em mãos as fontes necessárias para que os alunos iniciem suas pesquisas. Tais fontes devem ter uma coerência com a estrutura disponível para os alunos, ou seja, não adianta, por exemplo, fornecer *sites* interessantes se não houver acesso à internet.

4. Criar, desenvolver e avaliar a apresentação e os artefatos: Esse é o momento de o profissional acompanhar, incentivar e orientar a elaboração do artefato.

5. Desenvolver a segunda fase de pesquisa: O grupo deve ser orientado a buscar novas informações e ainda mais abrangentes que digam respeito à questão motriz.

6. Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos: O *feedback* deve retornar neste momento. Sugere-se que haja uma prévia, na qual os alunos façam uma apresentação para os seus pares da equipe. A intervenção do professor deverá ser orientada a uma nova reflexão, no sentido de encaminhar a melhor forma possível para que os alunos apresentem seus trabalhos para os grupos.

7. Avaliar o projeto e os alunos: É importante a elaboração de instrumentos que possam avaliar os participantes tanto de forma coletiva quanto individual. A participação dos alunos da turma no processo avaliativo é bastante relevante, uma vez que ser avaliado e avaliar são práticas que os acompanharão pelo resto de suas vidas.

8. Publicar o projeto: É a hora dos alunos apresentarem seus resultados, limitando-se à própria imaginação, afinal, são diversas as possibilidades, tais como *blogs*, publicações no *Youtube*, cartazes, vídeos, construção de modelos, entre outros. É muito importante que os alunos se sintam respeitados e, acima de tudo, valorizados nessas escolhas.

Preocupado em assegurar um modo pelo qual todos os envolvidos no processo educacional possam ter acesso, de forma clara, à metodologia ABP, Pasqualletto (2018) apresenta, em sua dissertação, uma estruturação praxeológica. Segundo o pesquisador, tal estruturação, além de permitir uma visualização panorâmica desta metodologia, entrega a possibilidade de uma melhor compreensão dos compromissos teóricos, tarefas previstas, entre outros aspectos. Pasqualletto defende, ainda, que a identificação dos diferentes elementos praxeológicos da proposta permite a compreensão não só das tarefas a serem desenvolvidas pelo professor, mas principalmente dos discursos tecnológicos que sustentam as técnicas indicadas para tais tarefas. Trata-se de uma estruturação organizada em oito etapas, que correspondem às descritas no parágrafo anterior (V. Anexo A).

Como podemos observar, a ABP permite um diálogo franco e imediato com os pressupostos sociointeracionistas de Vygotsky. A citação do pensador a seguir, extraída de Gaspar (2014, p. 180), serve-nos como um convite, indo a encontro das etapas *âncora* e *questão motriz* encontradas na ABP:

Os gregos diziam que a filosofia nasce da surpresa. Em termos psicológicos isso é verdadeiro se aplicado a qualquer conhecimento no sentido de que todo conhecimento deve ser precedido de uma sensação de sede. O momento da emoção e do interesse deve necessariamente servir de ponto de partida a qualquer trabalho educativo (VYGOTSKY, 2004, *apud* GASPAS, 2014, p. 180).²

Como defendido por Vygotsky, “as mais elevadas funções mentais do indivíduo emergem dos processos sociais” (1984 *apud* CARVALHO, 2013, p. 3). Novamente verificamos a viabilidade dessa demanda via ABP, uma vez que o trabalho coletivo e colaborativo, a mudança de postura do docente em relação aos alunos, o reconhecimento da importância do saber prévio que os alunos trazem para a escola como elementos primordiais para a discussão

² VYGOTSKY, L.S. *Psicologia pedagógica*. 2.ed São Paulo: Martins Fontes, 2004, p.145.

e posterior apropriação pelos educandos dos conhecimentos científicos são elementos estruturantes dessa metodologia.

Ao expor as ideias sociointeracionistas de Vygotsky, Carvalho (2013) afirma que o desenvolvimento potencial é uma incógnita que pode ser inferida com base no que o indivíduo pode resolver com ajuda de um adulto ou de seus companheiros. Para o pensador bielorrusso, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo menos experiente decorre do poder de mediatização linguística do ser mais experiente. Pensamento e linguagem, nesse sentido, são indissociáveis, uma vez que não há a existência de um independente do outro.

Dentro desse cenário, verificamos novamente o alinhamento entre a ABP com as teorias de Vygotsky visto também a ABP traz em seu escopo, um ensino focado no diálogo, nas trocas de experiências e da colaboração.

Ademais, outra preocupação apontada por Vygotsky é que a escola promova a substituição dos pseudoconhecimentos dos estudantes por conhecimentos reais ou científicos. Uma vez mais, as etapas de pesquisas, testes, *brainstorming*, criação e apresentação do produto propostas pela ABP visam justamente recobrir essa necessidade do desenvolvimento cognitivo discente.

Como conclusão deste capítulo, salienta-se que a ABP, de forma geral, convoca e, ao mesmo tempo, propõe um desafio aos professores que buscam uma prática interacionista baseada nas teorias de Vygotsky. Nas palavras muito antes ditas pelo grande educador Paulo Freire (2001, p. 40): “Ninguém nasce feito. Vamos nos fazendo aos poucos, na prática social de que nos tornamos parte”.

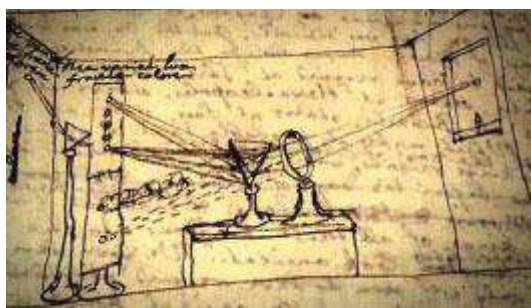
3 ESPECTROSCOPIA

A espectroscopia consiste na análise da radiação eletromagnética oriunda de fontes luminosas, como, por exemplo, o Sol, ou de radiações emitidas por certas substâncias quando estão em processo de aquecimento. Sua prática permite que o homem defina propriedades físicas e químicas de fontes luminosas, possibilitando, por exemplo, determinar a temperatura de certas estrelas ou mesmo seus elementos químicos constituintes. Em muitos casos, é pela espectroscopia que se realiza o estudo dos átomos ou mesmo das moléculas, a partir da análise das radiações emitidas ou absorvidas, já que o espectro constitui uma espécie de “impressão digital” do elemento.

É sabido que a luz solar, ao passar pelas gotas de água da chuva, decompõe-se em várias cores, formando o fenômeno conhecido por arco-íris. Esse arranjo de cores, denominado espectro eletromagnético visível, diz respeito às ondas eletromagnéticas cujas frequências podem ser percebidas pelo olho humano e conseqüentemente interpretadas pelo cérebro. Não há dúvidas de que o arco-íris é o primeiro registro desse tipo observado pelo homem.

Por volta de 1666, Isaac Newton, ao observar que um feixe de luz solar sofria uma decomposição em uma gama de cores similares à decomposição do arco-íris ao atravessar um prisma, supôs que tais cores faziam parte da luz branca. Para confirmar sua suposição, fez com que um feixe de luz solar passasse por um prisma, provocando uma decomposição de cores. Em seguida, fez com que essas cores dispersas atravessassem um prisma invertido, provocando uma recomposição das cores, o que deu origem à luz branca. Tal experimento permitiu a conclusão de que a luz branca era constituída, na verdade, pela superposição de várias outras cores. Abaixo podemos observar o desenho feito por Isaac Newton sobre seu experimento.

Figura 1 - Desenho feito por Isaac Newton

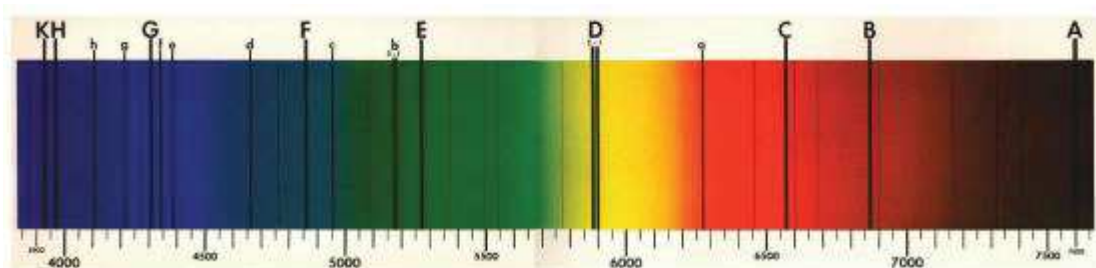


Fonte: Assis, 2017,p. 66

Segundo Assis (2017), esse experimento não nasceu pronto na cabeça de Newton. Foi sim resultado de uma evolução lenta, desde os primeiros passos em 1666 até a apresentação em sua na forma acabada em 1669.

Em 1802, William Wollaston, ao passar a luz por uma fenda e depois por um prisma, observou a existência de linhas escuras sobrepostas ao espectro contínuo (SANTANA, 2018). Wollaston acoplou ao prisma uma fenda ajustável, podendo, dessa forma, usar fendas muito estreitas para obter espectros bastante nítidos. Descobriu, assim, que existiam finas riscas negras no arco-íris de cores da luz do Sol, conforme podemos observar na figura 2.

Figura 2 - Espectro solar observado da Terra na faixa do visível em (nm)



Fonte: Universidade de São Paulo (2016)

Joseph Von Fraunhofer, interessado em compreender o fenômeno, por meio de seus experimentos e observações, chegou a catalogar mais de 500 riscas escuras no espectro solar (fig.3).

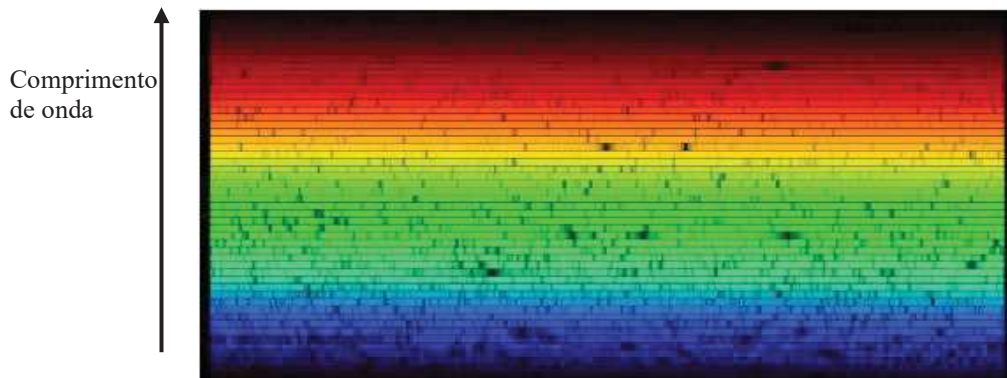
Figura 3 - Desenho do espectro solar feito por Fraunhofer em 1814 Comprimento de onda do vermelho ao violeta



Fonte: Donoso (2016)

Hoje sabemos que tal fenômeno se explica pelo fato de a radiação solar, ao atravessar a atmosfera, ter algumas frequências subtraídas do espectro solar, por causa da absorção de certos comprimentos de onda pelas substâncias presentes no ar. Devido aos modernos aparelhos, sabemos, ainda, que as linhas escuras do espectro solar chegam a mais de um milhão (fig.4).

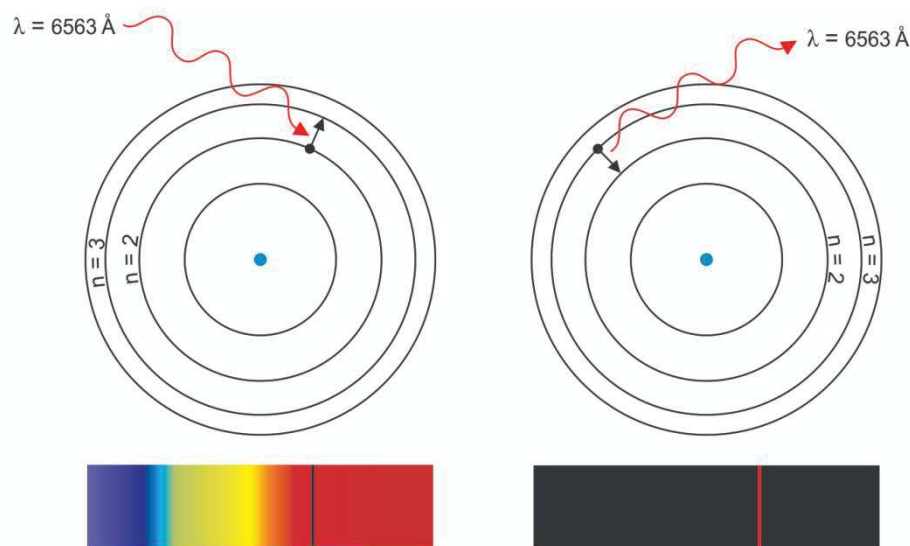
Figura 4 - Espectro Solar em alta resolução



Fonte: Centro Nacional Americano para Observação Noturna de Astronomia (2017)

Para formação das linhas espectrais, os átomos ou moléculas de uma determinada substância precisam absorver ou emitir energia. Ao absorver luz, o elétron menos energético do átomo/molécula salta para um nível atômico mais energético, produzindo uma linha de absorção. Já quando o átomo/molécula emite luz, saltando de um nível mais energético para um menos energético, produzirá uma linha de emissão. Assim, os espectros podem ser de absorção ou emissão.

Figura 5 - Espectro de absorção e emissão de luz



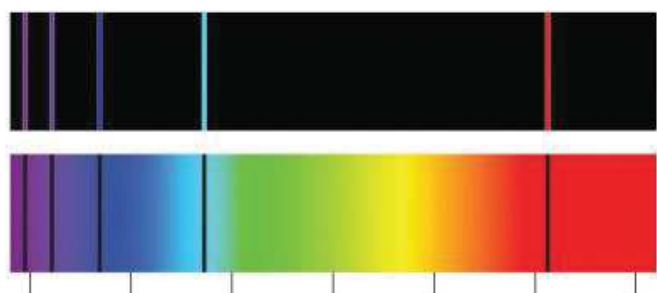
Fonte: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm

A Fig. 5 busca ilustrar tais fenômenos. Nela, à esquerda, podemos observar que, quando um átomo absorve luz, o elétron da última camada salta para um nível de maior energia, produzindo uma linha de absorção, porém, este fenômeno também pode ocorrer com elétrons

de outras camadas. Já no lado direito da imagem, quando um átomo emite luz, um elétron em um nível de energia excitado salta para um nível de menor energia, produzindo, então, uma linha de emissão.

Tanto o espectro de emissão como o de absorção de uma determinada substância possuem muitas coisas em comum. Podemos afirmar que o espectro de absorção é constituído por um subconjunto das linhas mostradas no espectro de emissão. Como o comprimento de onda das linhas de emissão e absorção correspondem às estruturas dos níveis de energia dos átomos, as linhas escuras presentes durante a realização de uma espectroscopia de absorção correspondem as linhas coloridas no espectro de emissão. A figura 6 mostra um exemplo desta correspondência para o átomo de hidrogênio. Na parte superior observamos as linhas do espectro de emissão. No quadro inferior, vemos as linhas escuras correspondendo aos comprimentos de onda absorvidos.

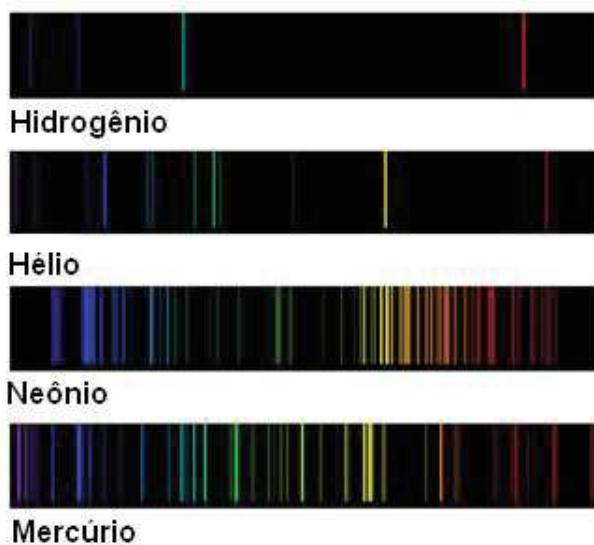
Figura 6 - Espectro de emissão seguido por um espectro de absorção, ambos do hidrogênio



Fonte: Viana (2016)

Foi Robert Wilhelm Bunsen que auxiliou a interpretação dos fatos observados por Joseph Von Fraunhofer. Com a criação do hoje conhecido *bico de Bunsen*, juntamente com o advento do espectrômetro, realizado por Gustav Kirchhoff, foi possível observar, com mais detalhes, os espectros obtidos a partir dos conhecidos testes de chamas. Isso porque o bico de Bunsen possui uma chama incolor que permitia uma emissão de cores proveniente da própria substância quando o elemento era exposto a sua chama. Desta forma, verificou-se que tais testes mostravam um conjunto de linhas brilhantes sobre um fundo escuro e que cada elemento químico produzia seu padrão de linhas espectrais, como mostrados na figura 7.

Figura 7 - Espectros de emissão Hidrogênio, Hélio, Neônio e Mercúrio.



Fonte: Fogaça (2011)

Esses tipos de espectros são conhecidos por *espectros de emissão*, pois foram emitidos por determinados elementos e servem para identificá-los. Mais uma vez observamos o espectro do comprimento de onda variando desde o violeta até o vermelho.

Dando continuidade aos seus trabalhos, Bunsen e Kirchhoff realizaram o seguinte experimento: fizeram a luz branca iluminar o gás resultante da queima do sódio e, ao observarem o espectro decorrente, verificaram linhas escuras nas mesmas posições em que apareciam linhas brilhantes no espectro da chama da queima do sódio, como se pode observar na figura 8. Concluíram, então, que o sódio gasoso emite e absorve luz de mesmo comprimento de onda. Além disso, notaram que os comprimentos de onda de muitas das linhas espectrais de elementos coincidiam com o comprimento de onda de algumas linhas escuras do espectro solar, concluindo que estas são causadas pela absorção pelos diversos gases contidos na atmosfera terrestre e solar. Esses espectros foram denominados *espectros de absorção*.

Figura 8 - Espectros de absorção (linhas escuras) e de emissão (linhas claras do Sódio (Na))

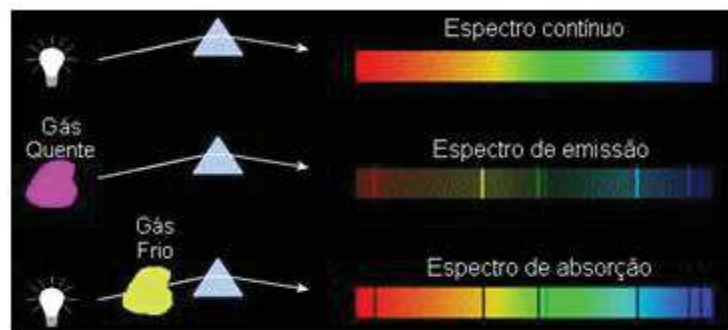


Fonte: Universidade de São Paulo (2016)

Baseado nessas observações, Kirchhoff criou três leis para a espectroscopia, que são:

- 1) Um corpo opaco quente, em qualquer dos três estados físicos, emite um espectro contínuo.
- 2) Um gás transparente – como os dos gases nobres – produz um espectro de emissão, com o aparecimento de linhas brilhantes. O número e a posição dessas linhas serão determinados pelos elementos químicos presentes no gás.
- 3) Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras, ou seja, será formado um espectro de absorção. É o que ocorreu com o espectro da luz do Sol ao passar pelo gás do sódio. Nesse caso, o número e a posição das linhas no espectro de absorção também dependem dos elementos químicos presentes no gás.

Figura 9 - Diferença entre espectro de emissão de Linha e espectro de emissão de banda



Fonte: Fogaça (2011)

3.1 A ESPECTROSCOPIA E A MECÂNICA QUÂNTICA

A *catástrofe do ultravioleta*, também chamada “catástrofe de Rayleigh-Jeans”, refere-se a uma divergência entre as explicações dadas pela teoria clássica do eletromagnetismo e os espectros de emissão observados de um corpo em equilíbrio térmico com o ambiente, ou um corpo negro. Verificou-se que a intensidade da luz emitida pelo corpo negro variava de acordo com a temperatura, assim como sua cor, que passava do vermelho até o branco.

Baseados na teoria clássica do eletromagnetismo e da termodinâmica, Rayleigh e Jeans partiram da ideia de que a densidade de energia por unidade de tempo irradiada tinha origem na oscilação do campo eletromagnético, e mostraram que:

$$S(\lambda) = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4} \quad (1)$$

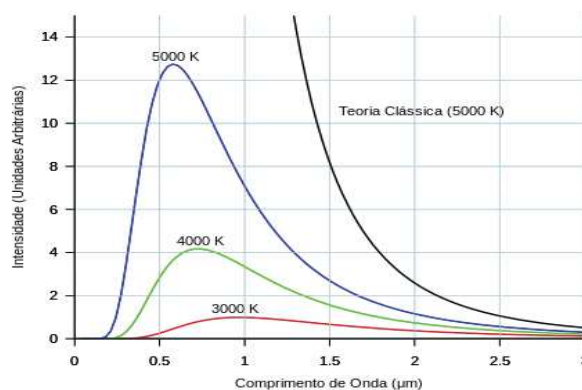
Em que k é a constante de Boltzmann; T representa a temperatura absoluta, λ o comprimento de onda e C a velocidade da luz.

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K.}$$

Portanto, segundo Rayleigh e Jeans, a radiância espectral a uma dada temperatura seria proporcional ao produto da temperatura pelo inverso da quarta potência do comprimento de onda.

A lei de Rayleigh - Jeans se ajustava à curva experimental observada, na faixa dos altos comprimentos de onda, contudo, para comprimentos de ondas cada vez mais curtos, a curva aumentava sem limite (fig. 10), e por esta razão, passou a ser conhecida como catástrofe do ultravioleta (fig.11).

Figura 10 - Gráfico da intensidade x comprimentos de onda



Fonte: Corpo Negro (2020)

Mesmo antes do modelo proposto por Rayleigh e Jeans, Wilhem Wien, em 1894, estudou o deslocamento da radiação dominante no sentido dos menores λ e determinou empiricamente a expressão matemática que relaciona a dependência entre λ_{max} e T, e uma equação conhecida como *lei do deslocamento de Wien*:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (2)$$

Enquanto a solução de Wien se ajustava bem aos pequenos comprimentos de onda, a solução de Raleigh e Jeans se ajustava aos grandes comprimentos de onda.

Planck, ao propor a dedução da expressão de Wien a partir das leis fundamentais da eletrodinâmica e da termodinâmica, encontraria o que mais tarde chamou de “ato de desespero”.

Após inúmeras tentativas – diga-se de passagem, todas fracassadas a princípio –, se vê obrigado, a ajustar a sua equação. No entanto, percebe que a única saída seria a introdução da hipótese de que os osciladores eletrônicos, responsáveis pela emissão da radiação eletromagnética (luz), só poderem vibrar com determinados níveis quantizados de energia. Assim, suas previsões teóricas se ajustavam aos dados experimentais. Para tal, Planck introduz uma constante h , cuja origem advém do alemão *hilfe gröesse*, que significa “grandeza auxiliar”, e mais tarde foi denominada por Planck de *quantum elementar de ação*. Foi somente após a morte do pesquisador que a referida constante fora batizada de *constante de Planck*. Após alguns meses, no que chamou ato de desespero, Planck finalmente apresentou sua fórmula.

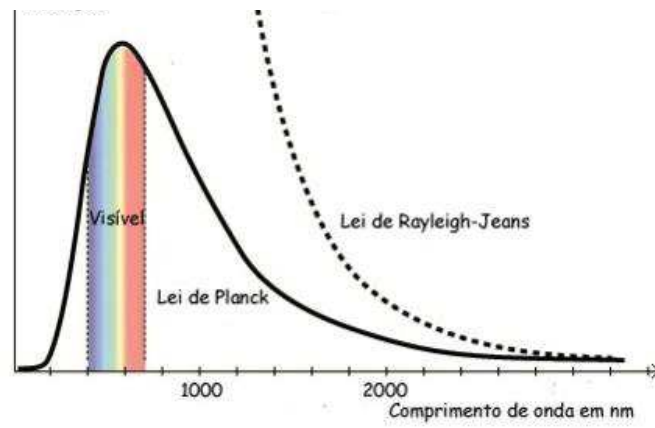
$$S(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (3)$$

Atualmente, o argumento da exponencial hc/λ é escrito na forma hf .

Apesar da coerência entre as previsões teóricas e experimentais, Planck sentia-se desconfortável, uma vez que a sua hipótese – quantização da energia de oscilação dos elétrons – conflitava com as teorias aceitas na época de caráter contínuo da energia.

Assim, em meio a tais divergências, por intermédio do físico alemão Max Karl Ernest Ludwig Planck (1858-1947), nasce a mecânica quântica e a ideia da energia quantizada.

Figura 11 - A Catástrofe do Ultravioleta



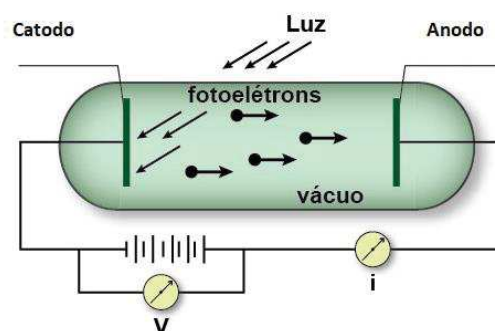
Fonte: Bueno, Palmieri e Leopoldo (2015)

4.0 O EFEITO FOTOELÉTRICO

Em 1887, com o intuito de demonstrar a existência de ondas eletromagnéticas, Hertz produzia, com auxílio de seus aparatos experimentais, descargas entre dois eletrodos. Durante as experimentações, ele observou em vários momentos, uma descarga intensificada, quando a luz incidia sobre o catodo, ou seja, uma indução de raios catódico induzida pela luz. Podemos assim dizer, que Hertz havia descoberto o efeito fotoelétrico.

Uma investigação mais detalhada sobre o fenômeno em questão foi proposta por Phillip Lenard por volta de 1902. Utilizando um dispositivo como o observado na figura abaixo, a luz penetrava no tubo evacuado através de uma janela. Com isto, os elétrons emitidos pelo catodo eram acelerados pela diferença de potencial ajustável e o amperímetro registrava a intensidade da corrente elétrica. O seu modelo experimental (fig. 12), contava ainda, com um chaveamento que permitia aplicar tensões nulas ($\Delta V=0$), positivas ($\Delta V>0$) ou mesmo negativas ($\Delta V<0$).

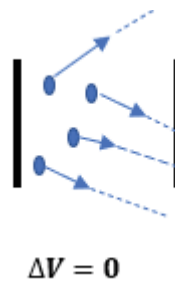
Figura 12 - Dispositivo do efeito fotoelétrico.



Fonte: <https://turon.info/efeito-fotoelétrico-98>

Assim, ele pode observar que a partir de um pequeno valor de $\Delta V>0$ (fig. 14), era possível verificar uma intensidade de corrente aproximadamente constante (fig.15), ainda que o valor a tensão aumentasse. Tal fato não contrariava a expectativa clássica e que poderia ser compreendido da seguinte forma: a presença de uma tensão nula, $\Delta V=0$ (fig. 13), implicaria em um campo elétrico nulo e, portanto, nem todos os elétrons ejetados tocariam o anodo.

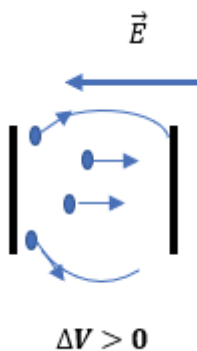
Figura 13- Dispositivo submetido a uma ddp =0



Fonte: Autoria Própria

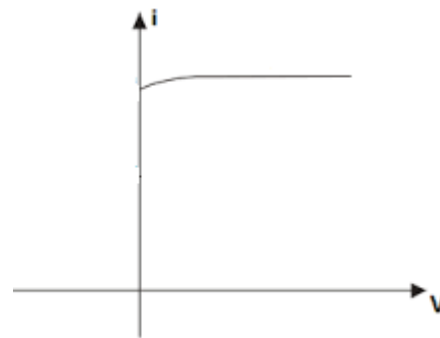
Já ao ajustar a tensão para um valor maior que zero, passa a existir um campo elétrico (\vec{E}) e tais elétrons passariam a ser atraídos pela existência da força elétrica. Assim, com o aumento da tensão, é de se esperar um aumento da corrente, já que mesmo os elétrons menos energéticos conseguiriam atingir o anodo. Uma vez alcançado um valor de saturação para a corrente, mesmo aumento a tensão, a corrente não se alteraria, pois não haveria aumento na incidência de elétrons.

Figura 14- Dispositivo submetido a uma ddp >0



Fonte: Autoria Própria

Figura 15 – Gráfico Corrente x Tensão

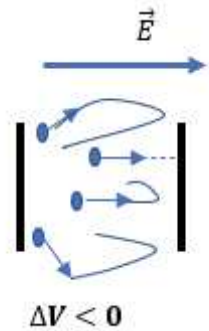


Fonte: Autoria Própria

Já uma tensão negativa ($\Delta V < 0$) (fig. 16), causaria um efeito retardador, devido ao novo campo elétrico. Com isto, os elétrons ejetados em direção ao anodo retornariam ao catodo. É bem verdade, que alguns elétrons mais energéticos ainda poderiam alcançar o anodo. Porém, ao tornar este potencial cada vez mais negativo, para um dado valor, nem mesmo os elétrons mais energéticos alcançariam o anodo e assim a intensidade de corrente atingiria o valor zero (fig.17). Desta forma, se denotarmos de $K_{\text{máx}}$ a energia cinética máxima dos elétrons expelidos do material, é válida a relação:

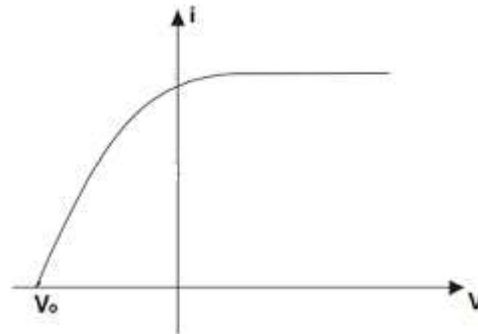
$$K_{\text{máx}} = e \cdot V_0 \quad (4)$$

Figura 16 - Dispositivo submetido a uma ddp > 0



Fonte: Autoria Própria

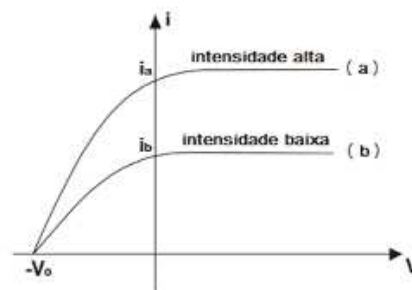
Figura 17 - Gráfico Corrente x Tensão



Fonte: Autoria Própria

Outro fato importante, era que ao ter a intensidade da luz aumentada, sem, no entanto, modificar a sua frequência (fig. 18), observava-se que a corrente de saturação aumentava, na mesma proporção. Já o valor do potencial de corte V_0 permanecia o mesmo. Este fato é surpreendente do ponto de vista das ideias clássicas, pois seria de se esperar que uma maior intensidade da luz acarretaria maior campo eletromagnético e conseqüentemente a uma maior força aplicada a um elétron no material o que em tese, permitiria uma maior energia final deste.

Figura 18 - Gráfico Corrente x Tensão Para Diferentes Intensidades Luminosas



Fonte: Autoria Própria

Com seus experimentos, Lenard fez pode realizar as seguintes conclusões a respeito de suas observações:

- ✓ a ocorrência da emissão de elétrons não dependeria da intensidade da luz incidente;
- ✓ havendo a emissão, a corrente seria proporcional à intensidade da luz, desde que a frequência fosse mantida constante;
- ✓ a ocorrência da emissão dependeria da frequência da luz incidente;
- ✓ para cada metal haveria um limiar de frequência (frequência de corte f_0), abaixo do qual não ocorre a emissão;
- ✓ a energia cinética dos elétrons assim como o potencial de corte crescia com a frequência da luz incidente.

Um outro detalhe muito relevante observado por Lenard, era que, para a boa parte dos materiais, o efeito era muito diminuído caso a luz tivesse que atravessar uma janela de vidro antes de incidir sobre o catodo. Nesta situação, a componente ultravioleta da radiação eletromagnética era filtrada pelo vidro. Este resultado contrariava a teoria clássica já que para a mesma tal fenômeno independia da frequência da radiação incidente.

Lenard também observou que a energia cinética máxima dos elétrons emitidos aumentava com a frequência da radiação utilizada. No entanto, ele não foi capaz de estabelecer uma lei quantitativa que descrevesse esta dependência.

Assim, conclui-se que, à época, algumas observações poderiam ser explicadas pela visão clássica, no entanto, outras tantas fugiam deste alcance. Era também esperado, pela visão clássica, que o elétron só seria expelido após o mesmo ter armazenado energia suficiente para tal. Mal comparando, é como se colocássemos água para ferver sobre uma fonte de calor constante e que independentemente do seu volume, em um dado momento, ela entraria em ebulição.

4.5.1 EINSTEIN E A QUANTIZAÇÃO DA LUZ

Em 1905, Albert Einstein se propõe a explicar as observações a respeito do efeito fotoelétrico que **a física clássica** não dava conta.

Para explicar o espectro de radiação do corpo negro, Planck tinha postulado que a energia de uma onda eletromagnética numa cavidade assumia valores quantizados. Porém, Planck acreditava que esta propriedade era essencialmente uma característica das trocas de energia entre as cargas nas paredes da cavidade e a radiação nela contida. Porém, Einstein dá um passo gigantesco ao interpretar a hipótese de Planck indicando que a radiação era composta de pacotes ou quanta de energia, propagando-se como partículas e assim, justificando o

comportamento da radiação, admitindo que a energia eletromagnética oriunda da luz incidente não ocorre de forma contínua, como uma onda, mas sim de forma discreta.

A cada uma destas partículas - agora chamadas fótons, ele atribuiu uma energia relacionada com a frequência ν da radiação indicada por:

$$E = \nu \cdot h \quad (5)$$

Einstein ainda coloque que um feixe de fótons ao incidir sobre a placa, esses fótons só possuem duas possibilidades: ou transmitem toda energia ao elétron ou nada além disso, a transmissão ocorre sempre em pares, ou seja, um fóton transmite para um elétron, não havendo a possibilidade de transferência de energia um único fóton para vários elétrons, por exemplo.

Assim, chamando de função trabalho do metal (Φ) a energia mínima requerida para arrancar um elétron de sua superfície, bastaria a interação de um único fóton com um elétron para que se observe o efeito fotoelétrico, desde que este fóton tenha energia suficiente para ejetar o elétron. Desta forma, fica claro a independência do efeito fotoelétrico com a intensidade luminosa.

$$E = \nu h > \Phi \quad (6)$$

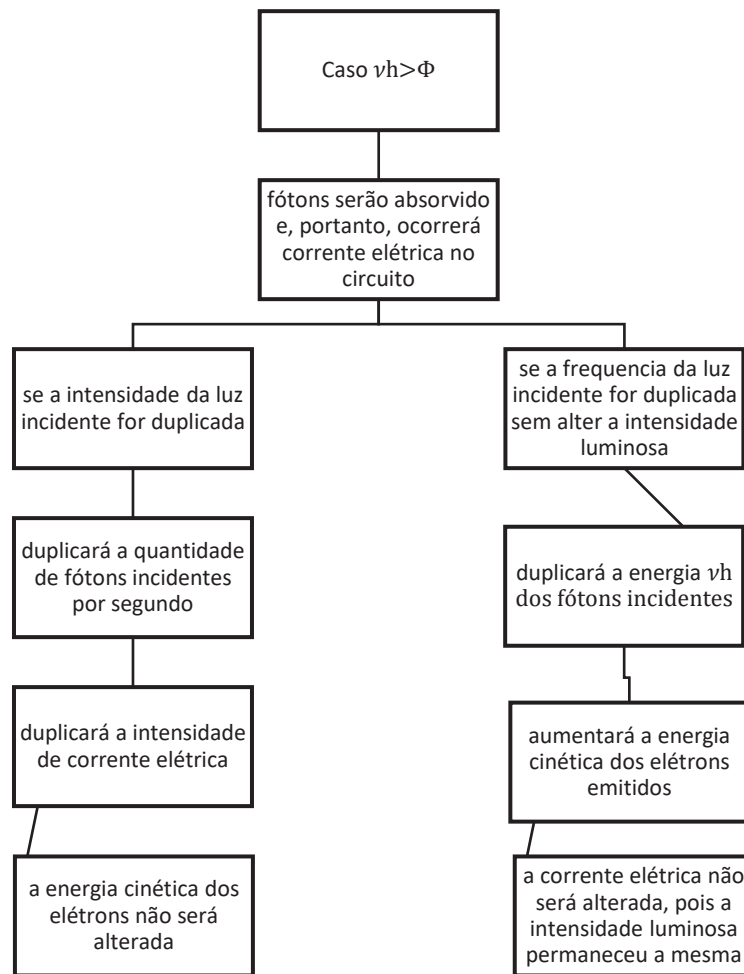
Nessas condições, a energia absorvida pela placa será utilizada para ejetar o elétron. E como a energia absorvida é maior que a função trabalho, a diferença entre essas energias será convertida em energia cinética. Assim, quanto maior a energia do fóton incidente, maior será a energia cinética (K) do elétron ejetado. E pelo princípio da conservação da energia podemos escrever a famosa equação de Einstein do efeito fotoelétrico:

$$K = \nu \cdot h - \Phi \quad (7)$$

Por outro lado, caso a energia a energia do fóton incidente seja inferior a função trabalho ($E = \nu h < \Phi$), o fóton simplesmente não será absorvido e sim refletido pela placa, com a mesma energia incidente, como numa colisão perfeitamente elástica, o que explica o fato da placa não acumular energia de forma gradativa até seja suficiente para ejetar o elétron.

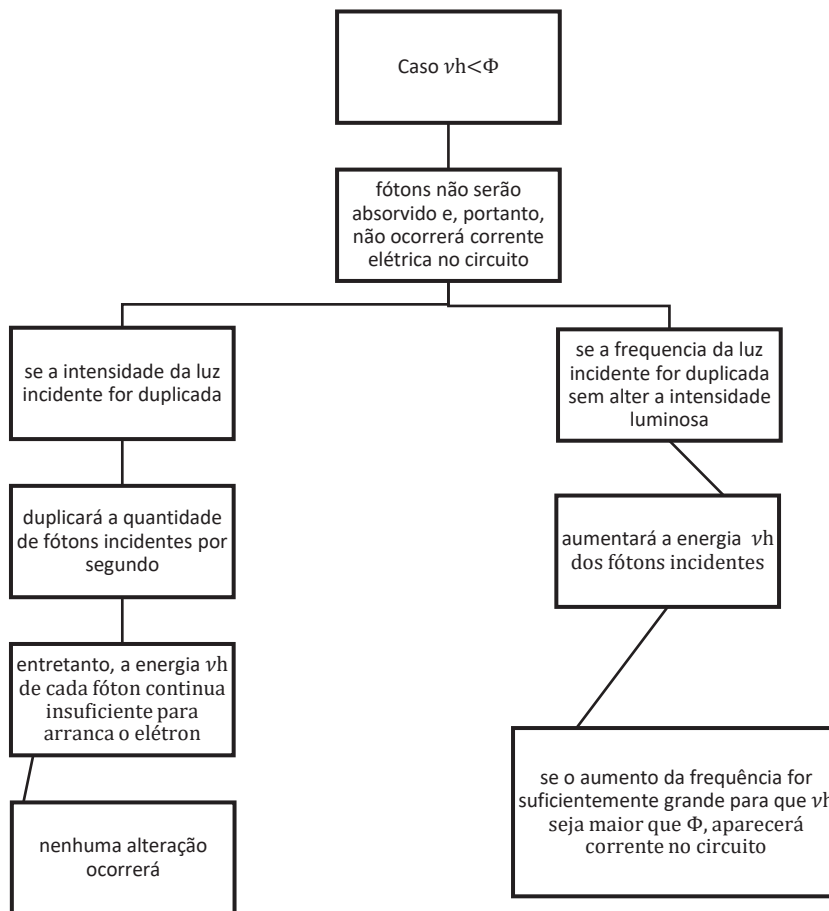
A equação do efeito fotoelétrico nos leva as seguintes conclusões:

Diagrama 1 – Fóton incidente com energia suficiente para ejetar o elétron
($E=h\nu>\Phi$)



Fonte: NETO (2012)

Diagrama 2 -Fóton incidente com energia insuficiente para ejetar o elétron
 $E = \nu h < \Phi$



Fonte: NETO (2012)

A energia cinética (K) prevista pela equação de Einstein do efeito fotoelétrico, refere-se a energia cinética máxima. No entanto, os elétrons serão emitidos com tal energia cinética somente quando esses são provenientes das camadas superficiais dos metais. Contudo, o metal às vezes emite elétrons com energia cinética menor que a máxima, quando esses são oriundos de átomos de camadas mais internas da rede metálica.

Há ainda a possibilidade de a energia ser igual a função trabalho ($E = \nu h = \Phi$). Nesta situação, dizemos que a frequência (ν) passe a ser conhecida como a frequência de corte (ν_0) e, portanto,

$$\nu_0 = \frac{\Phi}{h} \text{ ou } \Phi = \nu_0 h \quad (8)$$

Reescrevendo a energia cinética máxima com base nos postulados de Einstein, chegamos a:

$$K_{m\acute{a}x} = eV_o \quad (9)$$

Portanto:

$$V_o = \frac{K_{m\acute{a}x}}{e} \quad (10)$$

E pela equação de Einstein do efeito fotoelétrico:

$$K_{m\acute{a}x} = \nu h - \Phi \quad (11)$$

Portanto, relacionando as equações 10 e 11, teremos:

$$V_o = \frac{\nu h - \Phi}{e} \quad (12)$$

Substituindo a equação (8) na (12) teremos:

$$V_o = \frac{h}{e}(\nu - \nu_o) \quad (13)$$

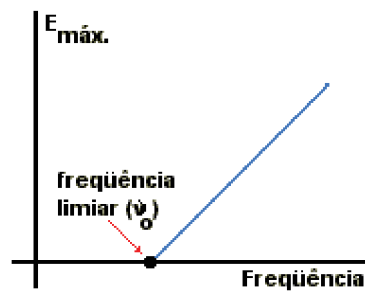
A equação acima, demonstra que a tensão de corte depende da frequência da iluminação.

É possível relacionarmos a energia cinética dos elétrons emitidos em função da frequência do fóton incidente.

$$K_{m\acute{a}x} = \nu h - \Phi \quad (14)$$

Observe que enquanto a frequência do fóton incidente não atingir um certo valor crítico, denominado “frequência de corte”, nenhum elétron será emitido. Verifica-se ainda, uma dependência linear entre a energia cinética e a frequência (fig. 19), durante a fase de emissão dos elétrons.

Figura 19 - Gráfico Energia x Frequência



Fonte: Autoria Própria

Observe que o coeficiente angular da reta obtida se refere a constante de Planck (h). Assim, essa análise gráfica, a partir de dados reais, permite testar as hipóteses de Einstein além de medir, indiretamente, a constante de Planck.

5. A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES SOB UM OLHAR QUALITATIVO

Os semicondutores são hoje os principais responsáveis pelo avanço da microeletrônica, estando presentes em componentes eletrônicos tais como diodos, transistores, diodos emissores de luz (LEDs) e *microchips*.

Diferentemente do que muitos possam imaginar, os semicondutores não são encontrados na natureza; são fruto da criação humana realizada a partir de elementos químicos naturais, como o germânio e o silício. É bem verdade que nem todo semicondutor tem como base esses dois elementos. Os LEDs, são exemplos de semicondutores que utilizam outras bases, como os fosfetos e os arsenietos. Quando energizados, emitem luz, cuja cor dependerá da combinação de elementos químicos utilizados na constituição desse semicondutor.

Quadro 2 - Relação das Cores e os Materiais Utilizados

COR	LED MATERIAL	IDENTIFICAÇÃO DO ELEMENTO
Infravermelho	AlGaAs/GaAs	Arsenieto de gálio de alumínio/ Arsenieto de Gálio
Vermelho	GaAsP	Fosfoarsenieto de Gálio
Laranja	AlGaInP	Fosfeto de Índio, Gálio e Alumínio
Amarelo	GaAsP	Fosforeto de arseneto de gálio
Verde	InGaN	Nitreto de Gálio e Índio
Azul	ZnSe	Seleneto de Zinco
Ultravioleta	BN/AlGaN	Nitreto de Boro/– Nitreto de Gálio e Alumínio

Fonte: Autoria própria

O LED vermelho foi criado em 1962 por Nick Honyak e utilizava como base do semicondutor o arsenieto de gálio. Dez anos após, M. George Graford, criou o primeiro LED amarelo ao modificar a base do semicondutor do LED vermelho, incluindo o fósforo como um dos elementos base; e, em 1975, surge o LED verde, que fora gerado a partir da combinação de Gálio, Índio e Nitrogênio.

Apesar de importantes, os LEDs vermelho, amarelo ou verde não poderiam ser utilizados para substituir as lâmpadas incandescentes, algo que fora possível somente a partir da descoberta do LED azul. Em 1993, os pesquisadores japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura fizeram um semicondutor emissor de luz azul usando nitreto de gálio. E assim foi possível a construção das primeiras lâmpadas de LED brancas, a partir da técnica

de misturas adicionais de cores. Neste caso, a luz branca é gerada a partir da combinação das luzes vermelha, verde e azul.

Dada a importância desses dois elementos (Silício e Germânio) junto aos semicondutores, nós os utilizaremos aqui como modelo, no intuito de explicar o comportamento tanto dos diferentes tipos de semicondutores e, em particular, dos LEDs, uma vez que os utilizaremos como elementos motivadores para o estudo de conceitos iniciais de Física Moderna no produto educacional. Além disso, é um tema de muita importância em razão de sua presença no dia a dia das pessoas.

Assim, ao longo deste capítulo, discutiremos algumas características dos condutores, dos isolantes e dos semicondutores, tomando como base a resistividade elétrica e o seu comportamento mediante à variação de temperatura. Em seguida, abordaremos os semicondutores sob a perspectiva da teoria de bandas dos sólidos. Apresentaremos ainda os processos de dopagens tanto do tipo P quanto do tipo N e, conseqüentemente, da junção PN, da zona de depleção e das polarizações diretas e inversas.

5.1 CONDUTORES, SEMICONDUCTORES E ISOLANTES - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

A condutividade elétrica (σ) é um coeficiente que indica a facilidade com que um material é capaz de conduzir uma corrente elétrica.

Segundo Callister e Rethwisch (2016), os materiais sólidos apresentam uma larga faixa de condutividade elétrica. Em sua maioria, as correntes elétricas têm origem no fluxo de elétrons, o que é denominado corrente elétrica. Uma forma de classificar os materiais sólidos, geralmente utilizada no contexto da física clássica, é de acordo com o valor de sua condutividade elétrica, que nos permite organizá-los em três grupos: *condutores*, *semicondutores* e *isolantes*. Apresentaremos posteriormente a descrição destes elementos no contexto da física moderna, envolvendo a estrutura interna desses materiais.

Os metais são considerados bons condutores, apresentando coeficientes de condutividades na ordem de $10^7(\Omega.m)^{-1}$, enquanto os isolantes apresentam valores compreendidos entre 10^{-10} e $10^{-20} (\Omega.m)^{-1}$. Já os sólidos que apresentam coeficiente de condutividade elétrica de valor intermediário entre os apresentados pelos condutores metálicos e isolantes, entre 10^{-6} e $10^4 (\Omega.m)^{-1}$, são denominados semicondutores.

Uma das características interessantes dos metais é que, enquanto a condutividade elétrica cai com o aumento da temperatura – ou seja, é observado um aumento na sua resistividade elétrica –, o oposto, em geral, ocorre com os semicondutores.

O fato de a resistividade elétrica dos semicondutores poder ser sensivelmente alterada e até mesmo controlada seja por fatores externos – a exemplo da incidência luminosa, variação de temperatura –, seja por fatores internos – como os processos de dopagens, que serão discutidos mais à frente –, atribui a esses materiais algumas vantagens sobre os demais condutores e isolantes, principalmente sob a ótica da microeletrônica.

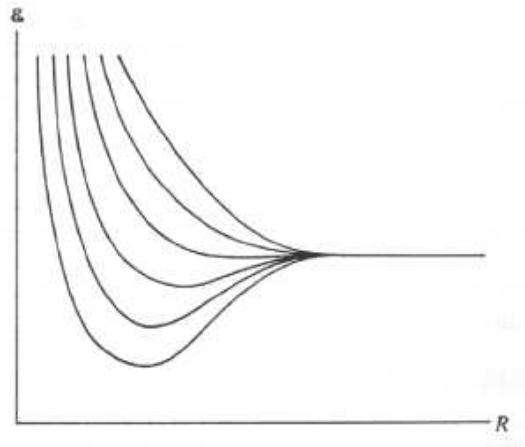
Na sua forma mais pura, os semicondutores são ditos *intrínsecos* ou *puros*. Estes últimos apresentam alta resistividade, com comportamento similar ao de um isolante. Quando a um semicondutor intrínseco é adicionada alguma impureza, passa a ser denominado *semicondutor extrínseco* ou *dopado*. Enquanto os intrínsecos apresentam uma concentração de cargas positivas igual à concentração de cargas negativas, mesmo quando olhamos os átomos individualmente, os extrínsecos, devido à introdução de elementos dopantes, apresentam íons no material. Neste caso, embora o semicondutor como um todo continue eletricamente neutro, em níveis atômicos teremos regiões com cargas não neutras.

5.2 TEORIA DE BANDAS DOS SÓLIDOS

A título de ilustração, imaginem-se dois átomos idênticos e separados por uma distância tal que a energia de cada nível desses átomos se mantenha da forma como quando os consideramos isolados.

Ao aproximarmos os átomos, chegar-se-á a um ponto suficiente para que suas funções de onda se superponham. Neste momento, não cabe mais falar em átomos isolados, mas sim em um sistema de dois átomos. Contudo, o princípio de exclusão de Pauli afirma que dois férmions idênticos não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente. Portanto, os elétrons dos dois átomos em questão deverão ocupar estados quânticos diferentes, fazendo com que cada nível de energia do átomo isolado se desdobre em dois. Assim, por exemplo, em um sistema de seis (6) átomos, teríamos seis (6) desdobramentos e com espaçamentos entre si muito pequenos, conforme a figura a seguir:

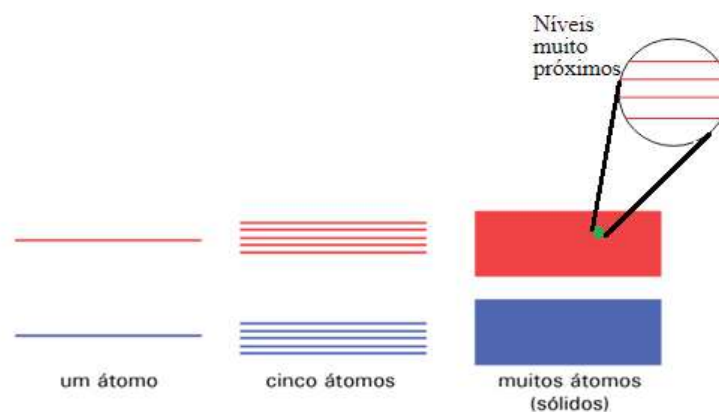
Figura 20 - Esquema do desdobramento de um nível de energia de seis átomos, em função da separação R entre átomos adjacentes



Fonte: Eisberg e Resnick (1979)

Em um sólido macroscópico, o número de átomos é da ordem de 10^{23} , e, como consequência, surge um número equivalente de desdobramentos em cada nível de energia, e espaçados de forma praticamente contínua. A esse conjunto de desdobramentos denominamos *banda de energia*. Na Figura 21, que ilustra a formação de bandas em um sólido, observa-se, da esquerda para a direita, respectivamente, um átomo isolado, um sistema de cinco átomos e um sistema com 1 mol de átomo:

Figura 21 - Formação de bandas num sólido.

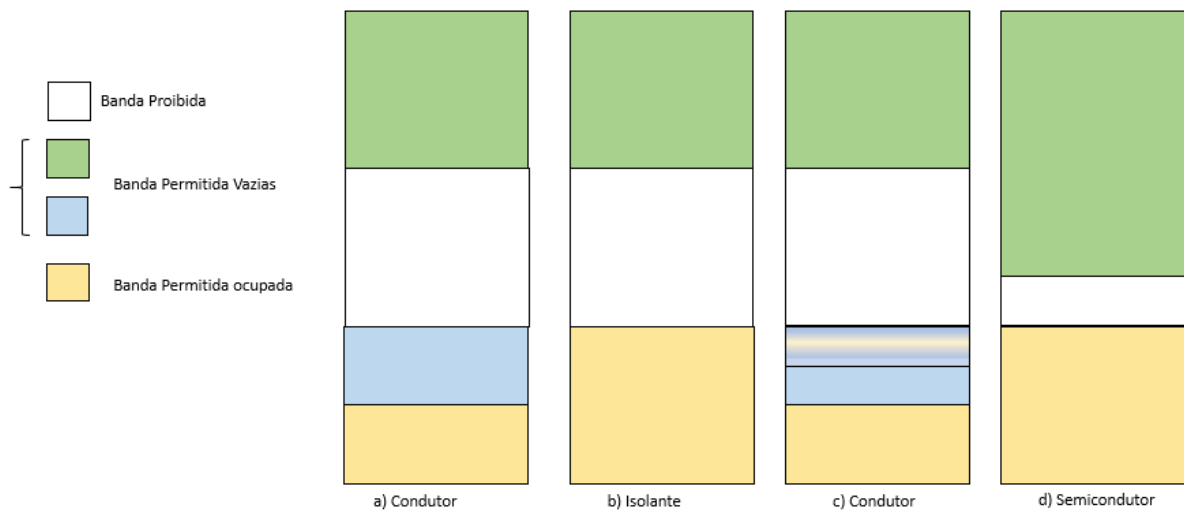


Fonte: *University of Delaware* (2013)

Surge então uma banda para cada nível de energia do átomo isolado. Tais bandas podem estar bem próximas umas das outras, bem afastadas ou até mesmo sobrepostas, dependendo apenas do tipo de átomo e do tipo de ligação do sólido.

Tipler (2008) explica que, uma vez constituídas as bandas, aquela de maior energia será denominada *banda de valência* e conterá os elétrons que podem fazer parte da condução, enquanto a banda mais baixa, onde existem estados não ocupados, denomina-se *banda de condução*. Os possíveis intervalos que venham a responder pela separação das bandas são denominados *gap* ou simplesmente *banda proibida*. Esta noção de bandas permite classificar genericamente os materiais como *isolantes*, *condutores* e *semicondutores*, de acordo com a sua estrutura interna.

Figura 22 - Bandas de energia permitida e bandas proibidas



Fonte: Stoa Wiki (2013) e modificada pelo autor.

Na figura. 15, temos quatro exemplos de estrutura de bandas de materiais condutores, semicondutores e isolantes. Em (a), temos um condutor típico, cuja banda de valência está parcialmente cheia, de modo que os elétrons podem ser facilmente excitados até estados de energia vizinhos; em (b), temos um isolante típico, cuja banda de energia proibida tem uma diferença grande entre a banda de condução e a banda de valência completamente cheia; em (c), há um condutor em que há superposição de bandas de energia permitidas; por fim, em (d), há um semicondutor, cuja lacuna de energia entre a banda de valência cheia e a de condução é muito pequena, de modo que alguns elétrons podem ser excitados nas temperaturas ambientes até a banda de condução, deixando buracos na banda de valência.

5.2.1 Condutores, Semicondutores e Isolantes Sob o Olhar da Teoria de Bandas dos Sólidos

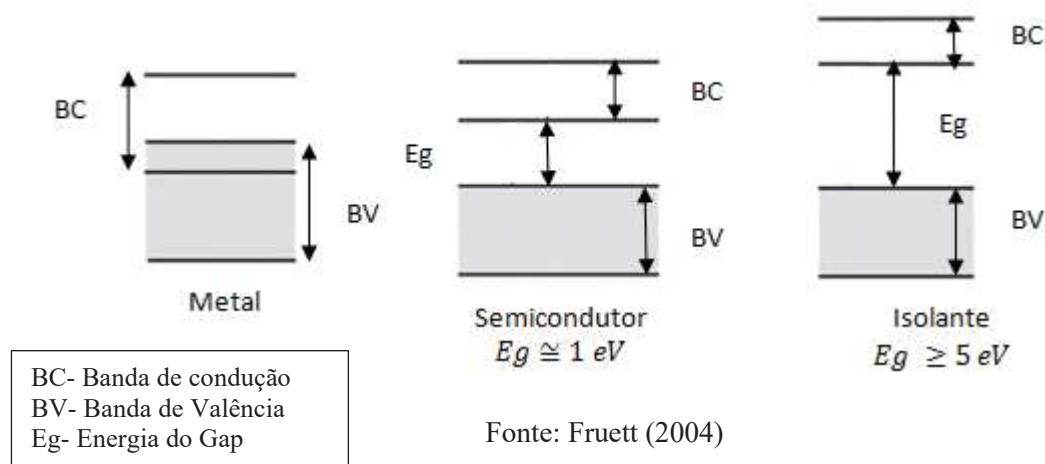
Na literatura técnica sobre materiais sólidos, a diferença entre um isolante e um semicondutor é explicada justamente na largura do espaçamento entre as bandas (Callister e Rethwisch, 2016). Os isolantes apresentam uma banda de valência totalmente preenchida, separada da banda de condução por uma larga região de energia proibida (*gap*), o que, de certo modo, impossibilita o deslocamento dos elétrons diante de um campo elétrico de valores usuais.

Já os semicondutores apresentam uma lacuna de energia proibida muito estreita, localizada entre a banda de valência totalmente preenchida e a de condução vazia, de modo que pode ocorrer a passagem de um elétron de uma banda a outra, com demanda de energia relativamente baixa (fig.16).

Outro detalhe muito relevante a ser destacado nesse processo é o tipo de ligação: enquanto os semicondutores apresentam ligações covalentes – o que significa que seus elétrons de valência não estão tão fortemente ligados ao átomo –, os isolantes apresentam a ligação iônica, que torna seus elétrons de valência fortemente ligados. Os condutores típicos, por sua vez, apresentam a banda de condução cheia, de modo que seus elétrons podem ser excitados facilmente para outros estados. Sempre que isto ocorre, promove-se a ocupação de sua vacância por outro elétron e assim sucessivamente, causando, então, o efeito denominado de *corrente elétrica*.

Conclui-se, dessa forma, que o grau de condutividade é determinado pela estrutura de bandas de energia de um sólido.

Figura 23 - Estrutura simplificada das bandas de energia a 0 K



Veja-se, então, que, para que um elétron se torne livre, deve ser promovido através do espaçamento entre bandas de energia para estados vazios na parte inferior da banda de condução. Além da energia de excitação, a locomoção desses elétrons dependerá também do espaçamento entre as bandas. Quanto maior for esse espaçamento, menor a probabilidade de que esses elétrons sejam promovidos à banda de condução, já que a demanda de energia será cada vez mais alta.

Para os metais, observa-se que a banda de valência está parcialmente ocupada, fato que permitirá, graças a um pequeno fornecimento de energia, uma navegação por parte dos portadores de carga nesta banda. Já no caso dos isolantes e dos semicondutores, a banda de valência estará completamente cheia. Assim, o portador de carga teria de buscar uma próxima banda que não estivesse completa, a banda de condução. No entanto, essas duas bandas estão separadas por um elevado valor de energia, na ordem de 5 a 10 eV, para isolantes, e da ordem de 1 a 2 eV para semicondutores.

Assim, podemos dizer que, para que um material isolante ou semicondutor possa conduzir portadores, os elétrons livres deveriam ter um ganho energético no mínimo equivalente à diferença de energia entre o topo da banda e valência e o mínimo da banda de condução.

No caso dos semicondutores, a energia do *gap* necessária para que o elétron passe da banda de valência para a de condução apresenta um valor bem inferior ao dos isolantes. Dessa forma, para que a condução ocorra em semicondutores, basta aplicar no material uma diferença de potencial pequena (da ordem de poucos volts) e, em muitos casos, a incidência luminosa ou incidência térmica também seriam capazes de provocar tal efeito. No caso destes materiais, há ainda fatores como a dopagem, que, por adicionar novos níveis de energia dentro da banda proibida, fazem com que haja uma condução dos portadores a um custo energético ainda menor, como será discutido nos próximos tópicos. Na próxima seção apresentaremos alguns desses fatores e seus papéis no funcionamento de dispositivos eletrônicos.

5.3 SEMICONDUTORES

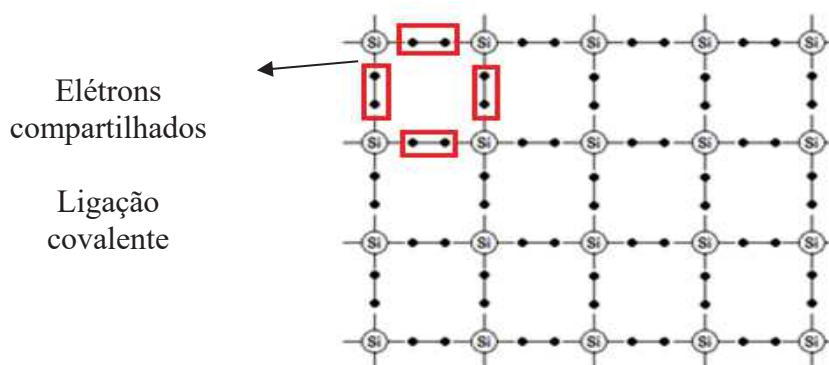
Os semicondutores, como o próprio nome sugere, são aqueles materiais que apresentam um comportamento compreendido entre o apresentado pelos condutores e o apresentado pelos isolantes – o que, aliás, é do escopo do teorema de Bandas.

As propriedades características dos semicondutores os tornam muito úteis, principalmente para a microeletrônica, já que a condutividade desses materiais pode vir a ser controlada pela aplicação de uma tensão externa, pela variação térmica, pela incidência luminosa ou mesmo pode ser intensificada pelo processo denominado *dopagem*.

Os materiais semicondutores utilizados principalmente para a construção de equipamentos ligados à microeletrônica são os da família 14, antiga 4A, com destaque para o carbono (C), o silício (Si) e o germânio (Ge). Todos esses elementos apresentam uma mesma peculiaridade, a tetravalência, ou seja, apresentam quatro elétrons nas suas respectivas últimas camadas, denominadas de *camadas de valência*.

Por se tratar de elementos tetravalentes, para a formação de suas redes cristalinas (fig. 24), é necessário que seus átomos compartilhem elétrons em um tipo de ligação denominada covalente, a fim de atingirem a estabilização ao alcançarem oito elétrons nas suas últimas camadas. Tal fato torna essa rede um material de baixa condutividade, assemelhando-se muito mais a um isolante.

Figura 24 - Rede cristalina de Silício



Fonte: Adaptado de Peruzzo, Pottker e Prado (2014).

No entanto, a condutividade dessa rede de semicondutores pode ser sensivelmente modificada quando a esta rede são associadas impurezas, tornando-a um semicondutor extrínseco. Esse processo, denominado de dopagem, faz com que a condutividade dos semicondutores seja aumentada, potencializando também, mais ainda, suas versatilidades. Isso ocorre quando é introduzido um pequeno número de átomos à rede cristalina do semicondutor, conhecidos como *impurezas*.

Nos átomos tetravalentes, a substituição de um dos átomos de sua rede por um átomo pentavalente equivale a acrescentar um elétron à banda de valência, ao passo que a substituição

por um átomo trivalente equivale a acrescentar um buraco. Segundo esse critério, os semicondutores dopados são caracterizados como *tipo N* e *tipo P*.

Dependendo da impureza introduzida, o processo de dopagem faz com que surjam níveis discretos cheios ligeiramente abaixo da banda de condução ou níveis discretos vazios ligeiramente acima do topo da banda de valência. Enquanto o primeiro caso faz com que os elétrons desse nível discreto e cheio sejam facilmente excitados, possibilitando seu transporte para a banda de condução situada logo acima, o segundo faz com que os elétrons de valência sejam facilmente excitados para esses níveis de impureza.

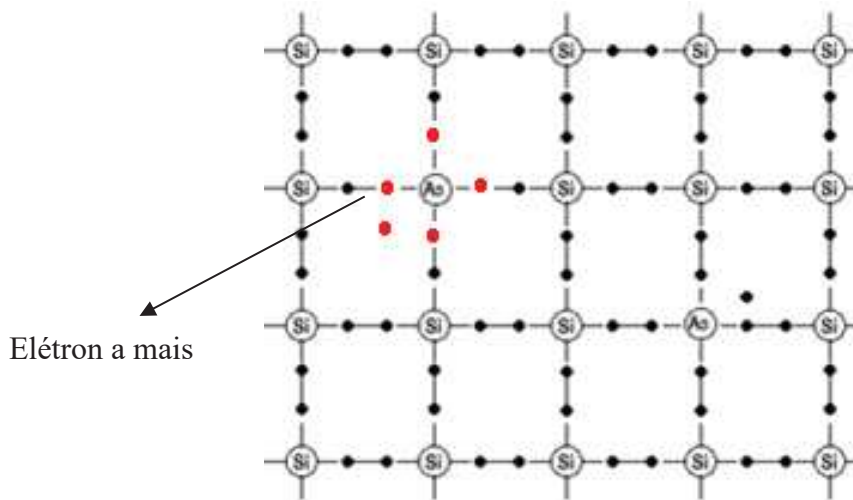
Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016), em geral, apenas um átomo em cada 10^7 é substituído por uma impureza. Observa-se, então, que a adição de pequenas quantidades de outras substâncias a um semicondutor é capaz de modificar suas características elétricas, permitindo o desenvolvimento de diversos tipos de componentes eletrônicos, tais como os transistores, os LEDs e os diodos.

5.3.1 Dopagem tipo N

A dopagem do tipo N ocorre quando à rede cristalina é introduzido um átomo com um número de valência superior ao dos átomos constituintes daquele semicondutor puro (intrínseco). Dessa forma, passará a existir um excesso de elétrons em comparação com o estado anterior do retículo cristalino. Energeticamente, isso representa a criação de níveis discretos cheios ligeiramente abaixo da banda de condução. Elétrons desse nível cheio podem ser facilmente excitados e passar para a banda de condução logo acima. Em temperatura ambiente, todos esses elétrons em excesso estarão já na banda de condução.

A título de ilustração, vamos pensar na rede de silício (Si). Ao substituirmos um átomo de silício (Si) por um átomo de arsênio (As), elemento pentavalente, quatro dos seus cinco elétrons de valência passarão a formar as ligações covalentes com os quatro elétrons de valência pertencentes aos quatro vizinhos de silício (fig. 25). O quinto elétron do arsênio não fará parte desta ligação e, assim, ficará fracamente ligado ao seu núcleo, e por esta razão poderá ser facilmente excitado para a banda de condução. Cabe aqui ressaltar, mais uma vez, que apesar da dopagem, essa rede com um todo continuará está eletricamente neutra.

Figura 25 – Dopagem do Tipo N

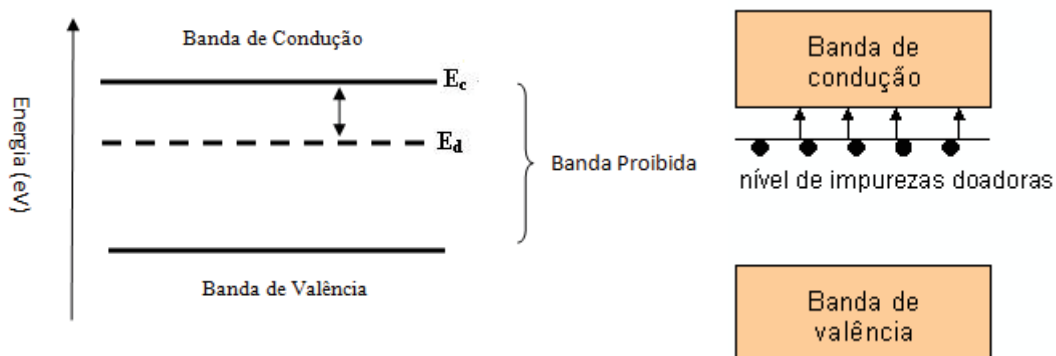


Fonte: Adaptado de Peruzzo, Pottker e Prado (2014).

Nessa configuração, o arsênio é denominado de *doador*, já que agora pode doar elétrons para banda de valência, e os semicondutores dopados com esses tipos de impurezas são denominados de *semicondutores do tipo N*.

Observe-se que, em um semiconductor do tipo N, as impurezas introduzem na banda proibida um novo nível de energia E_d próximo ao mais baixo nível de energia desocupado E_c (fig. 26). Em outras palavras, podemos dizer que os átomos de impureza fornecem níveis de energia ocupados que ficam um pouco abaixo da banda de condução e assim, estes níveis doam elétrons para a banda de condução.

Figura 26 - Representação dos níveis de energia em semicondutores extrínsecos do tipo-N



Fonte: Elaboração própria, 2020.

5.3.2 Dopagem tipo P

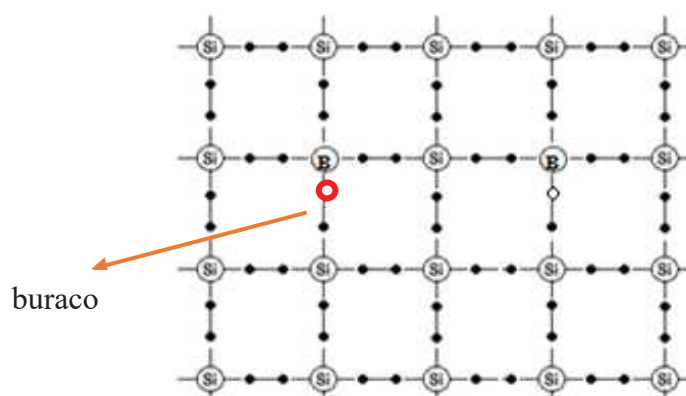
Imagine-se agora que um átomo de silício seja substituído por um átomo trivalente, como, por exemplo, o boro (B). Semelhantemente ao caso do arsênio, o átomo de boro também realizará ligações covalentes, porém, com apenas três átomos vizinhos de silício ao invés de quatro. Dessa forma, ocorrerá uma lacuna em uma das ligações (fig. 20), que pode ser entendida como um buraco passível de acomodar elétrons vindos de outros átomos. Esse buraco é essencialmente um portador de carga positiva, de modo que o semiconductor assim criado é denominado *semiconductor tipo P*.

Do ponto de vista energético, as impurezas introduzidas criam níveis discretos vazios ligeiramente acima do topo da banda de valência. Com isso, elétrons de valência são facilmente excitados para esses níveis de impureza, que podem aceitá-los, deixando buracos na banda de valência. Em suma, em um semiconductor do tipo P, o novo nível de energia E_d é introduzido próximo ao mais alto nível de energia ocupado na banda de valência E_v .

Assim, bastará uma pequena energia para que um elétron seja deslocado de uma ligação silício-silício para completar a lacuna, deixando um buraco na ligação covalente original. Esse buraco poderá ser preenchido pelo elétron de outra ligação covalente de forma sucessiva, dando assim, o significado de um movimento aparente dos buracos ao longo da rede.

O átomo de Boro será denominado de *impureza aceitadora*, já que aceita elétrons de ligações covalentes, e os semicondutores dopados com impurezas desse tipo são denominados de *semicondutores do tipo P* (fig.27).

Figura 27 - Dopagem do tipo P

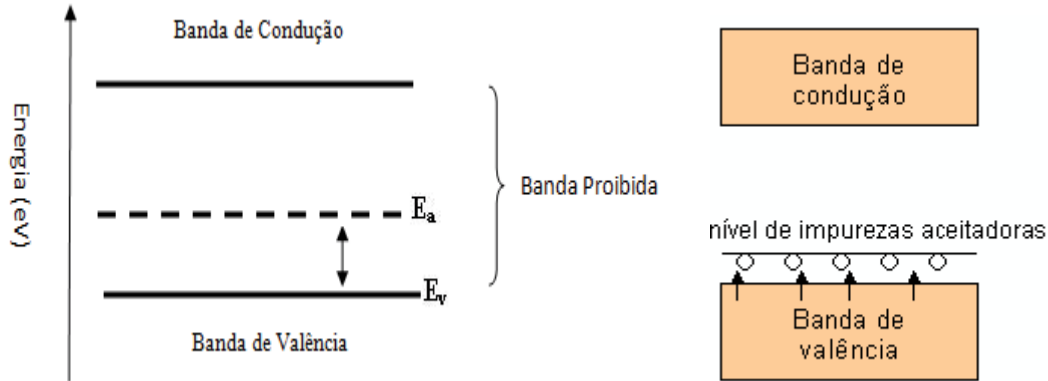


Fonte: Adaptado de Peruzzo, Pottker e Prado (2014).

Assim, o lugar vazio formado pela ligação incompleta da impureza aceitadora encontra-se pouco acima de E_v . A energia de ionização é, pois, igual a $E_d - E_v$. Na figura 28, que

representa os níveis de energia em semicondutores extrínsecos, E_a é o nível de energia aceitador e E_v é o mais alto nível de energia ocupado na banda de valência:

Figura 28 - Representação dos níveis de energia em semicondutores extrínsecos do tipo P.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

5.3.3 Junção P-N

A junção P-N trata-se de um cristal semiconductor extrínseco constituído por outros dois semicondutores também extrínsecos, sendo de um lado dopado com impurezas aceitadoras, do tipo N (fig.30), e de outro com impurezas doadoras, do tipo P (fig.29). A região onde o semiconductor passa do tipo P para o tipo N é chamada de junção P-N (TIPLER & MOSCA, 2008).

Figura 30 - Cristal tipo N

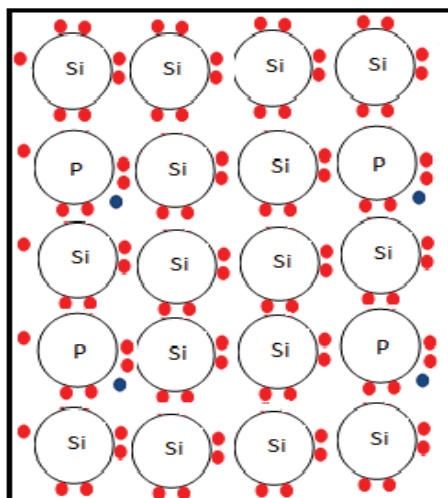
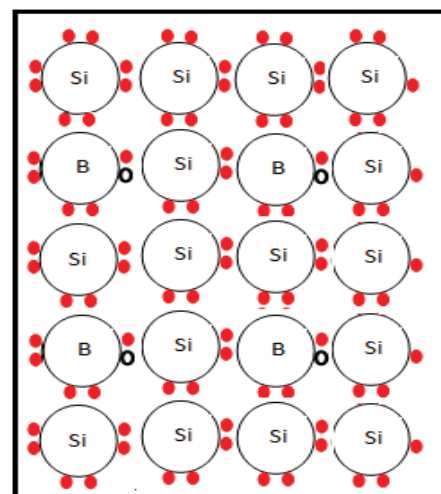


Figura 29 - Cristal tipo P

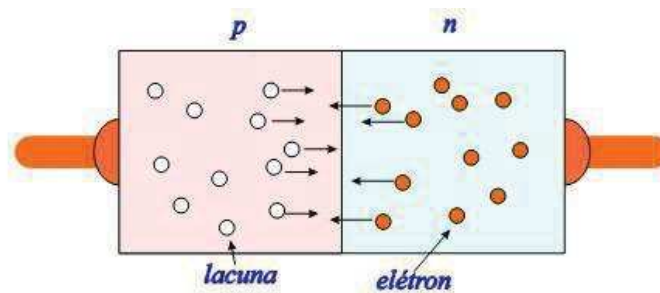


Fonte: Elaboração própria, 2020.

Quando os cristais semicondutores do tipo P e do tipo N são unidos, a diferença no gradiente de concentração de elétrons entre eles ocasionará uma difusão imediata dos elétrons (fig. 31) que se encontram próximos ao plano de junção entre esses dois cristais, fazendo com que esses elétrons migrem do lado N para o lado P, assim como buracos do lado P para o lado N.

Assim que um elétron penetra no material tipo P, ele irá se recombinar rapidamente com uma lacuna, formando um íon negativo na borda do cristal. As lacunas, ao penetrarem no material tipo N, também sofrerão recombinação e formarão íons positivos na borda do material. Ao longo do tempo, a concentração de íons em torno do ponto de junção entre os dois cristais irá aumentar. Devido a isso, cria-se um campo elétrico no ponto de junção, o qual age no sentido de impedir a migração de portadores.

Figura 31 - Junção P-N

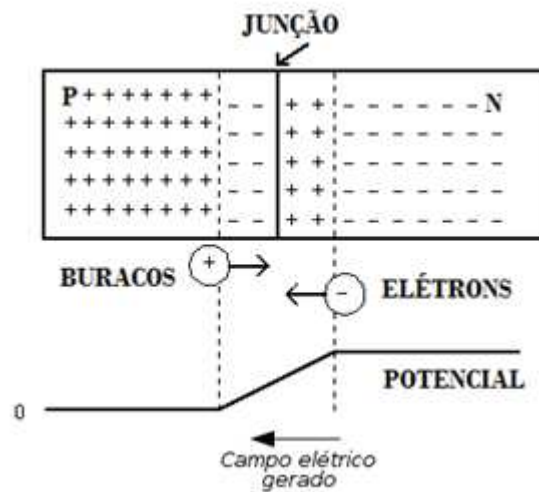


Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2016)

Em um determinado momento, a força desse campo elétrico é forte o suficiente para impedir que qualquer portador atinja a região em torno da junção, gerando, portanto, uma região repleta de portadores: a *região de depleção* ou *camada de depleção*.

Após o equilíbrio, ocorrerá uma concentração de cargas positivas no lado N e uma concentração fronteira de cargas negativas do lado P (fig. 32), o que acabará por causar uma diferença de potencial na junção, resultando em um potencial $V_N > V_P$. Consequentemente, quando um elétron vindo do lado N, na tentativa de buscar um maior potencial, acaba se deparando com uma região de baixo potencial oriunda do processo de difusão, sendo assim repellido de volta para o lado N (Halliday, Resnick Walker, 2016).

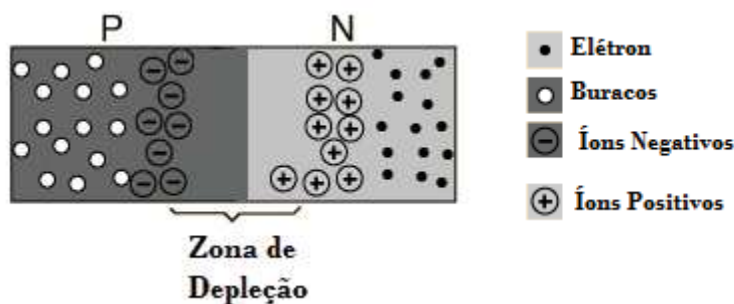
Figura 32 - Junção P-N e a barreira de potencial



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Passa, então, a existir, próximo à junção, uma região sem lacunas e sem elétrons livres, denominada *camada de depleção* ou *barreira de potencial* (fig. 33).

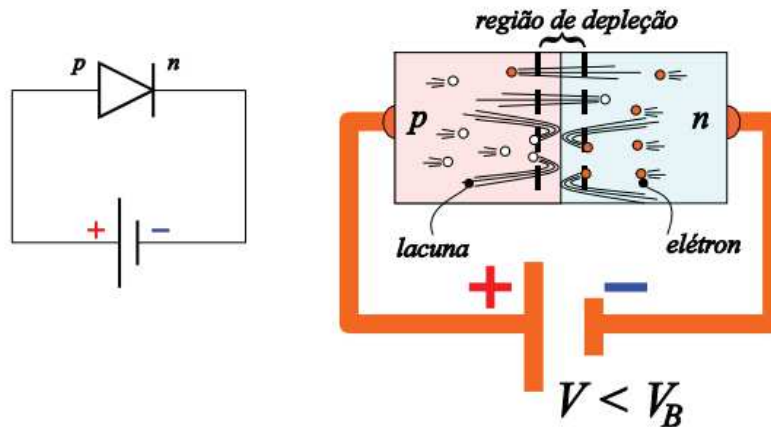
Figura 33 - Junção P-N



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2016)

Assim, ao aplicarmos uma diferença de potencial (DDP) externa a uma junção P-N, de tal modo que o lado P fique no positivo e o lado N no negativo, afirmamos que houve uma polarização direta (fig. 34). Dessa forma, as cargas positivas do lado P sofrerão uma repulsão, ocorrendo o mesmo processo do lado N, porém com as cargas negativas. Tal procedimento resultará na diminuição da barreira de potencial já que se estreita a zona de depleção. Com o aumento da tensão, a zona de depleção diminui ainda mais, permitindo assim uma nova recombinação.

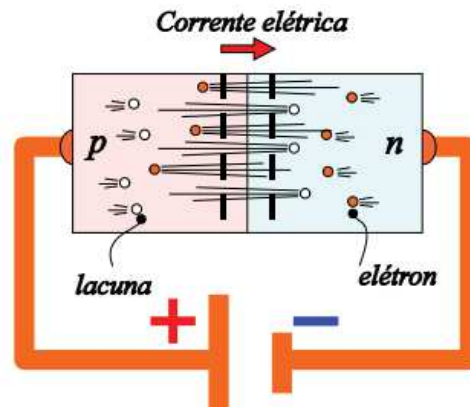
Figura 34 - Polarização Direta



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2016)

Uma vez que a tensão aplicada aos terminais do diodo exceder o valor da barreira de potencial, lacunas do lado P e elétrons do lado N adquirem energia superior àquela necessária para superar a barreira de potencial, produzindo como resultado um grande aumento da corrente elétrica através do diodo, conforme representado na fig. 35.

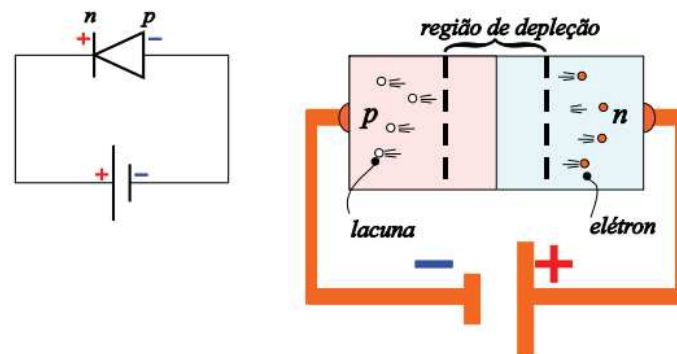
Figura 35 - Diodo em condução



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2016)

Observe-se que, caso a polaridade seja invertida, afirmamos que houve uma polarização inversa (fig. 36). Assim sendo, as cargas positivas do lado P seriam atraídas. Da mesma forma, do lado N, as cargas negativas também seriam atraídas e dariam origem a um aumento na barreira de potencial, tornando a zona de depleção mais larga e impedindo a passagem da corrente.

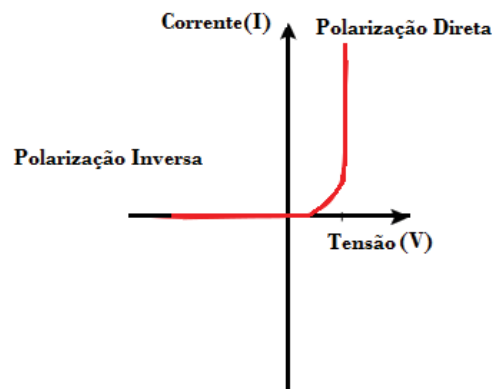
Figura 36 - Polarização Inversa



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2016)

O gráfico abaixo traduz os efeitos produzidos pelas polarizações diretas e inversas. Note-se que, na polarização inversa, ainda que ocorra aumento da tensão, não se verifica a presença da corrente.

Figura 37 - Gráfico I x V - Curva característica dos diodos



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Um dispositivo eletrônico que faz uso dessa propriedade é o diodo retificador, que, ao ser submetido a uma tensão senoidal, faz com que a corrente caminhe em um único sentido. Assim, dizemos que a tensão foi retificada, observe a imagem abaixo:

Figura 38 - Retificação da Corrente



Fonte: <https://www.ostiposde.com/tipos-de-retificadores/>

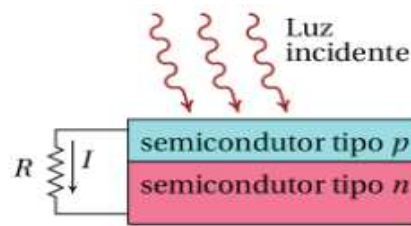
Outro dispositivo que utiliza os semicondutores de junção P-N são os fotodiodos. Tais dispositivos agem como detectores de radiação nos quais o sinal elétrico é produzido pela geração de pares elétron-buraco causada por absorção de fóton nas imediações de sua região de depleção. Segundo Rezende (2014), os elétrons e buracos dos pares criados pela radiação são acelerados em sentidos opostos pelo campo elétrico da junção, fazendo com que os elétrons sejam acelerados no sentido $P \rightarrow N$ e os buracos, no sentido $N \rightarrow P$.

Portanto, o elétron de valência poderá ser excitado a ponto de mover-se da banda de valência para a banda de condução, deixando um buraco na banda de valência, por intermédio de um fóton que venha a incidir no lado P, desde que este fóton possua energia maior que a lacuna de energia.

Tipler e Mosca (2008) explicam que a banda de valência já é rica em buracos e que alguns elétrons criados pelos fótons irão se recombinar com os esses próprios buracos; outros irão migrar para a junção, de onde serão acelerados para a região do tipo N pela presença do campo elétrico, promovendo um excesso de carga negativa em N e positiva em P. Ainda segundo Tipler e Mosca (2008), o resultado será uma DDP entre as duas regiões, apresentando por volta de $0,6 E_v$. Portanto, se uma resistência for associada entre as duas regiões, ocorrerá um fluxo de carga através desse resistor (fig.39). Assim, parte da energia luminosa é convertida em energia elétrica. Verifica-se, ainda, que a corrente no resistor possui uma dependência direta com a taxa de incidência de fótons e esta taxa, com a intensidade de luz incidente.

Assim sendo, um fotodiodo pode detectar radiação tanto no modo fotovoltaico, no qual o fotodiodo opera com circuito aberto, de modo que, quando a junção é iluminada, aparece uma tensão entre os lados P e N que pode ser medida; quanto no modo fotocondutivo, no qual o fotodiodo ou é curto-circuitado ou opera sob uma tensão externa. Nesta última situação, uma corrente flui no sentido reverso quando a junção é iluminada. Vale salientar que a opção fotovoltaica é a utilizada para conversão de energia luminosa em elétrica, daí sua utilização em placas solares.

Figura 39 - Absorção de luz



Fonte: Villate (2019)

5.4 SEMICONDUTORES NO FORMALISMO DA MECÂNICA QUÂNTICA

5.4.1 TEOREMA DE BLOCH

A Teoria de Bandas teve início com o físico suíço-norte-americano Felix Bloch, mais precisamente com o Teorema de Bloch, em 1928. Neste teorema, Bloch assume que os elétrons se movimentavam em um condutor metálico sob a ação de um potencial periódico unidimensional.

Podemos entender como potencial periódico, aquele potencial que se repete após algumas distâncias fixas r , assim:

$$U(\vec{r} + \vec{R}) = U(\vec{r}) \quad (15)$$

O teorema de Bloch, afirma que para potenciais periódicos, as soluções para equação de Schrödinger

$$H = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \nabla^2 + U(\vec{r}) \right) = E\Psi \quad (16), \text{ podem ser escritas como:}$$

$$\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} \cdot U_{n\vec{k}}^{(\vec{r})} \quad (17)$$

Onde:

$U_{n\vec{k}}^{(\vec{r})}$ representa a parte periódica da função Ψ

\vec{k} representa o vetor de onda qualquer

n representa o índice de banda

$e^{i\vec{k}\vec{r}}$ representa a onda plana que envolve a função periódica

Assim, tratando-se de potenciais periódico, podemos afirmar que:

$$U_{n\vec{k}}^{(\vec{R}+\vec{r})} = U_{n\vec{k}}^{(\vec{r})} \quad (18)$$

É importante salientar que apesar do potencial cristalino e do Hamiltoniano ter simetria de translação na Rede de Bravais, a função de onda, ou seja, as soluções para a equação de Schrödinger, para este potencial não são periódicas. Transladando pelo vetor da rede de Bravais teremos:

$$U_{n\vec{k}}^{(\vec{R}+\vec{r})} = e^{i\vec{k}(\vec{r}+\vec{R})} \cdot U_{n\vec{k}}^{(\vec{r}+\vec{R})} = e^{i\vec{k}(\vec{r}+\vec{R})} \cdot e^{i\vec{k}\vec{r}} \cdot U_{n\vec{k}}^{(\vec{r})} \quad (19)$$

Comparando as equações 17 e 19 concluímos que:

$$U_{n\vec{k}}^{(\vec{R}+\vec{r})} = e^{i\vec{k}(\vec{r}+\vec{R})} \cdot U_{n\vec{k}}^{(\vec{r}+\vec{R})} = e^{i\vec{k}(\vec{r}+\vec{R})} \cdot \Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) \quad (20)$$

$$U_{n\vec{k}}^{(\vec{R}+\vec{r})} = e^{i\vec{k}(\vec{r}+\vec{R})} \cdot \Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) \quad (21)$$

Observe que ao transladar a função de onda de Bloch por um vetor da rede Bravais a função de onda ganha um fator de fase. A equação (21) apresentada pode ser considerada como forma alternativa do teorema de Bloch.

Adotemos D como sendo o operador de “deslocamento”:

$$Df(\vec{r}) = f(\vec{r} + \vec{R}) \quad (22)$$

Como para um potencial periódico, D comutará com o Hamiltoniano $[D, H] = 0$. Com isto, é permitido escolher as autofunções de H que são simultaneamente autofunções de D:

$$D\Psi = \lambda\Psi(r) \quad (23),$$

ou ainda,

$$\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) = \lambda\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) \quad (24).$$

Podemos concluir que λ necessariamente é diferente de zero, caso contrário, obteríamos $\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) = 0$ o que tornaria a autofunção inadmissível. Como todo número complexo diferente de zero pode ser expresso como uma exponencial, logo:

$$\lambda = e^{in\vec{k}\vec{r}} \quad (25)$$

Para um cristal infinito, em que todas as células são idênticas entre si, não há por que a probabilidade de encontrar o elétron em um sítio diferente seja menor do que em outro. E assim podemos concluir:

$$|\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R})|^2 = |\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r})|^2 \quad (26)$$

Obviamente não há sólidos reais que se estendam de forma infinita. Com isto, as extremidades deste sólido poderiam afetar o princípio do potencial periódico, o que acabaria por tornar o teorema de Bloch. No entanto, é razoável imaginarmos que dificilmente tal fato ocorreria para qualquer cristal que contenham um número de átomo próximo da ordem do número de Avogadro.

Griffiths, propõe, em seu livro de mecânica quântica, que se envolva o eixo r em um círculo e conectamos suas duas pontas, depois de um grande número $N \approx 10^{23}$ de períodos; formalmente, impomos as seguintes condições de contorno:

$$\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r} + N\vec{R}) = \Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) \quad (27)$$

e portanto, pela equação (7) concluímos que:

$$\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) = e^{iN\vec{k}\vec{R}} \cdot \Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) \quad (28)$$

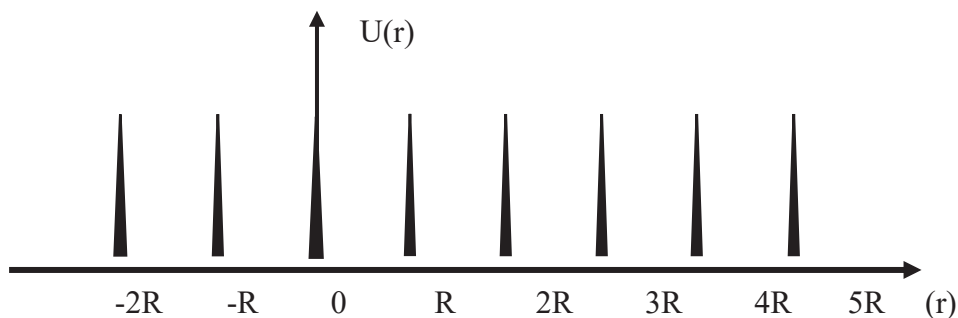
Assim, pela igualdade, podemos concluir que:

$$e^{iN\vec{k}\vec{R}} = 1 \text{ ou } NKR = 2\pi n \text{ (e portanto, } K = \frac{2\pi n}{NR} \text{ (} n = 0, \mp 1, \mp 2, \mp 3, \dots \text{))} \quad (29)$$

Agora, consideremos uma rede de Dirac unidimensional (fig. 40), que consiste de pontos uniformemente espaçados de função delta. Supondo que o potencial consista em uma longa série de ponto, teríamos:

$$U(r) = \alpha \sum_{j=0}^{N-1} \delta(r - jR) \quad (30)$$

Figura 40 – Rede de Dirac



Fonte: Autoria própria

Na região $0 < r < R$ o potencial é zero, assim:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi}{dr^2} = E\Psi \quad (31)$$

Ou

$$\frac{d^2\Psi}{dr^2} = -K^2\Psi \quad (32)$$

Em que

$$K \equiv \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \quad (33)$$

Como sempre a solução geral é:

$$\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) = A\text{sen}(\vec{k}\vec{r}) + B\text{cos}(\vec{k}\vec{r}) \quad \text{para } (0 < r < R) \quad (34)$$

De acordo com o teorema de Bloch, a função de onda na célula imediatamente à esquerda da origem é:

$$\Psi_{n\vec{k}}(\vec{r}) = e^{-i\vec{k}\vec{R}} [A\text{sen}\vec{k}(\vec{k}\vec{r}) + B\text{cos}\vec{k}(\vec{k}\vec{r})] \quad \text{para } (-R < r < 0) \quad (35)$$

Em $R=0$, Ψ deve ser contínuo, então:

$$B = e^{-i\vec{k}\vec{R}} [A\text{cos}(\vec{k}\vec{R}) - B\text{sen}(\vec{k}\vec{R})] \quad (36)$$

Sua derivada sofre uma descontinuidade proporcional à força da função delta, com sinal de α trocado, uma vez que esses são pontos em vez de poços:

$$\vec{k}A - e^{-i\vec{k}\vec{R}}\vec{k}[A\text{cos}(\vec{k}\vec{R}) - B\text{sen}(\vec{k}\vec{R})] = \frac{2m\alpha}{\hbar}B \quad (37)$$

Resolvendo a equação (36) para A , $\text{sen}(\vec{k}\vec{R})$ produz

$$A \text{sen}(\vec{k}\vec{R}) = [e^{-i\vec{k}\vec{R}} - \text{cos}(\vec{k}\vec{R})] B \quad (38)$$

Substituindo na equação (37) e cancelando $\vec{k}B$, encontramos:

$$[e^{i\vec{k}\vec{R}} - \text{cos}(\vec{k}\vec{R})][1 - e^{-i\vec{k}\vec{R}} \text{cos}(\vec{k}\vec{R})] + e^{-i\vec{k}\vec{R}} \text{sen}^2(\vec{k}\vec{R}) = \frac{2m\alpha}{\hbar^2 K} \text{sen}(\vec{k}\vec{R}) \quad (39)$$

Que é simplificado para:

$$\cos(\vec{k}\vec{R}) = \cos(\vec{k}\vec{R}) + \frac{m\alpha}{\hbar^2 k} \text{sen}(\vec{k}\vec{R}) \quad (40)$$

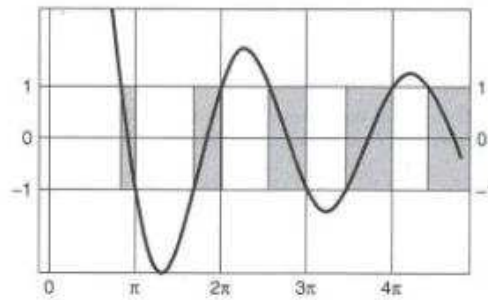
$$Z \equiv \vec{k}\vec{R} \text{ e } \beta \equiv \frac{m\alpha\vec{R}}{\hbar^2} \quad (41)$$

Desta forma, o lado direito da equação (36) poderá ser escrito como

$$f(Z) \equiv \text{COS}(Z) + \beta \frac{\text{sen}(Z)}{Z} \quad (42)$$

A figura 41 mostra que a função $f(Z)$ extrapola o intervalo $(-1;+1)$ e assim sendo, para tais intervalos, a equação 40 não apresentará solução, uma vez que $|\cos(\vec{k}\vec{R})|$ não pode assumir valores maiores que 1. A interpretação para tal é que tais lacunas representam as bandas proibidas.

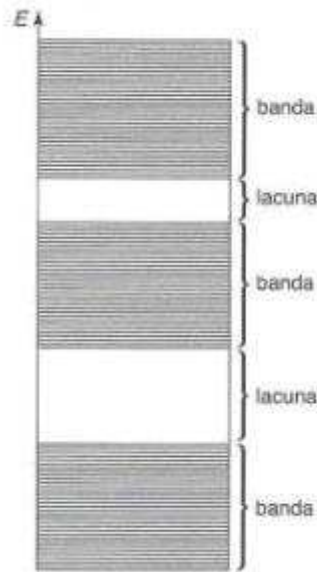
Figura 41 - Gráfico de $f(z)$ eq.(40), mostrando bandas permitidas (sombreadas) separadas por lacunas proibidas (onde $|f(z)|>1$)



Fonte: GRIFFITHS, D.J. (2011)

De acordo com a eq.(29), n se trata de um número muito grande ($N \approx 10^{23}$) e n um número inteiro qualquer. Desta sorte, como $\cos(z) = \cos(\vec{k}\vec{R}) = \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$, fazendo variar o valor desse cosseno desde $+1$ ($n=0$) até -1 ($n=N/2$), voltando a quase $+1$ ($n=N-1$); para qual o fator de bloch $e^{-i\vec{k}\vec{R}}$ é reciclado e nenhum outro novo valor surge a partir do aumento de n , é possível imaginarmos, o conjunto de linhas horizontais formando o que chamamos de bandas de energia. As lacunas, aqui representam as bandas proibidas, ou simplesmente energia de gap (eg).

Figura 42 - Energias permitidas para uma forma potencial periódica de bandas essencialmente contínuas



Fonte: GRIFFITHS, D.J. (2011)

Estamos elaborando nossa ideia levando em consideração um único elétron em nosso potencial periódico. Porém, na prática, haverá inúmeros elétrons “livres” por átomo. Devido ao princípio de exclusão de Pauli, sabemos que apenas dois elétrons podem ocupar um mesmo estado espacial. Com isto, podemos concluir que para que haja preenchimento da banda, será necessário um número par de elétrons.

Ao lidarmos com este princípio, concluímos que um único elétron preencheria apenas metade da primeira banda. Obviamente, ao se tratar de dois elétrons, passaríamos a ter a primeira banda totalmente preenchida. E caso tenhamos 3 elétrons, passaríamos a ter a primeira banda totalmente preenchida e a segunda preenchida pela metade e assim sucessivamente.

Portanto, quando tivermos um número ímpar de elétrons por célula unitária, a última banda estará sempre semi-preenchida. Materiais que venham apresentar tal configuração serão denominados de condutores, pois, necessitam de uma energia relativamente baixa para excitação desse elétron. Já quando tivermos um número par de elétrons por célula unitária, podemos nos deparar com duas situações:

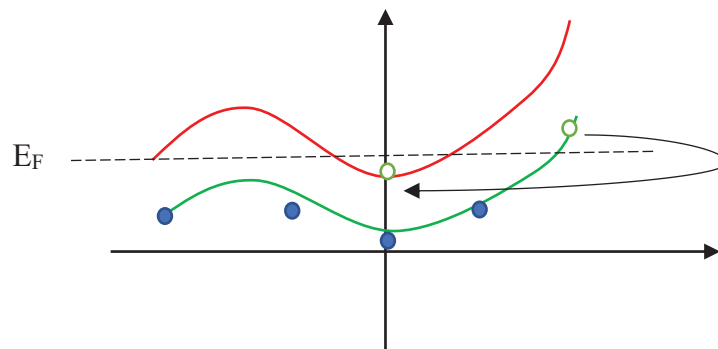
A primeira, é aquela em que a última banda ocupa (banda de valência) não se superponha em energia com a primeira banda desocupada (banda de condução). Neste caso, teremos os materiais denominados isolados. Tais materiais necessitam de uma energia relativamente alta para que possa ocorrer a excitação do elétron, já que este elétron precisará

saltar a zona proibida (gap). No entanto, caso este “gap” seja da ordem de 1 eV, este material será denominado de semicondutor.

A segunda situação será aquela em que ocorre uma superposição de energia entre a última banda ocupada (banda de valência) com a primeira banda desocupada (banda de condução). Tal fato ocorre quando a Energia de Fermi (E_F), corta as duas bandas simultaneamente (fig. 43). Neste caso, apesar do número de elétrons ser par, não teremos uma banda totalmente preenchida. Ao invés disto, ocorrerá o surgimento de duas bandas semi-preenchidas. Observem, que mesmo tendo elétrons para preencher totalmente a banda, reparem que em alguns pontos, esta mesma banda apresenta energia maior do que aquela apresentada por alguns pontos da banda seguinte. E como os elétrons buscam ocupar os estados de mais baixa energia, ocorrerá um deslocamento desses elétrons para a esta segunda banda, causando a superposição de energia de bandas.

Quando este fenômeno ocorre, voltamos a ter um metal. Esta é a estrutura dos calcogenios, como o cálcio ou magnésio, por exemplo.

Figura 43- Bandas de Energia e Energia de Fermi (E_F)



Fonte: Autoria própria

5.6 DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)

Como visto no tópico anterior, qualquer junção do tipo P-N, quando polarizada diretamente, promoverá recombinações de elétrons e lacunas em uma região próxima à junção. Essa recombinação exigirá que a energia contida pelos elétrons seja liberada, o que pode ocorrer na forma de luz, de calor ou em ambas as formas. Tanto o silício como germânio são exemplos de elementos presentes nos componentes eletrônicos e que, durante o processo de

recombinações, apresentam a característica de dissiparem a maior parte dessa energia na forma de calor.

Assim, muitos componentes eletrônicos que utilizam esses elementos como base e que venham a ser submetidos a valores mais elevados de corrente elétrica, necessitam de elementos dissipadores de calor, conhecidos por irradiadores, para que mantenham suas estruturas preservadas. Já quando o que se pretende é a liberação dessa energia predominantemente em forma de luz visível ou infravermelho próximo, é comum utilizarem-se materiais como o arseneto de gálio (GaAs) ou mesmo o fosfeto de gálio (GaP).

O LED é, na verdade, um tipo especial de diodo cuja energia de gap corresponde a energia de fótons do espectro visível. Eles são projetados para emitirem luz quando polarizados diretamente e submetidos a uma tensão suficientemente capaz de produzir uma corrente que possa ejetar elétrons na região N e buracos na região P. Com isto, elétrons da banda de condução presentes no lado N decaem a níveis de energia mais baixos, emitindo fótons de energia equivalentes a energia de gap do material semiconductor constituinte do led.

$$E_{gap} = e \cdot V_{aplicada} \quad (\text{eq.43})$$

O espectro de luz emitida pelos LEDs, embora até possa ser classificado como monocromático³ na maioria dos casos, não é tão estreito como no caso de um *laser*. No caso de LEDs comuns monocromáticos, a largura à meia altura de seu espectro é da ordem de 20 nm enquanto a largura espectral de um laser de baixa qualidade é da ordem de 2 nm.

O comprimento de onda (cor) da luz produzida por um diodo emissor de luz é determinado exclusivamente pela natureza dos materiais semicondutores dopados e independentemente da cor da lente do encapsulamento do LED. Variando a composição dos materiais semicondutores dopados utilizados para fabricação dos LEDs, eles poderão emitir luz no comprimento de onda visível ou mesmo do infravermelho. Os comprimentos de onda visíveis típicos emitidos pelos diodos semicondutores são o vermelho (650 nanômetros), o laranja (620 nanômetros), o amarelo (585 nanômetros), o verde (555 nanômetros) e o azul (480 nanômetros).

Considerando que a energia do gap é igual a energia do fóton emitido, podemos escrever que:

$$E_{fóton} = hf = E_{gap} \quad (\text{eq.44})$$

³ Utilizamos o termo monocromático como uma “única cor” com base na percepção do olho humano e assim diferenciar os Leds vermelho, verde, azul e etc dos Leds brancos ou lâmpadas incandescentes.

De uma forma bastante simples, podemos calcular a máxima e a mínima energia de espaçamento entre as bandas, igualando a energia de gap com a energia do fóton emitido (MOURA et al,2011). Relacionando as equações 43 e 44, concluímos que:

$$E = hf = e.V \quad (\text{eq.45})$$

Como $v = \lambda f$ e, para ondas eletromagnéticas, $v = c$, chegamos à seguinte expressão:

$$\frac{hc}{\lambda} = e.V = E \quad (\text{eq.46})$$

Para um espectro de luz visível, em que o menor comprimento de onda é de aproximadamente 400 nm, e uma vez que $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ e $h = 4,13 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$, a máxima energia do espaçamento entre as bandas será:

$$E_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} = 3,1 \text{ eV} \quad (\text{eq.47})$$

E como o comprimento de onda máximo para luz visível é de aproximadamente 700 nm, calculamos a energia mínima de forma semelhante:

$$E_{min} = \frac{hc}{\lambda_{max}} = 1,8 \text{ eV} \quad (\text{eq. 48})$$

Esses valores mostram que o gap de LEDs é da ordem de 1,8 eV a 3 eV, maiores que os gaps dos diodos comuns, que são em geral de 0,7 eV. Notamos também que, quanto maior o comprimento de onda, menor a sua frequência e menor a sua energia associada. Assim sendo, para o espectro visível da luz, a luz vermelha será aquela que apresentará fótons menos energéticos, ao passo que a luz violeta apresentará os fótons mais energéticos.

5.7 CÉLULAS SOLARES

Assim como os diodos, as células solares são construídas de semicondutores de junção P-N. A diferença básica entre estes componentes está na sua aplicação dentro da eletrônica. Os diodos são utilizados em situações em que se aplica uma tensão elétrica nos terminais, para que

elétrons livres possam atravessar a barreira de potencial e, em consequência, a produção de corrente elétrica. No caso das células solares, por sua vez, a energia necessária para que os elétrons livres possam atravessar a barreira de potencial, vem da absorção de fótons.

Assim como no caso dos diodos, fatores constitutivos do dispositivo – tais como o material semicondutor utilizado, o elemento dopante e a temperatura do material – terão relações diretas com a largura da camada de depleção e conseqüentemente, com a energia de *gap*. Assim, se no caso dos diodos é necessária uma tensão que forneça energia maior que o *gap* para produzir corrente, a célula solar só irá absorver fótons com energia maior que o *gap*.

Um outro ponto importante de ser salientado, é que as células fotovoltaicas comerciais são desenvolvidas para uma maior eficiência de absorção ocorra na região do visível. Algumas células solares são montadas com a superposição de dois tipos diferentes de junção PN (uma com maior eficiência de absorção no vermelho e outra em verde ou azul) para que a absorção ocorra em todo espectro solar. Segundo REZENDE (2014), atualmente as melhores células solares comerciais são feitas de Si cristalino. A junção é formada por uma fina camada tipo N produzida por uma forte dopagem num substrato tipo P. E segundo ele, sendo fina, a região N deixa passar a radiação incidente num largo espectro de frequência.

MOCELIN, 2014, explica que a corrente elétrica gerada pela célula é uma corrente contínua (CC) e, portanto, para que possa ser utilizada em nossas residências, deverá ser transformada em corrente alternada (CA) por intermédio de um aparelho denominado *inversor*. Além disso, a energia produzida deverá ser armazenada em baterias, garantindo, assim, sua utilização a qualquer hora do dia. Contudo, uma única célula solar não é capaz de produzir uma quantidade de energia significativa: faz-se necessário um conjunto de células solares, de modo a produzir um módulo fotovoltaico, que, integrado a outros módulos, propiciará a obtenção de um gerador fotovoltaico.

Atualmente, as melhores células solares têm eficiência de conversão de aproximadamente 15% (REZENDE 2014). Trata-se de um valor ainda muito baixo e a um custo financeiro ainda alto, porém a fabricação de células solares mais eficientes e de menor custo certamente tornará a conversão fotovoltaica de energia solar em uma das tecnologias mais importantes, principalmente para regiões de grande insolação.

No que diz respeito à questão ambiental, a energia fotovoltaica é dita limpa, ou seja, não causa danos ao meio ambiente. É bem verdade que a produção das células demanda energia oriunda daquelas questionadas não só pelos ambientalistas, mas por todo cidadão preocupado com o futuro. Porém, a herança dos resíduos provenientes da fabricação das células é rapidamente compensada, já que, uma vez em funcionamento, a produção de energia realizada pelo processo fotovoltaico é considerada ecologicamente correta.

6. O MATERIAL INSTRUCIONAL

Neste capítulo apresentaremos o produto didático elaborado ao longo das atividades acadêmicas desenvolvidas no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo UFJF /IF Sudeste MG.

Trata-se de um conjunto *didático* experimental, apelidado de “planckômetro”, que decorre dos estudos e pesquisas realizados ao longo do referido curso, tendo como elemento motivador a importância da inserção da Física Moderna e Contemporânea nas escolas de ensino médio brasileiras. Representa, ainda, um esforço no sentido do enfrentamento das dificuldades docentes nesses espaços educacionais, principalmente no que tange à oferta de propostas experimentais e metodologias alternativas envolvendo os conteúdos citados da disciplina de Física.

Ao longo do processo, foram construídas duas versões desse conjunto. A primeira, que chamaremos aqui de versão original, foi elaborada pensando no ensino presencial, antes do surgimento da pandemia da COVID-19.

Como se pode observar nas figuras 44 e 45, esta versão é composta por uma maleta, três canetas *laser* – sendo uma vermelha, uma violeta e outra verde –, um espectrômetro portátil, um carregador e um painel de LEDs acoplado com um minimultímetro digital.

Através de botões seletores, podemos escolher o funcionamento desse painel na função “emissão”, na qual um determinado LED é conectado a uma fonte de tensão. Podemos então observar, por exemplo, a tensão mínima necessária para acender esse LED (fig. 45).

A outra função possível é a de “absorção”. Nessa função, os LEDs estão desconectados da fonte de tensão. Passa-se então, a incidir luzes de diferentes frequências sobre o LED a ser estudado, utilizando para tal, canetas ópticas de diferentes frequências (fig.46) ou mesmo LED, já que esses, além de mais baratos, oferecem um leque maior de frequências. Assim, será possível, verificar, através da medida de tensão nos terminais do LED, se há ou não absorção da luz incidente .

Figura 44 – Kit Original



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 45 - Planckômetro Versão Original



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 46 - Planckômetro na função absorção – Led azul sendo iluminado pela caneta laser violeta



Fonte: Elaboração própria (2019)

O planckômetro visa a possibilitar uma introdução a conceitos relativos à Física Moderna e Contemporânea, tais como a teoria de bandas para os sólidos, quantização de energia, barreiras de potencial, dopagens, efeitos fotovoltaicos, obtenção da constante de Planck, sempre a partir da compreensão de fenômenos envolvendo semicondutores.

O cenário mundial de emergência em saúde pública decorrente da pandemia de coronavírus e enfrentado por todo o mundo durante os anos 2020 e 2021 impossibilitou-nos de aplicar o produto nos moldes inicialmente planejados. A princípio, o referido conjunto óptico seria utilizado dentro da metodologia ABP, com estudantes do ensino médio. Entretanto, com o surgimento da COVID-19, tivemos que alterar o método de validação do produto.

Considerando o que diz a Resolução nº 1 do Programa MNPEF, de 03 de junho de 2020, no § 4º do art. 4º, que flexibiliza a aplicação dos produtos educacionais, optou-se, então, pela validação do produto por intermédio de oficinas remotas voltadas para professores de Física do ensino médio. No entanto, para isso, foi necessário que o conjunto didático fosse enviado pelo correio até esses profissionais. Deste modo, algumas adaptações se impuseram a

fim de torná-lo menor, mais barato e de montagem mais simples, resguardados, contudo, os cuidados para que não houvesse nenhum prejuízo em relação ao potencial pedagógico.

Figura 47 - Planckômetro Versão adaptada



Fonte: Elaboração própria (2020)

A segunda versão do planckômetro (fig. 47), a qual chamaremos de versão adaptada, foi construída a partir de uma pequena caixa, na qual se encontram duas entradas, uma para o voltímetro e outra para o amperímetro. Nessa versão, nem os LEDs e nem o voltímetro e o amperímetro estão embutidos na caixa. O voltímetro e o amperímetro utilizados são multímetros comuns, dos próprios professores.

Comparando as duas versões do planckômetro, verificamos que a versão adaptada se mostrou muito eficiente, de fácil montagem e transporte, além de ter menor custo. Por outro lado, na versão original, todos os elementos (LEDs e multímetros) estão embutidos em um único equipamento, o que pode ser mais fácil para utilização em sala de aula.

Ambas as versões possibilitam propostas muito interessantes, capazes de despertar a curiosidade dos discentes e ao mesmo tempo convidá-los a certos desafios que envolvem descobertas sobre a cor do LED, a barreira de potencial, a polarização direta e inversa, além do cálculo da constante de Planck, como já mencionamos e que serão pormenorizadas no capítulo a seguir.

Embora, em nosso trabalho, tenhamos atrelado o uso do planckômetro à metodologia ABP amparada pela teoria sociointeracionista de Vygotsky, o docente poderá vir a utilizá-lo da forma que melhor lhe convier. Pode-se articular esse produto educacional a outras metodologias de aprendizagem. É importante salientar que, quando o que se busca é um ensino motivador, deve-se evitar a forma meramente expositiva, pois, como já alertado por Carvalho (2013, p. 2), no “ensino expositivo toda a linha de raciocínio está com o professor o aluno só a segue e procura entendê-la, mas não é o agente do pensamento”.

7. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DIDÁTICA DO “PLANCKÔMETRO” DENTRO DA METODOLOGIA ABP

O objetivo do presente trabalho é introduzir conceitos de Física Moderna e Contemporânea a partir de atividades experimentais com dispositivos semicondutores. Apresentaremos aqui, como um exemplo possível de aplicação em sala de aula do conjunto didático aqui desenvolvido, o Planckômetro, uma proposta de estudo da interação entre luz e materiais semicondutores dentro da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), discutida no capítulo 2. Ressaltamos, entretanto, que o Planckômetro tem o potencial de ser utilizado em outros tipos de atividades experimentais, seja em um laboratório tradicional, atividades demonstrativas, ou mesmo em laboratórios investigativos.

Na seção 7.1 apresentaremos resumidamente algumas atividades que podem ser realizadas com o Plankômetro de maneira independente, em um laboratório tradicional, ou dentro de uma perspectiva investigativa, como a ABP, situações em que os experimentos seriam realizados para responder questões levantadas durante a investigação de determinado fenômeno envolvendo materiais semicondutores. Na sequência apresentaremos a ideia original da aplicação dentro da ABP. Ressaltamos, entretanto, que essa abordagem não foi efetivamente levada para sala de aula devido à pandemia de COVID-19.

7.1 EXPERIMENTOS SUGERIDOS

Nesta seção, listamos algumas sugestões de atividades experimentais, que podem ser exploradas juntamente com o Plankômetro, independente da metodologia adotada pelo professor. Tomamos a liberdade de não nos ater aos detalhes referentes a cada proposta aqui listada já que esses pormenores estão detalhados no Apêndice B.

Porém, cabe lembrar mais uma vez que, tanto para Bakhtin como para Vygotsky, há uma relação íntima entre o desenvolvimento da linguagem e o desenvolvimento do pensamento e, portanto, o aprendizado é, na verdade, uma experiência coletiva. Assim, espera-se que o educador busque valorizar as interações discursivas para que tal prática se efetive.

Quadro 3 - Propostas experimentais mediadas pelo planckômetro

ATIVIDADE	OBJETIVOS E CONTEÚDOS
Polarização Direta e Inversa	Discutir o motivo pelo qual, diferentemente das lâmpadas incandescentes, o LED não acende quando ligado de forma inversa.
Barreira de Potencial	Verificar que LEDs de cores diferentes apresentam barreiras de potencial diferentes e que tal fato está ligado as questões construtivas tais como o elemento dopante.
Cálculo da Constante de Planck	Fazer o cálculo da constante de Planck para três LEDs de cores diferentes e comparar os resultados entre eles e com o valor teórico.
Descobrimo a Cor do LED	Mostrar que um LED para funcionar como gerador necessita de uma energia no mínimo igual ao do fóton emitido
Utilizando o Simulador	Apresentar o simulador <i>Crocodile Clips</i> , cujo uso é gratuito para alunos e professores; Demonstrar seus principais recursos; Criar cinco circuitos envolvendo LEDs, resistores, potenciômetros e multímetros; Comparar os valores teóricos com os apresentados pelo simulador; Discutir as vantagens e desvantagens dos circuitos envolvendo LEDs em série, paralelo, misto, abordando as questões sobre potência, consumo e segurança.
Responder ao questionário	Obter retorno a respeito das atividades e de seu aproveitamento.
Construção de uma placa solar com LEDs	Verificar se o aluno foi capaz de buscar o LED mais apropriado em relação a sua eficiência na geração de DDP quando exposto à luz solar e também em relação à escolha de uma associação adequada para obtenção de uma maior intensidade de corrente.

- **Polarização direta e inversa:** Essa atividade tem por objetivo fazer com que o aluno veja que, diferente das lâmpadas incandescentes, os LEDs possuem polaridade. É importante que se associe o experimento ao estudo da junção PN, a zona de depleção e, se possível, levantar a curva característica I_xV do LED.
- **Barreira de Potencial:** Durante esta atividade, o aluno perceberá que LEDs de cores diferentes necessitam de DDPs diferentes para que possam iniciar o processo de emissão luz visível. É interessante que se discuta o porquê disto.
- **Descobrimo a Cor do Led:** Esse experimento serve para mostrar que, para funcionar como gerador, um LED necessita de uma energia no mínimo igual ao do fóton emitido. É aconselhável explorar questões relativas à quantização de energia, por exemplo.
- **Cálculo da Constante de Planck:** Nesse experimento, variando o potenciômetro, você obterá uma série de tensões e correntes aos quais o LED estará submetido. Com o auxílio

da planilha eletrônica previamente elaborada, será possível lançar esses dados, traçar o gráfico Tensão x Corrente e, com isso, obter o valor da tensão de corte; e com o auxílio da eq. (46) será possível obter um valor considerável da constante de Planck.

7.2 ASPECTOS GERAIS DA PROPOSTA DENTRO DA APB

Como já apresentado no Capítulo 2, a APB tem como princípio incentivar a aprendizagem ativa dos estudantes a partir de um problema/projeto motivador, por meio do qual determinados conceitos serão estudados ao longo do processo de desenvolvimento do trabalho. Dentro dessa perspectiva, utilizaremos como elemento motivador o fenômeno da produção de energia elétrica oriunda da luz solar por elementos semicondutores. Assim, uma das propostas é que, partindo dos conhecimentos construídos ao longo do processo, os alunos possam confeccionar placas solares com máxima eficiência, a partir de LEDs.

Para alcançar os objetivos propostos, os alunos deverão contar com pesquisas, leituras e experimentos a respeito de conceitos como fóton, da interação radiação-matéria, da relação entre a cor emitida e a absorvida por um LED, da diferença entre o espectro da luz solar e de lâmpadas e da conseqüente influência na absorção de luz pelos LEDs, entre outros.

Para que o leitor tenha uma visão geral da proposta, apresentamos seus pontos fundamentais – a questão motriz –, além de exemplos de atividades a serem desenvolvidas, sintetizados no Quadro 4. Nas seções seguintes, apresentaremos detalhamento desta proposta.

Quadro 4 – Pontos Fundamentais da Proposta

Título	<ul style="list-style-type: none"> ● A Física Envolvida por de traz das Placas Fotovoltaicas.
Apresentação e Descrição (Âncora)	<ul style="list-style-type: none"> ● Células Solares Comerciais; ● Exemplos de dispositivos que funcionam com energia solar ● Textos Exemplos – Anexo B
Questão Motriz	Como uma célula solar produz energia elétrica? É possível construir uma célula solar caseira?
Sugestão de Atividades	<ul style="list-style-type: none"> ● Manipulação das placas solares do protótipo de Célula solar; ● Elaboração dos circuitos via simulador; ● Polarização direta e inversa; ● Barreira de Potencial; ● Descobrimdo a Cor do Led; ● Utilização de Simulador de circuito (por exemplo, o <i>Crocodile</i>);

	<ul style="list-style-type: none"> ● Cálculo da Constante de Planck.
Produto (Artefatos)	<ul style="list-style-type: none"> ● Confecção de uma placa solar de máxima eficiência, construída a partir de LEDs.
Materiais e Recursos	<ul style="list-style-type: none"> ● Célula Solar comercial; ● Planckômetro; ● Multímetros (Caso utilize a segunda versão do Planckômetro); ● Simulador <i>Crocodile</i>; ● Protótipo de gerador Solar.

7.2.1 Desenvolvimento do Projeto

Conforme apresentado no Capítulo 2, a execução de um projeto dentro da proposta ABP pode ser dividida em quatro etapas principais:

- Etapa 1 - Apresentação do tema e do problema
- Etapa 2 - Elaboração colaborativa do projeto
- Etapa 3 - Desenvolvimento do projeto
- Etapa 4 - Apresentação e avaliação dos resultados

Nesta seção, discutiremos como utilizar o conjunto didático aqui desenvolvido dentro de cada uma dessas etapas.

7.2.2 Etapa 1 - Apresentação do Tema e do Problema

A primeira etapa do projeto consiste na apresentação do tema e da metodologia de trabalho planejada, na apresentação do modelo de um gerador solar, que funciona como âncora, e, finalmente, na apresentação da questão motriz.

- **Âncora do Projeto:** Modelo de gerador solar (Fig. 48) adquirido por meio da empresa de comércio eletrônico Mercado Livre. O aparato é constituído por três células fotovoltaicas, um pequeno motor (ventilador), um LED (abajur) e um carregador de pilhas. Quando em situações de incidência solar ou sob luz oriunda de lâmpadas incandescentes, o artefato é capaz de gerar energia suficiente para acionar o ventilador e acender o abajur.

- **Questão Motriz:** É possível construir uma célula solar caseira a partir de LEDs?

Nesse primeiro momento, é possível explorar as diversas formas de associação entre as placas fotovoltaicas, ligando-as ora em série, ora em paralelo, ora em associação mista, e verificando, sempre que possível, tanto a DDP quanto a corrente fornecida em cada tipo de associação. Essa prática simples ensinará questões relacionadas à potência, uma vez que o aluno poderá observar, por exemplo, que, quando as placas são dispostas em série, há um aumento na DDP, no entanto, o motor não será acionado, já que não haverá corrente suficiente para isso.

Esse primeiro diálogo é fundamental, pois permitirá um breve acesso aos conhecimentos prévios dos alunos envolvidos. Após as apresentações e questionamentos, o professor poderá sugerir uma pesquisa sobre a energia solar, por exemplo. Assim, poderá preparar o terreno para a próxima etapa, que consiste em desafiar os alunos para a construção de uma placa solar confeccionada com LEDs, que possa oferecer o melhor rendimento possível, tendo como restrição apenas o número de LEDs utilizados por cada grupo.

Figura 48- Célula solar comercial



Fonte: Elaboração própria (2020)

7.2.3 Etapa 2 - Elaboração Colaborativa do Projeto

A segunda etapa da proposta didática em tela consiste na elaboração do projeto em conjunto com os alunos, por meio de um debate que se proponha responder as seguintes questões:

- O que sabemos sobre o assunto?
- O que queremos saber?
- Como descobriremos?
- Esse tema possui aplicação na sociedade?

A partir das respostas a essas perguntas, o grupo todo (professor e alunos) elabora um planejamento para a execução do projeto. Nesse planejamento, deverão constar atividades de pesquisa bibliográfica, divisão de tarefas entre grupos (se for o caso), uso de simuladores e atividades experimentais investigativas. Para que essa etapa seja executada, o professor pode apresentar o Plankômetro aos alunos e discutir com eles exemplos de experimentação investigativa que podem e devem ser realizados.

Apesar de o planejamento ser executado em conjunto com os alunos, o professor deve ter cuidado para que as atividades selecionadas abordem os conceitos principais envolvendo interação com a matéria. Além disso, as atividades executadas também devem fornecer conhecimento e materiais para os alunos produzirem o artefato final que, no nosso caso, é a célula solar caseira.

No contexto deste trabalho, esperamos que as tarefas selecionadas explorem primeiramente os conceitos de fóton, espectro de diferentes fontes de luz, em especial de *laser*, de LEDs, do Sol e de pelo menos um tipo de lâmpada. Um bom início é trabalhar com o espectrômetro de baixo custo e fazer uma pesquisa bibliográfica em paralelo. Na sequência, pode-se realizar experimentos com o Plankômetro para estudar como ocorre a absorção e a emissão de fótons por LEDs. O uso de simuladores como PHET (Apêndice C) pode ajudar nesse processo. Para a elaboração da célula solar, é importante que os alunos entendam a relação entre a absorção dos fótons, a estrutura interna do semicondutor, o comprimento de onda mínimo da luz incidente e o espectro da fonte de luz.

7.2.4 Etapa 3 - Desenvolvimento do Projeto

A terceira etapa do projeto envolve o desenvolvimento das atividades planejadas na etapa de elaboração do projeto. Elas podem envolver tanto atividades para serem realizadas em casa, por meio de pesquisas bibliográficas, uso de simuladores etc., como atividades para serem realizadas em aula, a exemplo do uso dos aparatos experimentais para investigação, para o acompanhamento e orientação do professor em relação ao andamento do projeto e para

discussões entre os grupos sobre as informações já coletadas/descobertas. Dependendo das descobertas feitas, o planejamento pode ser revisto.

A proposta didática aqui desenvolvida prevê, como desafio, a confecção, por parte dos alunos, de uma placa solar de máxima eficiência, construída a partir de LEDs. É bom lembrar que a eficiência aqui entendida está relacionada à potência e não simplesmente àquele modelo que ofereça maior DDP apenas.

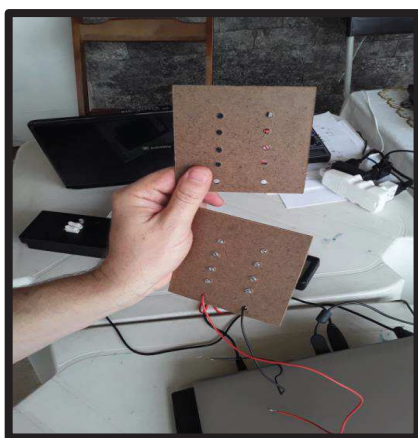
Como orientação, sugere-se que o número de LEDs disponíveis para a confecção da placa solar seja restrito a um número máximo compreendido entre seis e oito unidades. É importante ter precaução de não entregar informações que possam suscitar o uso de LEDs maiores (10 mm) ou LEDs não capsulados; o ideal é deixar que os alunos busquem essas informações e, principalmente, que as testem.

Durante a construção das placas solares, é provável que surjam discussões sobre qual cor de LED venha a ser melhor para essa construção ou que tipo de associação (série, paralelo ou mista) deve ser usada. Caberá, mais uma vez, ao docente conduzir essa discussão, remetendo o aluno, novamente, caso necessário, ao experimento da barreira de potencial e às associações das placas solares, caso tenha utilizado as células solares comerciais. Caso não o tenha feito, recomenda-se uma recapitulação das características das associações de geradores, potência dissipada e associações série/paralelo.

Em nossas oficinas, utilizamos o simulador *Crocodile* para construção e análise dos circuitos com diferentes associações de LEDs, além do resistor de segurança. Optamos por esse simulador por ser um aplicativo gratuito, de fácil utilização e que oferece vários recursos.

Outro questionamento muito importante que deve ser levantado pelo professor, caso a pergunta não surja naturalmente por parte dos estudantes, diz respeito à inclinação das placas solares.

Figura 49 - Confecção de uma placa solar



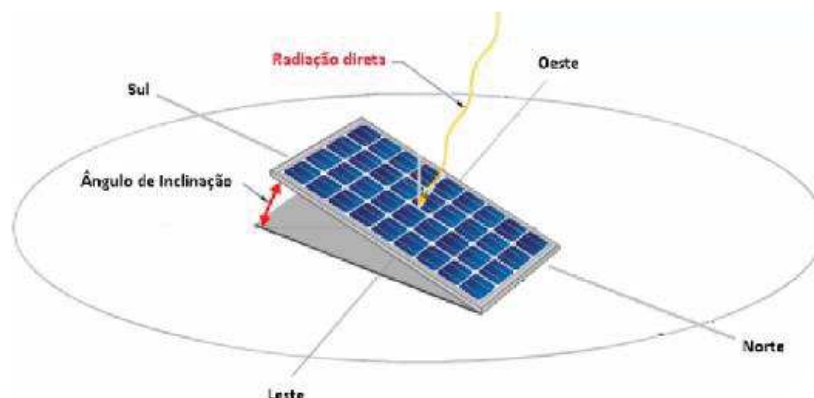
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 50 - Experimento com a placa solar



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 51 - Ângulo de inclinação das placas solares



Fonte: Energia Fotovoltaica (2017)

Recomenda-se o vídeo produzido por Fotovoltaica (2017), que fornece orientações para a determinação da melhor inclinação das placas solares. Os alunos poderão, ainda, relacionar a melhor inclinação para cada estação ou, se possível, para uma mesma estação em cidades diferentes. Para essa etapa, pode-se explorar o programa *Google Earth*, que disponibiliza as coordenadas de uma cidade, em conjunto como o *site* do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), que oferece dados sobre a melhor inclinação das placas solares. Pode-se, ainda, consultar o capítulo sobre energia solar do *Atlas de energia elétrica do Brasil* (ANEEL, 2005), que fornece vasto material sobre o tema.

É importante, ainda, que se levante o seguinte questionamento: há algum modelo que tenha maior aproveitamento dos raios solares, independente da estação do ano? Atualmente já há modelos de placas solares que acompanham o Sol durante todo o dia, o que garante uma captação de energia aproximadamente 53% maior, afirma o professor da Unesp, Alceu Ferreira Alves (ALVES, 2008).

Caso haja envolvimento de outros professores e o docente responsável se sinta à vontade, é aconselhável trabalhar os temas energia, semicondutores, luz fria etc. de forma interdisciplinar ou mesmo multidisciplinarmente, buscando relacioná-los a tópicos curriculares de geografia, história, sociologia ou biologia.

Por fim, diante de uma proposta metodológica que aposta tanto na autonomia do aluno e no potencial mediador docente, cumpre, mais uma vez, enfatizar que ser educador requer coragem, dedicação, paixão e, acima de tudo, muito estudo.

7.2.5 Etapa 4 - Apresentação e Avaliação dos Resultados

A coerência entre o que o professor ensina e a forma como ele avalia a aprendizagem é o primeiro fator para encaminhar um bom processo educativo. Portanto, na metodologia ABP não poderia ser diferente.

Para a avaliação da apresentação, o professor pode se valer dos diferentes *feedbacks* dos grupos acumulados durante o projeto, pedindo-lhes, por exemplo, que expliquem o processo envolvido na solução apresentada, arguindo-os sobre se cumpriu os objetivos ou se há necessidade de ajustes. No entanto, o processo avaliativo não pode e nem deve limitar-se à apresentação do produto; é importante que leve em consideração todas as habilidades desenvolvidas durante todas as etapas do projeto e que isso fique muito bem definido com os envolvidos antes mesmo de iniciado o projeto.

A apresentação dos resultados pode ser feita, por exemplo, em uma aula em que as placas solares confeccionadas pelos diferentes grupos, ao longo do desenvolvimento do projeto, sejam testadas, a fim de verificar qual delas fornece maior DDP, ou para ver se alguma delas consegue ligar uma calculadora ou algo do tipo.

8. VALIDAÇÃO DO PRODUTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresentamos o relato do processo de validação do produto educacional “Planckômetro”. Este processo pautou-se na realização de oficinas voltadas para professores do ensino médio regular.

Durante as oficinas, os professores tiveram contato com o Conjunto Didático Plankômetro e realizaram algumas atividades relacionadas à interação da luz com dispositivos semicondutores, sendo que três delas fizeram parte da proposta discutida no Capítulo 7. Participaram das oficinas 7 (sete) professores do ensino médio regular ao todo divididos em 5 (cinco) grupos. Essas oficinas foram realizadas ao longo do mês de outubro de 2020, por meio de videoconferência e/ou presencialmente, de acordo com a disponibilidade de cada professor.

Ao final do processo, foi solicitado aos professores que analisassem o produto educacional através de um questionário avaliativo (apêndice D), envolvendo questões relacionadas ao potencial de utilização como recurso didático em aulas no ensino médio, à facilidade de construção e manipulação do equipamento e à importância do tema em questão.

Na próxima seção, apresentaremos a metodologia utilizada na validação. Na seção seguinte, expõem-se os resultados do questionário avaliativo respondido pelos professores. No Apêndice A, registram-se detalhes dos experimentos realizados pelos professores.

8.1 METODOLOGIA DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Nesta seção, apresentaremos a metodologia utilizada para a validação do produto, descrevendo como os professores foram convidados para participar das oficinas e algumas condições necessárias para a sua participação. Na sequência, elucidar-se-á a dinâmica das oficinas e as atividades realizadas ao longo do processo.

8.1.1 Convite Aos Professores

Quanto ao público-alvo das oficinas, foram convidados, via ligação telefônica, 7 (sete) professores no total, sendo 4 (quatro) do estado de Minas Gerais, alunos do MNPEF, e 3 (três) do Rio de Janeiro, que de pronto aceitaram participar. É interessante sinalizar que, dos convidados, 2 (dois) atuam como regentes de turma no estado de Minas Gerais, 3 (três) atuam apenas no Rio de Janeiro e outros 2 (dois) atuam em ambos os estados.

É bastante relevante informar que, juntos, os docentes convidados são atualmente responsáveis por 86 turmas, o que equivale a aproximadamente 3.000 alunos distribuídos em três turnos. Quanto à rede de ensino, 1 (um) dos professores trabalha apenas na rede privada, 5 (cinco) trabalham apenas na rede pública e 1 (um), em ambas as redes. Já em relação à modalidade de ensino, 2 (dois) atuam somente na EJA, 3 (três) apenas no modelo regular e o restante em ambos os modelos.

Para que o professor pudesse participar das oficinas, necessariamente deveria atender aos seguintes critérios:

- Atuação necessária como regente de turma na disciplina de Física;
- Disponibilidade de um ferro de solda para concluir o circuito proposto no *kit* experimental;
- Acesso a um computador ou telefone celular conectado à internet;
- Compromisso de baixar o simulador *Crocodile*, além do arquivo enviado para seu *e-mail* contendo:
 - Texto de apoio sobre teoria das bandas, retirado do capítulo 4 desta dissertação;
 - Planilha eletrônica para ser utilizada juntamente com o experimento da constante de Planck;
 - O esquema do circuito referente ao *kit*;
 - Roteiros dos experimentos, descrevendo as atividades a serem abordadas a saber:
 - Utilizando o Simulador;
 - Polarização Direta e Inversa;
 - Barreira de Potencial;
 - Cálculo da Constante de Planck;
 - Descobrimo a Cor do LED;
 - Construindo Uma Placa Solar.

- Carga horária de 8 h para realização das tarefas sugeridas;
- Possuir 2 (dois) multímetros.
- Compromisso em responder um questionário de avaliação do produto educacional em um momento apropriado, criado no aplicativo *Google Forms*.

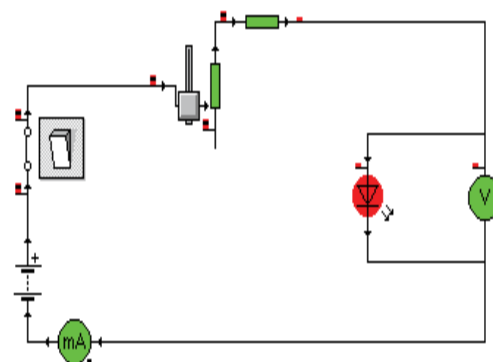
Após aceitação do convite, o *kit* experimental foi enviado para suas respectivas residências, contendo uma caixa previamente perfurada (Fig. 52), com quatro bornes e um interruptor a ela afixados, um conjunto de LEDs de diferentes cores, um potenciômetro multivoltas, um resistor, uma fonte de 5V, alguns centímetros de fios, 1 pilha botão 3V CR2032, além de uma pequena placa de aglomerado de madeira (Eucatex) (Fig. 49). Por *e-mail*, foram enviados os seguintes materiais: texto de apoio, contendo um compêndio sobre a teoria de bandas e das junções P, N e PN que corresponde ao capítulo 4 desta dissertação, uma planilha eletrônica, o roteiro experimental sugerido, planta do circuito e um formulário a ser preenchido após a oficina. No dia da oficina, coube a cada participante finalizar o circuito indicado (Fig. 53) na caixa fornecida (Fig.52).

Figura 52 - Caixas previamente perfuradas



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 53 - Esquema do circuito do planckômetro modificado



Fonte: Elaboração própria (2020)

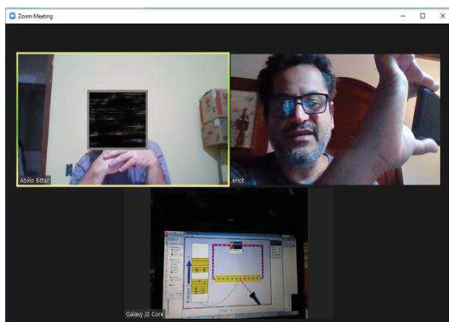
8.1.2 Dinâmica da Oficina

Apesar do cenário epidemiológico restrito em razão da pandemia do novo corona vírus, 4 (quatro) dos 7 (sete) professores selecionados como público-alvo da pesquisa optaram por realizar as oficinas propostas de forma presencial. Para 3 (três) desses professores, a

primeira oficina ocorreu na cidade de Juiz de Fora (MG), em um espaço oferecido por um dos participantes, respeitando todos os protocolos de saúde (distanciamento, uso de álcool em gel e máscaras).

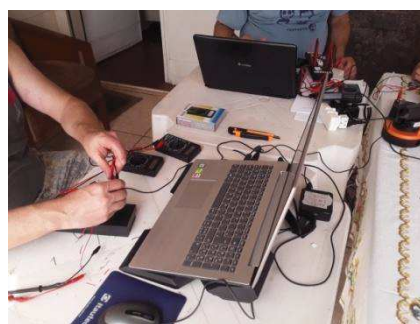
Outros dois docentes optaram pelo modelo remoto e um pelo modelo híbrido, tendo realizado a primeira parte de forma presencial e a segunda de forma remota. No formato remoto, foram utilizadas as plataformas de videoconferências *Google Meet* e *Zoom*. Essa última, apesar de oferecer vários recursos, tem uso gratuito condicionado a um tempo máximo de 30 minutos. E por esta razão, quando utilizada, após esse intervalo tornava-se necessário ativar uma nova reunião. Em alguns momentos, visando o compartilhamento de uma segunda tela, utilizou-se o celular como um terceiro convidado. E assim, mais que um compartilhamento de tela, tornou-se possível exibir qualquer item que estivesse fora do alcance da *webcam* (Fig. 54).

Figura 54 - Oficina Remota



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 55 - Oficina Presencial



Fonte: Elaboração própria (2020)

Remoto ou presencial, o minicurso foi dividido em três etapas: a primeira dedicou-se à discussão do texto-base enviado, ao ensino dos principais recursos e ferramentas oferecidas pelo simulador *Crocodile* para que então os envolvidos pudessem utilizá-lo na construção de alguns circuitos envolvendo LEDs em série e em paralelo. Uma vez finalizados os circuitos no simulador, sua exploração permitiu observar e estudar a questão do resistor de segurança para o LED, assim como seu valor e instalação apropriada, além de favorecer a discussão a respeito do consumo de energia em cada modelo envolvido.

A segunda etapa concentrou-se na apresentação e execução das propostas experimentais idealizadas (Apêndice B3). Por fim, a terceira etapa, realizada individualmente pelos participantes, propôs o lançamento dos dados nas planilhas referentes aos outros dois experimentos a respeito da constante de Planck voltados aos LEDs verde e azul.

As oficinas realizadas de forma presencial com o grupo de 3 (três) professores tiveram uma duração de 6 (seis) horas, incluindo intervalo para almoço e café. Já as mesmas atividades, realizadas individualmente, duraram aproximadamente 3 (três) horas e meia, sem intervalo. No formato exclusivamente remoto, o minicurso se deu em 3 (três) encontros semanais, perfazendo um total de aproximadamente 8 (oito) horas de duração. O modelo híbrido, pelo qual um dos participantes optou, ocorreu em 2 (dois) encontros, o primeiro remoto e o segundo, presencial, cada um com duração de cerca de 2 (duas) horas e meia.

8.1.3 Atividades Realizadas

Para o minicurso, foram sugeridas 6 (seis) oficinas, das quais 5 (cinco) visavam a oferecer aos participantes uma breve introdução a conceitos da Física Moderna e Contemporânea a partir da compreensão de fenômenos envolvendo semicondutores. Apesar de as oficinas terem sido elaboradas para que fossem passíveis de serem realizadas tanto na modalidade presencial quanto remota ou mesmo híbrido, não podemos negar que o contexto *on-line* impõe desafios para os quais boa parte de nós não está preparada.

Para os cursos *on-line*, foi preciso cuidar para que não houvesse uma sobrecarga de conteúdos e, ao mesmo tempo, proporcionar momentos de interação. Assim, optamos por estruturar o curso em dois momentos: um de forma síncrona e um de forma assíncrona. A parte síncrona ocorreu em 3 (três) encontros, sempre no formato de teleconferência. Utilizamos, para tal, as plataformas *Google Meet* e *Zoom*. Com a intenção de aumentar ainda mais a dinâmica do curso, em vários momentos, utilizamos o celular como um terceiro convidado, o que possibilitou a exibição de elementos que estivessem fora do alcance da *webcam* (fig. 54 e 56).

Para o momento síncrono foram realizadas as seguintes atividades:

- i) Estudo das principais ferramentas do simulador *Crocodile*;
- ii) Cálculo do resistor de segurança;
- iii) Criação de circuitos utilizando LEDs em série e paralelo via simulador;
- iv) Discussão sobre texto de apoio sobre teoria de bandas;
- v) Realização de experimentos, a saber: polarização direta e inversa de um diodo; barreira de potencial de LEDs de diferentes cores; cálculo da constante de Planck; descobrindo a cor do LED;
- vi) Finalização do circuito.

Já no momento assíncrono, foi solicitada aos participantes a realização das seguintes tarefas:

- i) Leitura do texto de apoio sobre teoria de bandas;
- ii) Construção de alguns circuitos sugeridos via simulador;
- iii) Resposta ao questionário;
- iv) Construção de uma placa solar utilizando LEDs.

Na versão presencial, os participantes também realizaram a leitura antecipadamente do texto de base (Capítulo 4), o que possibilitou a discussão sobre os temas relativos à teoria de bandas, dopagem, junção P-N e zona de depleção antes da realização dos experimentos. Ao término destes, houve uma discussão geral entre os participantes, conduzida pelo responsável pela oficina, com o intuito de promover a interação social a partir da troca de experiências entre os envolvidos e com isto, a checagem do novo nível da zona de desenvolvimento proximal do grupo. Assim, comentou-se a respeito tanto do material de apoio quanto do produto e sua aplicabilidade, obtendo-se, com isso, críticas e sugestões.

Na proposta prática híbrida, o primeiro encontro foi presencial, no qual foram realizadas a leitura do texto e a sua discussão, bem como houve a apresentação do simulador, estudo de suas ferramentas, criação dos circuitos e apresentação e entrega do produto. Na etapa remota, foram realizados, de forma síncrona, todos os experimentos.

Independentemente do formato, solicitou-se a todos os participantes o envio de planilhas contendo os resultados dos experimentos da constante de Planck envolvendo os LEDs azul e verde (Anexo C). Da mesma forma, todos deveriam responder o questionário proposto sobre as oficinas realizadas, cujo objetivo era verificar a avaliação individual dos participantes quanto às práticas realizadas, à reprodução e aplicação dos experimentos, à relevância para o ensino da Física Moderna, ao potencial pedagógico de cada proposta bem como do texto de apoio e, assim, permitir um levantamento estatístico, apesar da pequena amostra.

Cumprê lembrar que, ao término das oficinas, os produtos disponibilizados foram doados aos docentes envolvidos, na expectativa de que esses profissionais pudessem tanto reproduzi-los como aplicá-los futuramente em suas turmas.

Mais uma vez, independentemente do formato do curso, presencial, remoto ou mesmo híbrido, foi sugerida, a construção de uma placa solar, a ser confeccionada com LEDs e que pudesse apresentar a melhor eficiência possível em relação à sua potência, tendo como única restrição ao uso de, no máximo, 8 (oito) LEDs.

8.2 PARTICIPAÇÃO DOS PROFESSORES NAS OFICINAS

Durante todo o processo, verificou-se um bom diálogo envolvendo o tripé produto-pesquisador-participantes, o que, aliás, é condição *sine qua non* quando o que se pretende é uma aplicação interativa. Segundo Nóvoa (*apud* RODRIGUES & CARVALHO, 2002), o diálogo entre os professores é fundamental para consolidar saberes emergentes da prática profissional:

A produção de saberes não deve acontecer de forma isolada, pois a formação individual é geralmente utilizada para aquisição de conhecimentos e técnicas, o que acentua a imagem do professor como difusor de conhecimentos. Por outro lado, quando o professor estende sua formação para um trabalho coletivo, através da troca de experiências, assume esta formação como um processo interativo e dinâmico (Nóvoa, 1992:28). Desta forma, o trabalho em equipes de professores faz com que a construção do conhecimento profissional seja realizada de forma enriquecedora. (RODRIGUES & CARVALHO, 2002, p. 40).

Dessa forma, inferências, argumentações, contribuições a respeito do tema abordado e das propostas experimentais apresentadas foram estimuladas entre os participantes ao longo da proposta didática desenvolvida, além de algumas observações pontuais quanto às futuras aplicações do produto em sala de aula.

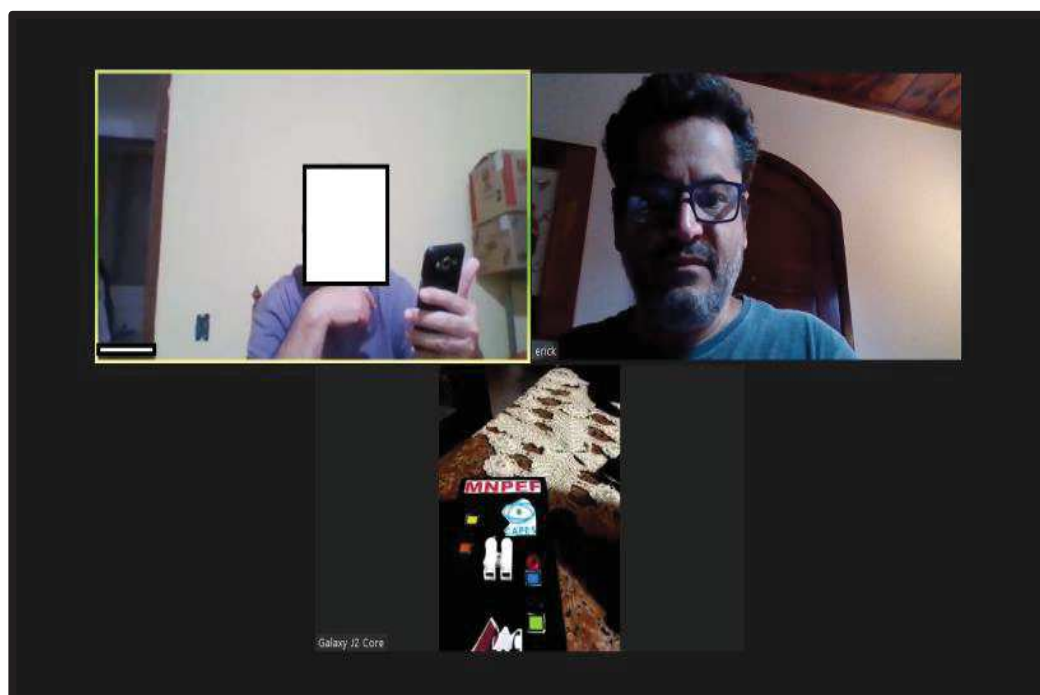
Apesar de o texto de apoio ter sido encaminhado aos participantes e esses terem realizado a leitura prévia, optou-se sempre, independente do formato das oficinas, por iniciar o minicurso a partir de uma breve introdução a respeito dos semicondutores e os processos de dopagem. Logo após essa introdução, passou-se a todos a ideia central da metodologia ABP, solicitando que discutissem tal ferramenta pedagógica. No momento, alguns professores afirmaram se tratar de uma metodologia ideal. O professor “A” chegou a colocar: “Isso é o ideal para quem pretende ensinar Física”. No entanto, o grupo sinalizou o receio de não conseguir dar conta dos conteúdos impostos pelas escolas, alegando a pequena carga horária disponibilizada à disciplina.

Percebeu-se que o tema dos semicondutores era algo praticamente novo para 6 (seis) dos participantes. 3 (três) deles sequer sabiam de que material era feito um LED. Em uma conversa após a oficina presencial, um professor chegou a afirmar que, para ele, caso ligasse o LED com a polarização invertida, o dispositivo simplesmente queimaria. Dos sete professores envolvidos, nenhum deles chegou a trabalhar o tema em suas aulas.

Em um dos encontros virtuais, o professor relatou dificuldades para terminar o circuito. Foi necessário acompanhá-lo remotamente para que pudesse finalizar corretamente. Em relação ao processo de solda, 5 (cinco) professores afirmaram não possuir prática e, portanto,

demoraram mais que 15 minutos para completar o circuito e, mesmo assim, em alguns casos, foi necessário refazer algumas soldas.

Figura 56 - Apresentando o Produto Experimental



Fonte: Elaboração própria (2020)

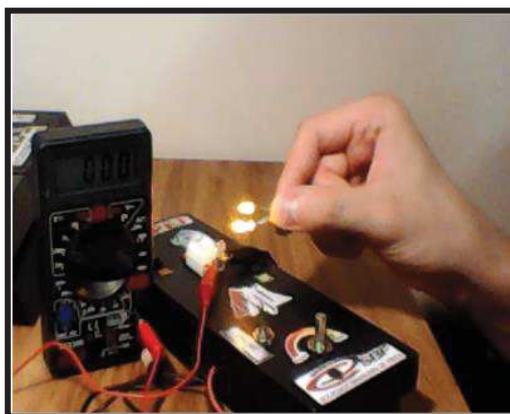
Um caso bastante emblemático ocorrido durante um encontro individual merece destaque: ocorreu durante a oficina “Descobrimo a Cor do LED”, cujo experimento buscava mostrar que um LED, para funcionar como gerador, necessitava de uma energia no mínimo igual ao do fóton emitido. Assim, o participante deveria fazer incidir, sobre o LED de cor desconhecida, luz oriunda de outras fontes, como por exemplo, canetas ópticas ou mesmo outros LEDs. Por questões de economia, praticidade e principalmente pela oferta de cores, optou-se por outros LEDs como fonte de luz. Sem que os envolvidos soubessem, o LED de cor desconhecida era verde. O participante, fez incidir luz vermelha sobre o LED em questão. Não observando nenhum registro no voltímetro, passou a iluminar o LED com a luz laranja. Como mais uma vez não verificou registro de DDP, para minha surpresa, ele juntou dois LEDs laranja (fig. 57), em uma tentativa clara de verificar alguma DDP após aumentar a intensidade da fonte luminosa. Foi fantástico observar a expressão daquele participante ao perceber que nada havia mudado.

Sugeriu-se, então, que, desta vez, o participante utilizasse como fonte de luz um LED azul. Ao executar o novo experimento, ele observou que o voltímetro havia acusado um certo valor de DDP e imediatamente disse: “Ah, descobri, o LED é azul”. Recomendou-se, então, que ele utilizasse como fonte luminosa um LED verde. Ao observar que o voltímetro também havia registrado um certo valor, ele comentou: “Opa, e agora? Espera um pouco... O LED é verde”.

Questionado por sua conclusão, ele respondeu da seguinte forma: “Bem, com os LEDs vermelho e laranja, o voltímetro não acusou DDP e, no caso do LED azul, a DDP registrada foi maior que a acusada com o LED verde. Logo, ele é verde”. Em seguida, após se comentar sobre espectro de cores, questionou-se se o LED não poderia ser amarelo. O participante imediatamente observou: “É verdade, o amarelo possui uma frequência maior que o laranja, vou testar” – e, após testar, concluiu: “É verde sim, o voltímetro não registrou nenhum valor”. Em seguida, pegou o LED e o ligou na bateria de botão. “É verde sim, acertei”.

Chegando ao fim do experimento com êxito, o referido professor refletiu: “Eu estou lembrando dessa relação com a frequência quando estudei o efeito fotoelétrico, mas pra falar a verdade, sempre tive curiosidade de testar se realmente a intensidade luminosa poderia ou não provocar o mesmo efeito”. Em tom de brincadeira, encerrou dizendo: “sou um homem de pouca fé, kkkkkk”.

Figura 57 - Professor “G” na oficina híbrida – Parte presencial



Fonte: Elaboração própria (2020)

8.2.1 SUGESTÕES

As oficinas realizadas presencialmente com o grupo, foram muito ricas no sentido da troca entre os professores, em relação ao que cada um deles achava das propostas experimentais, das possíveis aplicações em suas turmas e principalmente das possibilidades em relação à

metodologia ABP apesar de ter sido apresentada de forma superficial ao grupo. No entanto, foi justamente na oficina remota que surgiram as mais significativas contribuições em relação às propostas. Das sugestões, apresentamos as mais relevantes:

- Produção de um material de consulta para os alunos utilizarem durante as atividades (por exemplo, poderia pedir aos alunos para produzirem um desenho com o espectro eletromagnético para ser utilizado).
- Reduzir o número de medições para o cálculo da constante de Planck;
- Poderia ser incluído um pedido do desenho do circuito da caixa (planckômetro) e explicação de cada componente;
- Acrescentar uma lâmpada de filamento para que os alunos pudessem comparar com o LED;
- Produção de um material de consulta para alunos utilizarem durante as atividades (ex: pedir aos alunos que desenhem o espectro eletromagnético);
- No experimento “Descobrimo a cor do LED”, sugerir o confronto da intensidade com a frequência (iluminar o LED com vários outros LEDs de uma mesma cor);
- Propor a reprodução dos experimentos utilizando o simulador como desafio.
- Orientar os alunos para não tomarem valores de tensão e corrente perto do “joelho”, pois fará uso de uma aproximação linear.

O professor identificado como professor “C” escreveu em seu relatório final:

Gostei muito da proposta experimental, pois explora todos os possíveis aspectos do LED. O produto educacional certamente contribuirá com aqueles professores que buscarem material sobre semicondutores para o ensino médio. Foi um prazer ter a oportunidade de conhecer o material do professor e poder de alguma forma contribuir para que fique ainda melhor, se possível.

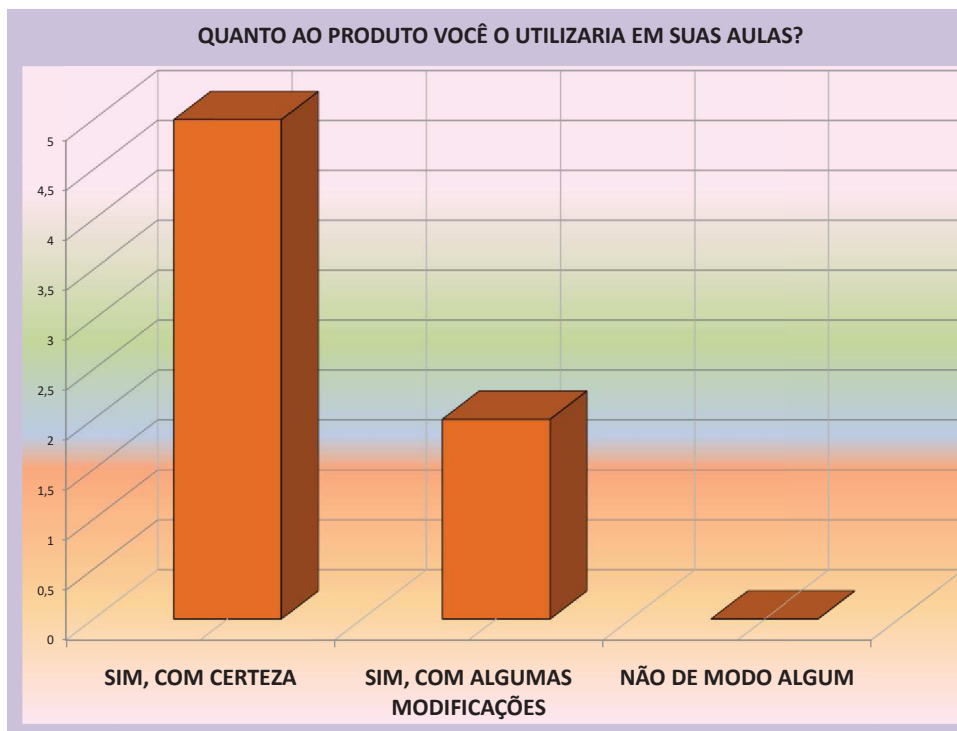
Alguns participantes, durante as oficinas, relataram que fariam pequenas modificações na condução dos experimentos, como se observa no gráfico a seguir. Uma das sugestões apontadas nesse sentido foi reduzir o número de medições para o cálculo da constante de Planck – experimento considerado mais difícil pelos participantes.

Outrossim, outra sugestão de adequação foi a elaboração de um espectro eletromagnético para que os alunos pudessem consultar durante os experimentos dos experimentos relativos à barreira de potencial e à cor do LED. Segundo os professores envolvidos, essa medida certamente contribuiria ainda mais para a compreensão do assunto. Foi sugerido, ainda, que tal material fosse confeccionado pelos próprios alunos durante as aulas que antecederem os experimentos. Nesse momento, em uma conversa amistosa, optou-se por

registrar que, em uma experimentação investigativa, o professor deve tomar os cuidados necessários para que não acabe por revelar justamente o que o aluno deve alcançar como solução.

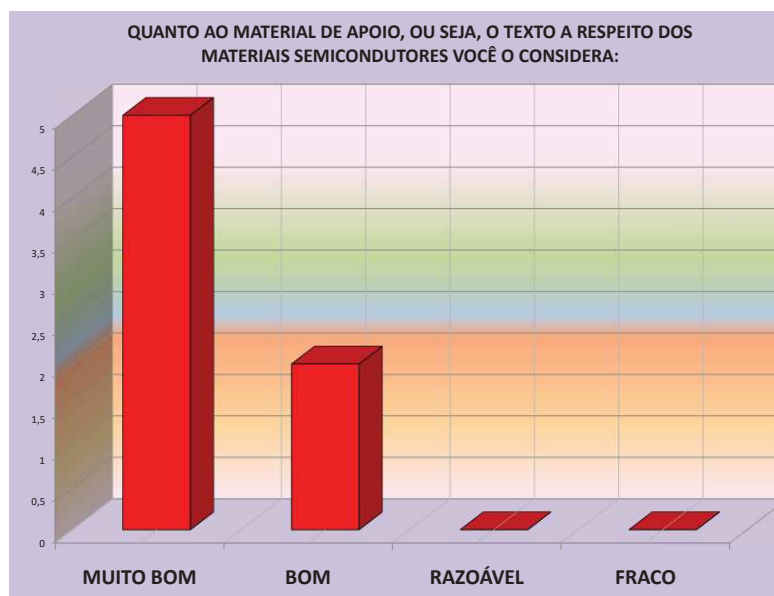
Ao serem questionados em relação ao produto educacional (Gráfico 1), 5 (cinco) dos 7 (sete) professores disseram que o utilizariam sem qualquer alteração, enquanto 2 (dois) dos participantes disseram que utilizariam com algumas modificações sem, no entanto, registrarem quais modificações seriam essas.

Gráfico 1 - Avaliação do material de apoio



Fonte: Elaboração própria (2020)

Gráfico 2 - Avaliação do material de apoio



Fonte: Elaboração própria (2020)

8.2.2. ALGUNS RESULTADOS

Neste tópico, apresentaremos alguns resultados relativos aos experimentos que envolvem a constante de Planck, ao processo de simulação dos circuitos e à construção dos modelos equivalentes construídos junto ao simulador. Far-se-á um resumo dos resultados referentes aos valores obtidos experimentalmente sobre a barreira de potencial e a constante de Planck, além de exporem-se as sugestões colocadas pelos participantes.

8.2.2.1 ALGUNS RESULTADOS SOBRE A CONSTANTE DE PLANCK

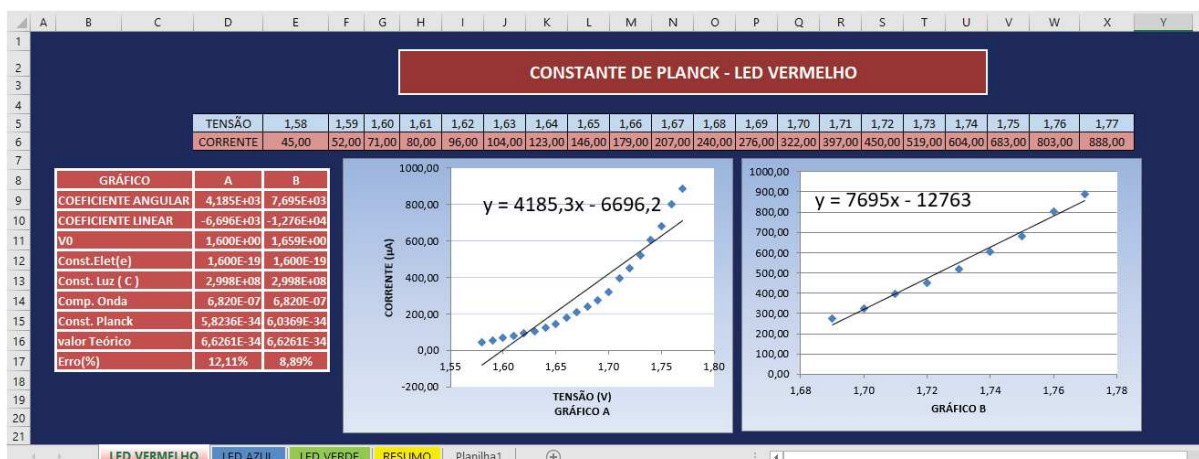
No experimento em questão, optou-se por adotar uma análise estatística rígida, utilizando gráficos e regressão linear, uma vez que se trabalhava com professores.

O Gráfico 3 representa os registros realizados por um dos participantes sobre o LED vermelho. Após o lançamento dos dados, a planilha gerava o gráfico (Gráfico A), apresentava um ajuste de reta e calculava a tensão de corte. Em seguida, após o fornecimento do valor do comprimento de onda da luz emitida pelo LED em questão, a planilha calculava o valor da constante de Planck além de apresentar o seu erro percentual.

A partir desse ponto, explicava-se o comportamento do gráfico obtido, comentando sobre a tensão de condução, também denominada tensão de joelho do diodo emissor. Era então, solicitado que o participante analisasse a região de condução do diodo, selecionasse a faixa de

dados (tensão e corrente) correspondente a esta etapa e confeccionasse um novo gráfico (B) e a realização de uma nova regressão linear, obtendo assim um novo valor da tensão de corte e consequentemente, da constante de Planck. No gráfico em tela, podemos verificar que, enquanto o Gráfico A apresentou um erro de 12,11%, o Gráfico B apresentou um erro de 8,89%.

Gráfico 3 – Gráfico Gerado Pelo Professor A - LED Vermelho



Fonte: Elaboração própria (2020)

A Tabela 1 demonstra que os experimentos realizados permitiram a obtenção de valores experimentais da constante de Planck muito próximos do valor tabelado.

Como já comentado anteriormente, a realização das planilhas referentes aos LEDs verde e azul ficaram como exercícios e deveriam ser reenviadas por *e-mail*. Podemos observar que o participante C não realizou a tarefa e o participante D realizou apenas para o LED verde.

O simulador utilizado permitia trabalhar apenas com os LEDs vermelho, verde e amarelo e foi utilizado em um único teste, pelo professor que sugeriu a realização dos experimentos via simulador.

Tabela 1 - Valores Obtidos Para Constante de Planck

CONSTANTE DE PLANCK ($m^2 \text{ kg/s}$)				
PROFESSOR	VERMELHO	VERDE	AZUL	AMARELO
A	6,29E-34	6,67E-34	6,25E-34	
B	5,98E-34	5,03E-34	6,25E-34	
C	6,07E-34			
D	6,27E-34	6,46E-34		
E	6,04E-34	6,47E-34	6,13E-34	
F	5,81E-34	4,94E-34	5,85E-34	
G	6,66E-34	5,55E-34	6,12E-34	
MÉDIA	6,16E-34	5,91E-34	6,12E-34	
SIMULADOR	7,11E-34	5,92E-34		7,11E-34

Fonte: Elaboração própria (2020)

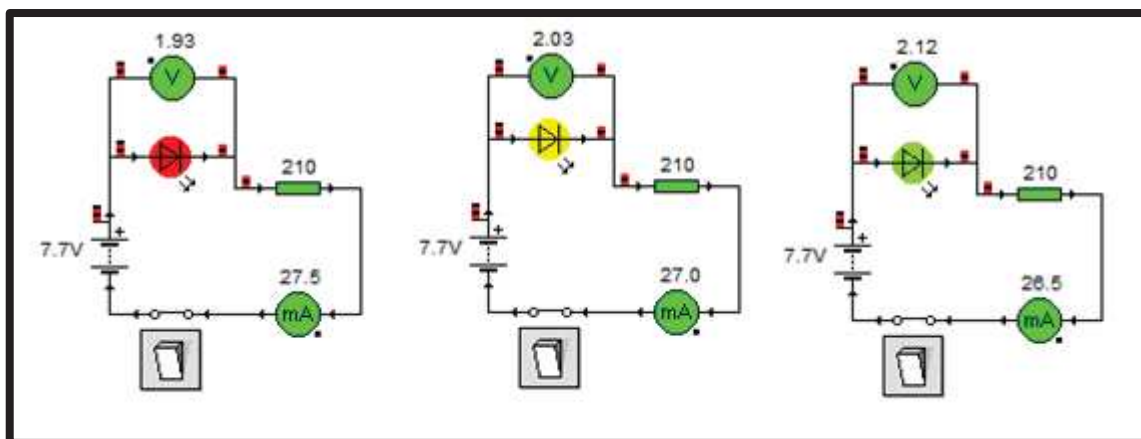
8.2.2.2 PROPOSTAS DE APLICAÇÃO DE ALGUNS EXPERIMENTOS INDEPENDENTE DO PRODUTO EXPERIMENTAL, APRESENTADAS POR UM DOS PROFESSORES NA PRIMEIRA OFICINA.

O professor “B” sugeriu que se montassem circuitos utilizando o simulador, de modo a permitir a realização dos experimentos com o auxílio do produto educacional. Ao colocar a sugestão como desafio ao grupo, os participantes apresentaram três circuitos que possibilitavam algumas práticas. No entanto, não foi apresentado nenhum circuito que possibilitasse o ensaio do experimento “Descobrimo a cor do LED”.

Apesar da proposta e confecção dos circuitos, segundo os próprios participantes, o fato de poder manipular o produto torna a experiência mais “real”, mais próxima do dia a dia, fazendo com que a aula fique mais produtiva, viva e concreta. No entanto, foi unânime entre os participantes a sugestão de se manter como desafio aos alunos a reprodução dos experimentos via simulador.

Um outro detalhe percebido pelos envolvidos é que a elaboração dos circuitos via simulador tornou-se mais simples após a apresentação e manipulação do produto educacional e a realização dos experimentos.

Figura 58 - Circuito Criados a Partir do Simulador Para Cálculo da Constante de Planck

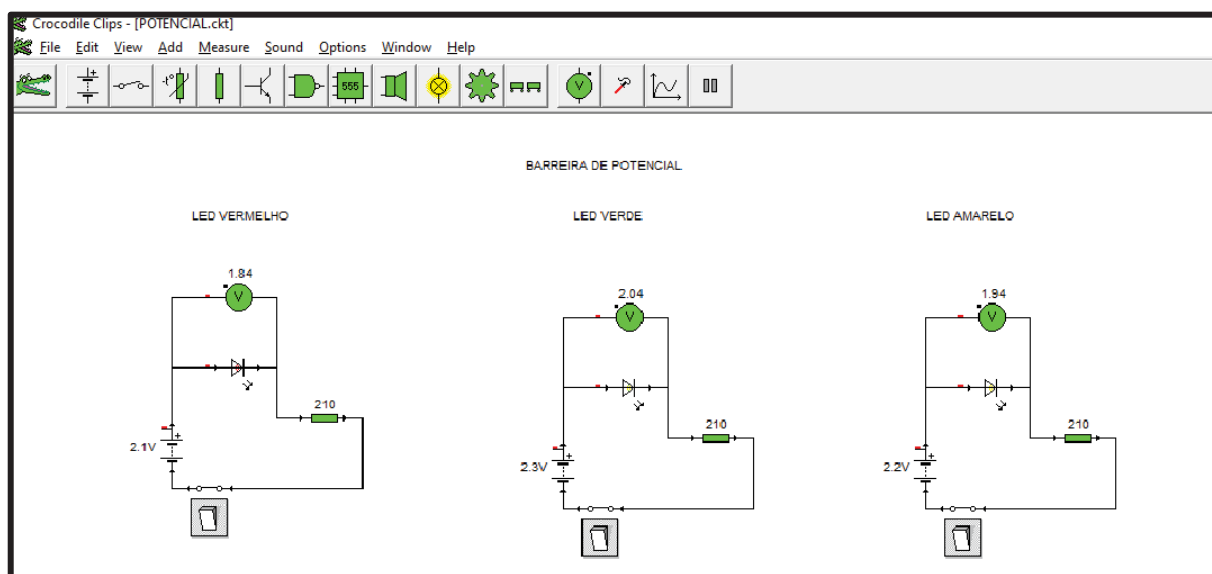


Fonte: Elaboração própria (2020)

8.2.2.3 POLARIZAÇÃO DIRETA E INVERSA E BARREIRA DE POTENCIAL

Os circuitos abaixo permitem determinar a barreira de potencial para os LEDs vermelho, verde e amarelo. Assim, o usuário pode ir ajustando o potenciômetro até que o simulador acuse os primeiros sinais no LED.

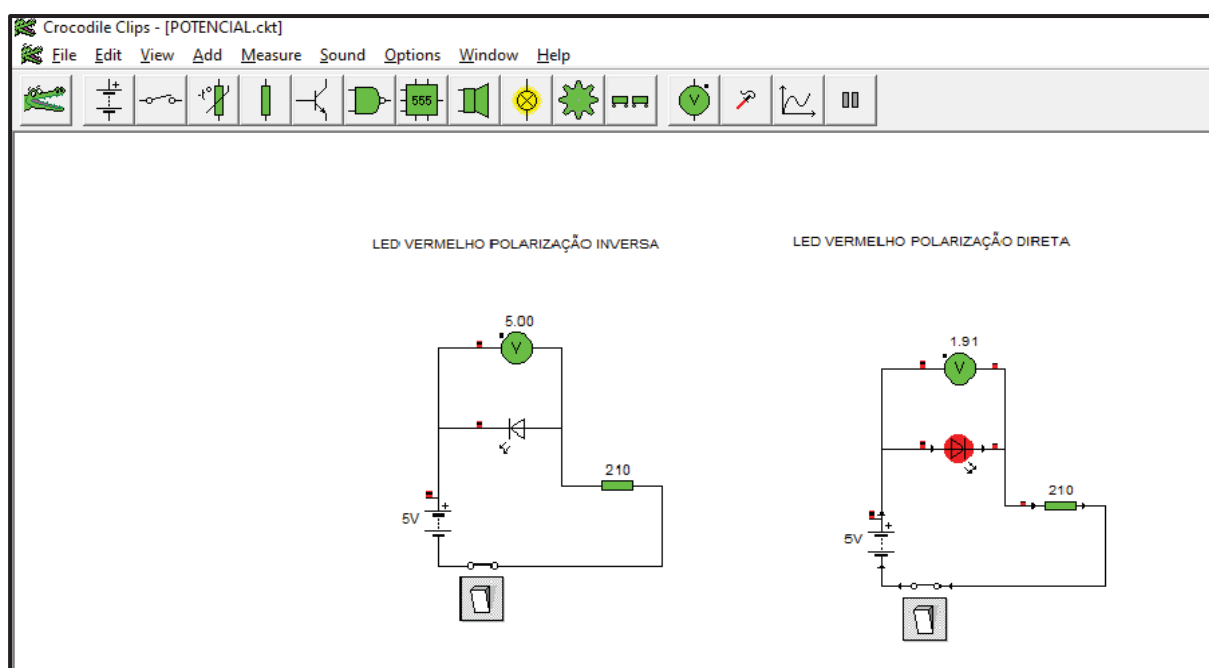
Figura 59 - Circuito Elabora a Partir do Simulador Para Análise da Barreira de Potencial



Fonte: Elaboração própria (2020)

Abaixo, podemos observar uma variante dos circuitos acima. Nessa nova situação, no primeiro circuito, observa-se uma polarização inversa e, por essa razão, não se verifica emissão de luz visível pelo LED, apesar de ele estar submetido a uma tensão de 5.00 V. E ao ligá-lo de forma correta, verifica-se a emissão luminosa com 1.91 V.

Figura 60 - Circuitos Elaborados a Partir do Simulador Para Análise do Circuito Para Polarização Direta e Inversa



Fonte: Elaboração própria (2020)

8.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir das práticas realizadas, foi possível discutir suas potencialidades didáticas, além de identificar os principais avanços e dificuldades dos participantes em relação aos conceitos por trás do tema trabalhado. Por meio da análise das respostas enviadas pelos professores ao questionário disponível no aplicativo *Google Forms*, verificou-se, ainda, o que cada profissional percebeu a respeito do produto educacional.

Nesta seção, apresentamos uma análise das respostas referentes ao questionário em questão (apêndice D) juntamente com alguns comentários sobre o envolvimento dos professores ao longo das oficinas de validação do produto educacional.

Este questionário foi constituído por 14 (quatorze) questões, sendo 11 (onze) de múltipla escolha e 3 (três) discursivas, que foram respondidas posteriormente à oficina por todos os participantes. As questões abordadas referem-se a: 1. Reprodução e avaliação tanto das propostas experimentais quanto do produto; 2. Avaliação da eficácia didática dos experimentos; 3. Sugestões quanto a modificações; 4. Testes a respeito dos conteúdos abordados.

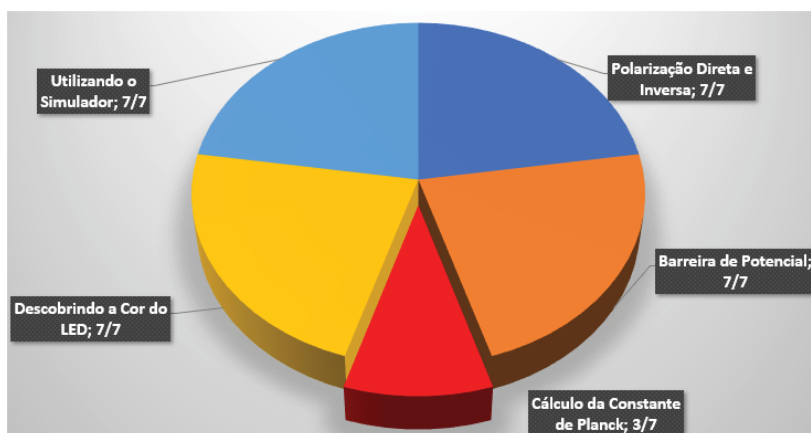
Quanto às questões relativas às propostas experimentais realizadas, apenas uma – que arguia sobre qual(is) experimento(s) o professor considerava de aplicação viável levando em consideração as suas turmas – possibilitava a escolha de várias opções.

Em 2 (duas) das 6 (seis) questões que propunham uma pequena e superficial aferição a respeito dos conteúdos abordados, os participantes precisaram, primeiramente, assistir a 2 (dois) vídeos de nossa autoria e em seguida tecer suas explicações com embasamento em preceitos da física a respeito dos experimentos apresentados em cada vídeo.

Ao serem questionados sobre a aplicabilidade e reprodução do produto educacional, verificamos que todos os participantes o consideraram de fácil reprodução e fácil utilização. Além disso, de modo unânime, os participantes consideraram que os experimentos realizados favoreceram a compreensão dos fenômenos em estudo.

Os participantes também consideraram a aplicabilidade das atividades propostas entre seus alunos, demonstrando muito interesse em reproduzi-las, já que as consideraram muito significativas e favoráveis à compreensão dos fenômenos discutidos. Nesse sentido, foi solicitado aos participantes que avaliassem todas as propostas trabalhadas e que assinalassem qual ou quais delas consideravam de aplicação viável, levando em consideração suas turmas. A análise das respostas, sintetizada no Gráfico 4, revela uma certa resistência em relação ao experimento centrado na Constante de Planck, uma vez que, dos 7 (sete) participantes, apenas 3 (três) optaram por ele. Por outro lado, observamos que os demais experimentos (Utilizando o Simulador, Polarização Direta e Inversa, Barreira de Potencial e Descobrimo a Cor do Led) foram bem aceitos pelos professores, tendo sido assinalados por todos eles.

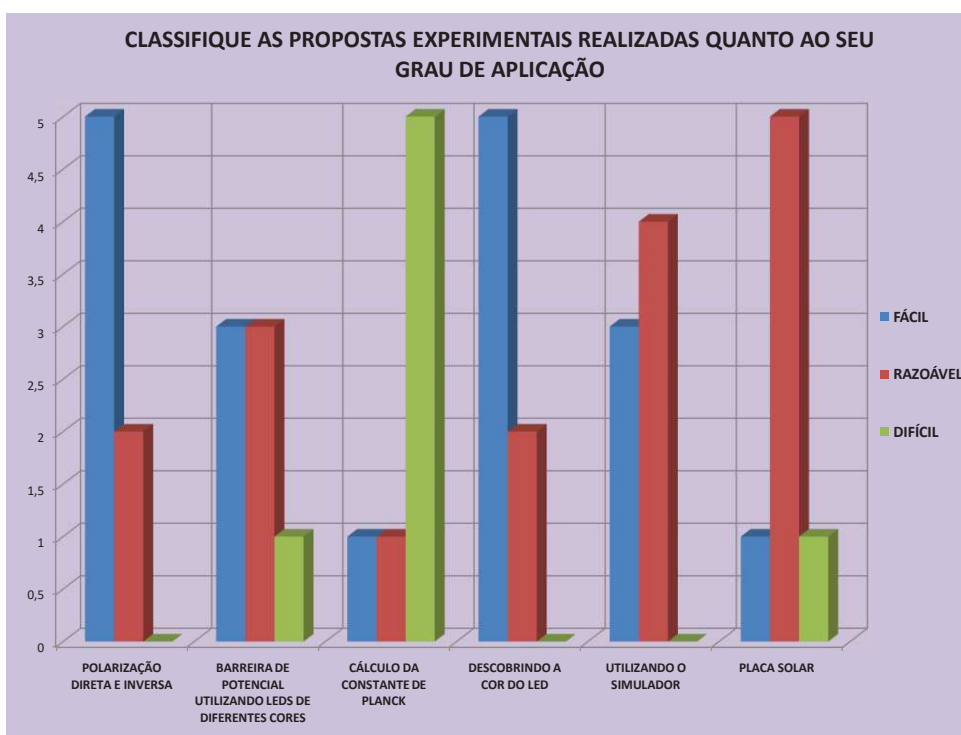
Gráfico 4 - Avaliação da aplicabilidade dos experimentos



Fonte: Elaboração própria (2020)

Os participantes avaliaram e classificaram as propostas experimentais quanto ao grau de aplicação em três classes: fácil, razoável e difícil (Gráfico 5). Observou-se que todos os experimentos foram classificados como fácil ou razoável por pelo menos 6 (seis) dos 7 (sete) professores. Observou-se, mais uma vez, a resistência do grupo em relação ao experimento a respeito da constante de Planck, classificado como difícil por 5 (cinco) entre os 7 (sete) participantes.

Gráfico 5 – Classificação das propostas experimentais



Fonte: Elaboração própria (2020)

Ao serem questionados a respeito de qual das propostas experimentais os professores não deixariam de aplicar em suas aulas, percebe-se a eleição do experimento “Descobrimo a cor do LED” por 5 (cinco) dos 7 (sete) participantes (Gráfico 6). Os experimentos Polarização Direta e Inversa e Utilizando o Simulador foram citados por um professor cada, enquanto o do Cálculo da Constante de Planck e da Barreira de Potencial não foram citados.

Gráfico 6 - Seleção dos experimentos propostos



Fonte: Elaboração própria (2020)

Outro fato de muita relevância foi a boa aceitação do texto de apoio, classificado como muito bom por 6 (seis) dos sete participantes e como bom pelo sétimo.

É importante destacar, ainda, que o simulador *Crocodile*, além de uma simples modelagem, proporcionou discussões a respeito das diferentes possibilidades de associações dos LEDs, o uso adequado do resistor de segurança e do consumo de energia envolvido em cada situação. Foi sugerido também por um dos participantes a elaboração de parte dos experimentos estudados utilizando-se apenas o simulador, sugestão essa realizada e apresentada no Apêndice A (Seção A.3.2).

Em relação ao uso da planilha eletrônica, foi consenso entre os participantes que, além de otimizar o tempo, permitiu o confronto entre as curvas características do diodo, facilitando a compreensão a respeito da linearização dos pontos a partir de certo valor. Ao mesmo tempo, alguns professores confessaram não se sentir à vontade com o uso do computador. Outros ainda afirmaram que tais dificuldades seriam apresentadas pelos alunos. Contudo, a avaliação geral do produto foi positiva, como se comprova pelos dados representados.

Foi sugerido pelos professores que participaram das oficinas que a aplicação dos produtos educacionais seja realizada com professores sempre que possível, ainda que isso ocorra entre os próprios colegas do curso, já que não se pode negar a experiência, o potencial crítico e de transmissão desses agentes.

8.4 COMENTÁRIOS FINAIS

A oportunidade de realizar as oficinas com professores permitiu uma troca muito rica em virtude tanto da prática, quanto da bagagem profissional de cada participante. Com isso, foi possível, por exemplo, reavaliar o texto a ser usado como âncora, a utilização do simulador na recriação dos experimentos realizados com o auxílio do produto educacional e a utilização do LED amarelo no experimento denominado Barreira de Potencial, a fim de comparar o resultado em relação àquele possibilitado com o simulador.

Uma outra rica discussão foi promovida a respeito do experimento centrado na Constante de Planck. Verificou-se a possibilidade de se descartar o caráter estatístico mais rígido, quando a aplicação for realizada com alunos do ensino médio, valorizando-se mais, por conseguinte, a compreensão do processo e a ordem de grandeza do valor obtido.

Quanto às respostas dos questionários e às sugestões dos participantes, constituíram fonte importante para análise dos experimentos realizados.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O último capítulo desta dissertação visa a estabelecer nossas considerações a respeito do trabalho realizado e sugerir, dentro das possibilidades, algumas recomendações para futuros trabalhos relacionados ao tema principal.

Ao iniciarmos nossa pesquisa, tínhamos como objetivo confeccionar um produto educacional que pudesse contribuir para o ensino da Física Moderna e Contemporânea nas escolas de ensino médio brasileiras, uma vez que entendemos sua importância em nossos currículos, reconhecida nos documentos curriculares oficiais vigentes inclusive.

Muitas seriam as motivações para tal finalidade de pesquisa, mas pautamos nossa discussão em duas justificativas centrais: a primeira é que tais conteúdos auxiliam a compreensão do mundo contemporâneo e tecnológico no qual todos nós estamos inseridos, permitindo, assim, um desdobramento para o cotidiano dos alunos e, com isso, promovendo uma harmonização entre a realidade discente intra e extraescolar; a segunda, não menos importante, é que, para muitos alunos, mesmo para aqueles que dão continuidade a seus estudos em nível superior, o ensino médio acaba sendo a ocasião do último contato com esses conteúdos.

Decidiu-se então, elaborar um produto educacional que viabilizasse o ensino de alguns conceitos relativos da Física Moderna e Contemporânea a partir da compreensão do funcionamento de alguns materiais semicondutores.

No entanto, nossas experiências acumuladas ao longo de décadas como regente de turma apontavam para uma proposta pedagógica na qual o aluno pudesse ser visto como protagonista do processo de ensino e aprendizagem. Desta sorte, passou-se a pesquisar uma metodologia que fosse capaz de problematizar a prática de ensino tradicional, estimulando o aluno a praticar ciência de forma coletiva e colaborativa, agregando novos saberes a sua bagagem cultural e científica, além de desenvolver competências associadas ao pensamento crítico e à responsabilidade.

Após algumas pesquisas a respeito de metodologias ativas, optou-se pela adoção da metodologia ABP, uma vez que suas características permitiam um trabalho construtivista e investigativo, além de mostrar-se de fácil alinhamento ao referencial teórico-metodológico dos pressupostos sociointeracionistas de Vygotsky, anteriormente definido como referência de fundamento pedagógico para este percurso.

Paralelamente, buscamos elaborar um produto que pudesse ser de fácil aplicação, baixo custo, que pudesse ser utilizado juntamente com a metodologia ABP, mas que também fosse

flexível o bastante a ponto de permitir sua utilização junto a outras metodologias. Assim, foram pesquisados alguns artigos, dissertações, teses, entre outros levantamentos bibliográficos que traziam em seu escopo propostas experimentais voltadas para o ensino da FMC comprometidas com uma pedagogia construtivista.

Pensando em uma aplicação em sala de aula dentro de um formato presencial, chegamos a um produto educacional para turmas de ensino médio denominado “planckômetro”, o qual foi disposto em um *kit* experimental, cujo objetivo era possibilitar a compreensão de fenômenos relativos à FMC a partir de investigações sobre o comportamento de certos materiais semicondutores. O modelo, constituído, entre outras artefatos, por seis LEDs de diferentes cores, selecionáveis a partir de um chaveamento e de um minimultímetro digital acoplado ao produto para facilitar sua utilização, permite experimentos relativos tanto à absorção quanto à emissão da luz.

Entretanto, surpreendidos pelo novo cenário epidemiológico decorrente da Covid-19, vimo-nos impossibilitados de realizar a aplicação do produto conforme a metodologia escolhida, já que as atividades escolares foram suspensas na maioria das escolas públicas e privadas brasileiras durante quase todo o ano letivo de 2020. Amparados pelo § 4º do art. 4º da Resolução nº 1 do MNPEF, de 03 de junho de 2020, optou-se, então, pela validação do produto educacional através de oficinas voltadas para professores de física, que seriam realizadas a princípio de forma remota.

A nova versão do recurso educacional apresenta um produto menor, de custos significativamente reduzidos e que ainda mantém as possibilidades oferecidas pela versão anterior. Feitos os ajustes, os *kits* foram enviados aos participantes.

Para que o professor pudesse participar das oficinas remotamente, foi solicitado que possuísse os materiais necessários à realização dos experimentos. Dos 7 (sete) professores convidados como público-alvo da pesquisa, apenas 1 (um) não possuía dois multímetros exigidos, fato que não impediu sua participação, uma vez que foi cedido a este professor um segundo multímetro.

Já no primeiro encontro presencial – em que se respeitaram todos os protocolos sanitários –, pudemos observar que o fato de os participantes terem que concluir a montagem do produto experimental fez com que se sentissem mais íntimos do processo, assumindo uma espécie de coautoria do produto. Assim, logo que concluía o circuito, ficavam ansiosos para testá-lo e realizar os experimentos, algo que se repetiu nos encontros remotos.

Um outro fato importante é que, ao trabalharem as questões relativas à construção dos circuitos com o simulador *Crocodile*, os participantes ficaram muito entusiasmados e envolvidos com a tarefa. Com isso, evidenciou-se a criatividade de cada professor fluindo, a

ponto de um professor sugerir, ao término das oficinas, o uso do simulador para a construção de circuitos que pudessem reproduzir os mesmos experimentos anteriormente realizados com o auxílio do produto educacional.

Aqui revela-se, pois, a importância dos experimentos para a ampliação das zonas de desenvolvimento real e proximal do grupo, e ainda a internalização dos saberes mobilizados nas oficinas. Por fim, a proposta de reproduzir os experimentos com o uso do simulador, concebida a partir da interação entre os partícipes, foi lançada como desafio para o grupo e, devido ao sucesso, encaminhou-se também como sugestão, nos demais encontros.

Dentre os experimentos sugeridos na sequência didática, é importante destacar a proposta “Descobrimo a cor do LED” que se mostrou rica em ludicidade e também preocupada com o conceito e a linguagem científica relacionada ao próprio experimento. Sem dúvidas, tais características despertaram nos participantes o desejo de reproduzi-lo em suas aulas.

Já o experimento denominado “Cálculo da constante de Planck” mostrou-se mais trabalhoso e complexo. Isso se justifica, pois, em função do público-alvo das oficinas (professores), optou-se pela utilização de uma análise estatística rígida, utilizando-se gráficos e regressão linear. No entanto, a partir dessas dificuldades, vislumbrou-se que o experimento pode ser simplificado para os alunos de ensino médio, demandando-se, em vez de medir a constante de Planck nos moldes referidos, estimar o valor dela por meio do cálculo apenas do valor da tensão mínima para condução.

Quanto aos experimentos denominados “Barreira de potencial” e “Polarização direta e inversa”, segundo informações dos participantes, foram essenciais para a compreensão de temas como zona de depleção e junção PN.

Ao término de cada minicurso, reservou-se um momento para uma breve discussão e avaliação do trabalho realizado pelos participantes, buscando ouvir suas opiniões em relação à reprodução e aplicação do produto, às propostas experimentais, à utilização do *kit* experimental em suas aulas, ao material de apoio e às sugestões sobre alterações, dificuldades ou adaptações. O *feedback* solicitado após o processo de validação buscou, entre outras coisas, avaliar o produto educacional e as propostas experimentais em tela junto aos profissionais envolvidos.

Quanto a tais propostas, os participantes declararam que contribuíram para a compreensão dos fenômenos abordados. Segundo eles, o material de apoio recebido (Capítulo 4 da dissertação), apesar de esclarecedor, não foi considerado apropriado para alunos do ensino médio. Desta forma, esclareceu-se aos docentes envolvidos que essa etapa não pode ser encarada como algo pronto, estático ou dogmático, cabendo, portanto, ao professor encontrar novos textos, experimentos ou outros materiais apropriados à ZDP de seus alunos em particular.

Para as oficinas, em decorrência do pouco tempo disponível, foi impraticável a utilização ABP. No entanto, foi possível apresentar e discutir as principais ideias a respeito desta metodologia, o que acabou por provocar bastante interesse por parte desses profissionais. Mesmo em se tratando de uma pequena amostra, não se pode negar a viabilidade do produto educacional em tela, uma vez que todos os participantes afirmaram tratar-se de um recurso pedagógico viável, eficaz, fácil de aplicar, de reproduzir e, ainda, seguro para utilização em sala de aula.

Por fim, passaremos a dividir nossas recomendações para futuros trabalhos, dando ênfase àqueles relacionados ao mesmo tema principal.

Percebemos que o produto educacional apresentou melhores resultados quando se utilizou o potenciômetro multivoltas modelo 3590s 100 k 10 voltas. Em relação aos LEDs, observou-se que comumente os de cor laranja estão em uma faixa muito próxima ou mesmo dentro da faixa do comprimento do LED amarelo, o que, dependendo do experimento, pode gerar alguns resultados fora do esperado. Portanto, recomenda-se buscar junto ao vendedor o *datasheet* dos LEDs que serão adquiridos.

A construção tanto do produto educacional quanto das placas solares pode ser realizada a partir de caixas de papelão. Apesar de isso não causar diminuição significativa no valor financeiro do produto, facilita a construção do equipamento uma vez que dispensa a utilização de ferramentas mais complexas, como por exemplo uma máquina de furar.

Também é possível a elaboração de um suporte para as placas solares de modo que se acople um transferidor. Dessa forma, será possível que os alunos observem, com certa facilidade, o ângulo para o qual a placa gera maior DDP. Um outro detalhe muito rico é expor as placas solares sob lâmpadas LED além de lâmpadas incandescentes de diferentes potências e, assim, observar e discutir os diferentes resultados.

Enfim, as experiências acumuladas em anos de atuação de magistério e principalmente as adquiridas ao longo do curso de mestrado permitem-nos ratificar as propostas de Paulo Freire quando afirma que o educador precisa refletir sobre o erro e passar a considerá-lo uma “forma provisória de saber” (FREIRE, 1995, p. 71). Nesse sentido, o autor propõe “como antídoto à pedagogia da resposta, que o ensino se oriente na direção de uma educação libertadora, que muda o foco cartesiano da resposta certa, para o foco libertador de um ensino que estimule a pergunta e que desenvolva a curiosidade de aprender” (FURTADO, 2015).

Concluo agradecendo a oportunidade e reafirmando a importância de iniciativas como a do MNPEF para todos que almejam um ensino de maior qualidade.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Maria Conceição; PERALTA, Luis. **Ano da Luz – medir a constante de Planck com diodos LED. Gazeta de Física**, Lisboa, vol. 39, n. 1/2, p. 82-85. Jun.2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/pdf>. Acesso: 10 abr. 2020.
- ALVES, A.F. Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos. UNESP, 2008. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101817/alves_af_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso: 16 ago. 2020.
- ALVES, V. C.; STACHAK, M. A importância de aulas experimentais no processo ensino-aprendizagem em física: “Eletricidade”. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. SBF, 16, 2005, Rio de Janeiro. **Anais** [...] p. 1-4. Disponível em: http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LCFIS_7859_1276288519.pdf. Acesso em: 04 ago. 2020.
- ANDRADE, A. F.; VICARI, R. M. Construindo um ambiente de aprendizagem a distância inspirado na concepção sociointeracionista de Vygotsky. *In*: SILVA, Marco (org.). **Educação online: teorias, práticas, legislação, formação corporativa**. 2 ed. São Paulo: Loyola, 2003, p. 255-272.
- AGÊNCIA NACIONAL ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica do Brasil. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b. Acesso em: 25 novembro 2019.
- ASSIS, A.K.T. Óptica Isaac Newton. 2ª ed. São Paulo: Ed. Edus,2017.
- BAGNATO, V. S.; MUNIZ, S. R. **Estrutura da Matéria**. Os modelos atômicos 5. Mód. 1. [Licenciatura em Ciências]. São Paulo: USP/Univesp. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/185647/mod_resource/content/0/plc0003_05.pdf. Acesso em: 24 jun. 2019.
- BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos**. Educação diferenciada para o século XXI. São Paulo: Ed. Penso, 2015.
- BONADIMAN, H.; NONENMACHER, S. E. B. O gostar e o aprender no ensino de física: uma proposta metodológica. *In*: **Caderno Brasileiro Ensino de Física**. Florianópolis, SC, v. 24, n. 2, p.194-223, ago. 2007. DOI: <https://doi.org/10.5007/%25x>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/1087>. Acesso em: 18 dez. 2020.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis – SC, v.19, n.3, p.291-313, dez.2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607/6099>, Acesso em: 15 mai. 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília, 2018.

BUCK INSTITUTE FOR EDUCATION. **Aprendizagem baseada em projetos**: guia para professores de ensino fundamental e médio. Tradução Daniel Bueno. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

BUENO, L.; PALMIERI, M.; LEOPOLDO, W. M. A ideia da quantização. *In*: BUENO, L.; PALMIERI, M.; LEOPOLDO, W. M. **Fisistória**. 1. ed. São Paulo: Bazinga, 2015. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/324048/mod_resource/content/1/Material%20Did%C3%A1tico%20-%20Leonardo%2C%20Mayara%20e%20Walter.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais**. Uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARVALHO, A. M. *et al.* (org.) **Ensino de ciências por investigação**. Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2013.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. **Física Moderna Experimental**. 3. ed. São Paulo: Manole, 2011.

CENTRO NACIONAL AMERICANO PARA OBSERVAÇÃO NOTURNA DE ASTRONOMIA. **O espectro solar**. 30 nov. 2017. Imagem. Disponível em: <https://solarsystem.nasa.gov/resources/390/the-solar-spectrum/>. Acesso em: 12 jun. 2019.

CHIQUELTO, M. J. O currículo de física do ensino médio no Brasil: discussão retrospectiva. **Revista e-Curriculum**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 1-16, abr. 2011. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/curriculum/article/view/5646/3990>. Acesso em: 03 ago. 2020.

CORPO NEGRO. *In*: **WIKIPÉDIA**: a enciclopédia livre. [São Francisco, CA: Fundação Wikimedia], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro. Acesso em: 05 jul. 2019.

UNIVERSITY OF DELAWARE. Teoria das bandas. *In*: UNIVERSITY OF DELAWARE. **Academic files**. Delaware, 6 jun. 2013. Disponível em: <https://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/bandtheory.html>. Acesso em: 27 set. 2020.

DIAS, I. F. L.; TEIXEIRA, R. C.; DUARTE, J. L. **Introdução aos semicondutores e suas aplicações tecnológicas**. Londrina, PR: Eduel, 2005.

DONOSO, J. P. **Datas e personagens na história da espectroscopia**. [São Paulo]: Instituto de Física de São Carlos, [201?]. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~donoso/espectroscopia/Historia.pdf>. 10 ago.2019.

EISBER, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**: átomos, moléculas, sólidos e partículas. 23. tiragem. Rio de Janeiro: Ed Campus, 1979.

ENERGIA FOTOVOLTAICA. **Painel solar**. Qual a melhor inclinação? [Pernambuco]: Energia Fotovoltaica, 28 jun. 2017. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GzUS8i6vUmg>. Acesso em: 20 set. 2019.

FOGAÇA, J. R. V. Espectros de Emissão e de Absorção e Leis de Kirchhoff. *In: Brasil Escola*. 08 set. 2011. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/espectros-emissao-absorcao-leis-kirchhoff.htm>. Acesso em: 15 jul. 2019.

FONSECA, V. **Desenvolvimento Cognitivo e Processo de Ensino-Aprendizagem**. Abordagem Psicopedagógica à luz de Vygotsky. Petrópolis, RJ: Vozes, 2018.

FOSSILE, D. K. Construtivismo versus Sócio-interacionismo: Uma introdução às teorias cognitivas. *Revista ALPHA*. Patos de Minas, UNIPAM, (11): 105-117, ago. 2010. Disponível em: <https://document.onl/download/link/construtivismo-versus-socio-interacionsimo>. Acesso em: 10 jun. 2020.

FRANCO, H. **Evolução dos Conceitos da Física**. 2. ed. [São Paulo]: IFUSP 1336/98, 2002. [Apostila]. Disponível em: <http://plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/apostila/helen8/node23.html>. Acesso em: 12 maio 2020.

FREIRE, P. **Conscientização: Teoria e prática da libertação: uma introdução ao pensamento de Paulo Freire**. Tradução Kátia de Mello e Silva. Revisão Benedito Eliseu Leite Cintra. São Paulo: Cortez e Moraes, 1979.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. Saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. **Política e educação: ensaios**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2001. (Coleção Questões de Nossa Época; v.23).

FRUETT, F. Introdução aos semicondutores. *In: FEEC*. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp [Arquivos de disciplinas]. Campinas, SP, 03 set. 2004. Disponível em: <http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE530/PDF/Texto%20-%20F%EDsica%20dos%20Semicondutores.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2019.

FURTADO, J. A pedagogia do erro. O cérebro vai à escola: Neurociência na Educação – **Revista Construir Notícias**. Edição 89 – Julho/Agosto 2016. Disponível em: <https://www.construirnoticias.com.br/a-pedagogia-do-erro/>. Acesso: 09 jan. 2020.

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

GIOVANI, L. M. Do professor informante ao professor parceiro: Reflexões sobre o papel da universidade para o desenvolvimento profissional de professores e as mudanças na escola. **Cadernos CEDES**. Campinas, v. 19, n. 44, p. 46-58, abr. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-32621998000100005>. Acesso em: 30 out. 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 10. ed. Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HELERBROCK, R. Espectro eletromagnético. *In: Brasil Escola*. 12 jan. 2009. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em: 30 ago. 2020.

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. Aula 2 – Eletrônica Geral 1 – Técnico. *In:* INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Wiki do IFSC**. Florianópolis, SC, 6 set. 2016. Disponível em: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_2_-_Eletr%C3%B4nica_Geral_1_-_T%C3%A9cnico. Acesso em: 6 out. 2020.

LEIRIA, T.F.; MATARUCO, S.M.C. O papel das atividades experimentais no processo ensino-aprendizagem de física. EDUCERE – XII Congresso Nacional de Educação. PUCPR. Dez.2015. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/18234_8366.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.

LOPES, J. I. M. **O Estudo de Semicondutores no Ensino Médio**: Uma Proposta de Sala de Aula Invertida. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40953/1/2018_tcc_jimlopes.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

LOPES, R. M.; SILVA FILHO, M. V.; ALVES, N. G. (org.) **Aprendizagem Baseada em Problemas**: Fundamentos para aplicação no Ensino Médio e na Formação de Professores. Rio de Janeiro: Publiki, 2019.

LORENZ, Katharina; MARQUES, José Gonçalves; MONTEIRO, Teresa. **Díodos Emissores de Luz e Iluminação**. Lisboa ,vol. 39, n. 1/2, p. 50-54. Jun.2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/991/pdf>. Acesso: 10 abr. 2020.

MAIOR, C. D. S.; WANDERLEY; J. L. Teoria vygotskyana das funções psíquicas superiores e sua influência no contexto escolar inclusivo. *In:* II Congresso Internacional de Educação Inclusiva, 2016, Campina Grande. **Anais do II CINTEDI**. Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/22649>. Acesso em: 20 de abr. 2020. Acesso em: 23 nov. 2020.

MIRANDA, J. B.; SENRA, L. X. Aquisição e Desenvolvimento da Linguagem: Contribuições de Piaget, Vygotsky e Maturana [Trabalho de curso]. *In:* **Psicologia.pt**. 15 set. 2012. Disponível em: <https://www.psicologia.pt/artigos/textos/TL0306.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio. *In:* NARDI, R. (org.) **Ensino de ciências e matemática**, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009, p. 145-159. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/g5q2h/pdf/nardi-9788579830044-10.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2020.

MORAES, S. P. G. A concepção de aprendizagem e desenvolvimento em Vigotski e a avaliação escolar. *In:* MORAES, S. P. G. **Avaliação do processo de ensino e aprendizagem em Matemática**: contribuições da teoria histórico-cultural. 2008. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/18345263-A-concepcao-de-aprendizagem-e-desenvolvimento-em-vigotski-e-a-avaliacao-escolar-1.html>. Acesso em: 15 de abr. 2020.

MORAN, J.; BACICH, L. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**. Uma abordagem teórico-prática. São Paulo: Ed. Penso, 2018.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-99, mar. 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/116896>. Acesso em: 14 out. 2020.

MOURA, Silio Lima de et al. **Constante de Planck: Uma Nova visão para o Ensino Médio**. Química Nova na Escola, São Paulo, vol. 33, n°4, p. 249-251, nov. 2011. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_4/246-EEQ-6011.pdf. Acesso em: 12 mar. 2020.

MÜLLER, A. M.; SARAIVA, M. F. O; OLIVEIRA FILHO, K. S. **Fundamentos de Astronomia e Astrofísica para o Ensino Superior na Modalidade a Distância**. Espectroscopia. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRS: 2013. Disponível em: https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n29_Muller/aula2/aula2g.pdf Acesso em: 12 jul. 2019.

MUNIZ, S. R. **Estrutura da Matéria**. Introdução ao Estudo dos Sólidos (7). São Paulo: USP/Univesp, 2014. [Material didático e instrucional do curso de Licenciatura em Ciências, Mód. 1]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1117999/mod_resource/content/1/plc0003_07.pdf. Acesso em: 10 set. 2020

NETO, R. A. C.; FREIRE JR, O.; ROCHA, J. F. M. Revelando o caráter determinístico da mecânica newtoniana – uma ponte para o ensino de física moderna no ensino médio. **Ideação**, Feira de Santana, n. 3, p. 51-68, jan./jun. 1999. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/view/12871339/revelando-o-carater-deterministico-da-mecanica-newtoniana>. Acesso em: 20 maio 2020.

NOVAES, E. C. Vygotsky e a teoria sociointeracionista do desenvolvimento. *In*: NOVAES, E. C. **Blog do Ed**. 18 ago. 2011. Disponível em: <http://edmarciuscarvalho.blogspot.com/2011/08/vygotsky-e-teoria-sociointeracionista.html>. Acesso em: 18 ago. 2020.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a16v29n3.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020.

O Que são semicondutores e condutores? LED e LDR são semicondutores? *In*: STOAWIKI. [São Paulo, Universidade de São Paulo], 2013. Disponível em: <https://bit.ly/31m5ISO>. Acesso em: 10 fev. 2020.

Tipos de retificadores. *In*: OS TIPOS DE. [S. n. b]. Disponível em: <https://www.ostiposde.com/tipos-de-retificadores/>. Acesso em: 22 mar. 2020.

PALANGANA, I. C. **Desenvolvimento e aprendizagem em Piaget e Vigotski**: a relevância do social. 6. ed. São Paulo: Summus, 2015. Edição do Kindle.

PASQUALLETO, T. I. **O ensino de Física via aprendizagem baseada em projetos: Um estudo à luz da teoria antropológica do didático.** 2018. 237 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/188390/001085377.pdf>. Acesso em: 14 out. 2020.

PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; PRADO, T. G. **Física moderna e contemporânea.** São Paulo: Editora LF, 2014.

PRADO, M. E. B. B. **Pedagogia de Projetos.** Programa Salto para o Futuro, Rio de Janeiro: TV Escola, setembro de 2003. Programa de TV. Texto disponível em: http://www.eadconsultoria.com.br/matapoio/biblioteca/textos_pdf/texto18.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

PRESTES, Z.; TUNES, E. A trajetória de obras de Vigotski: um longo percurso até os originais. **Estudos de Psicologia**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 327-340, set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-166X2012000300003>. Acesso em: 10 abr. 2020.

REGO, T. C. **Vygotsky: Uma perspectiva histórico-cultural da educação.** Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

RESENDE, M. L. M. Vygotsky: Um olhar sociointeracionista do desenvolvimento da língua escrita. *In: Profala*. Évora (PT), 21, mar. 2010. Disponível em: <http://www.profala.com/artpsico108.htm>. Acesso: 21 abr. 2020.

REZENDE, S. M. **Materiais e Dispositivos Eletrônicos.** 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

RODRIGUES, M. I. R.; CARVALHO, A. M. P. Professores-pesquisadores – Reflexão e mudança metodológica no ensino de física – O contexto da avaliação. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 8, n. 1, p. 39-53, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132002000100004>. Acesso em: 30 out. 2020.

ROMERO, P. Breve estudo sobre Lev Vygotsky e o sociointeracionismo. **Revista Educação Pública**, Rio de Janeiro, v.15, ed. 8, 28 abr. 2015. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/15/8/breve-estudo-sobre-lev-vygotsky-e-o-sociointeracionismo>. Acesso em: 10 de abr. 2020.

ROSA, C. T. W.; ROSA, A. B. A teoria histórico-cultural e o ensino da física. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 34, n. 3, p. 1-8, 5 mar. 2004. Disponível em: <https://rieoei.org/RIE/article/view/3029>. Acesso em: 15 abr. 2020

ROSA, C. T. W.; ROSA, A. B. Ensino da Física: tendências e desafios na prática docente. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 43, n. 1, p. 1-12, 25 de maio de 2007. Disponível em: <https://rieoei.org/RIE/article/view/2343>. Acesso em: 22 de jun. 2020

SANTANA, P.H.G. Mimetização de observações espectroscópicas de objetos astronômicos extensos: uma aplicação de modelos computacionais. UEFS, 2018.

SANTOS, Erick Santana dos; JR., Roberto dos Santos Menezes; SANTANA, Victor Mancir da Silva. **Determinação Experimental da Constante de Planck Pela Observação da Corrente de Descarga do Capacitor**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, vol.32, n.3, p.824-836, dez. 2015. Disponível em: [file:///C:/Users/feito/Dropbox/My%20PC%20\(LAPTOP-479TKPJT\)/Downloads/36352-Texto%20do%20Artigo-139746-1-10-20151127.pdf](file:///C:/Users/feito/Dropbox/My%20PC%20(LAPTOP-479TKPJT)/Downloads/36352-Texto%20do%20Artigo-139746-1-10-20151127.pdf). Acesso em 20 mar.2020.

STADLER, G. *et al.* Proposta pedagógica interacionista. IV EDUCERE: **Anais** [...]. 2004. Disponível em: <https://docplayer.com.br/23861975-Proposta-pedagogica-interacionista.html>. Acesso: 25/04/2020

SÉRÉ, M.G.; COELHO, S.M.; NUNES, A.D. O papel da experimentação no ensino da física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.20, n.1: p.30-42,2003. Disponível em: SÉRÉ, M.G.; COELHO, S.M.; NUNES, A.D. O papel da experimentação no ensino da física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.20, n.1: p.30-42,2003. Acesso em 22 out. 2019.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Física de São Carlos - IFSC. **Espectroscopia Óptica**. [São Paulo], Laboratório de Ótica [2016]. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=19890§ion=8>. Acesso em: 25 set. 2019.

VIANA, R. L. **Modelo atômico de Bohr**. [S.l.], 2016 [Slides de aula de Física Moderna da UFPR]. Disponível em: http://fisica.ufpr.br/viana/parfor/Fisica_Moderna/Aula_7_2018.pdf. Acesso em: 30 set. 2019.

VYGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. Michael Cole, Vera John-Steiner, Sylvia Scribner, Ellen Souberman (org.). 4. ed. São Paulo: Martins Fontes Editora, 1991. [Texto proveniente de Seção Braille da Biblioteca Pública do Paraná]. Disponível: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3317710/mod_resource/content/2/A%20formacao%20social%20da%20mente.pdf. Acesso em: 15 abr. 2020.

VIGOTSKY, L. S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. Tradução: Maria da Pena Villalobos. 11. ed. São Paulo: Ed. Ícone, 2010.

VILLATE, J. E. História das teorias da luz. *In*: VILLATE, J. E. **Eletricidade, magnetismo e circuitos**. 3. ed. Porto, PT: Universidade do Porto, 2019. [Manual didático]. DOI: 10.24840/978-972-99396-6-2. Disponível em: <https://def.fe.up.pt/eletricidade/luz/>. Acesso em: 17 de nov. 2019.

WATANABE, Y. E.; BERTO, F. G.; CHICARELLE, R. J. A importância do lúdico na perspectiva histórico-cultural aos processos de alfabetização e letramento. *In*: Semana de Pedagogia da UEM, 2012, Maringá. **Anais** [...] v. 1, n. 1, Maringá, 2012. Disponível em: <http://www.ppe.uem.br/semanadepedagogia/2012/pdf/T2/T2-004.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

APÊNDICE A - REGISTROS DAS APLICAÇÕES

A.1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresentamos um relato de experiência, no qual descrevemos e analisamos um conjunto de oficinas realizadas com professores de Física, com o objetivo de certificação do produto educacional fruto do trabalho de pesquisa do MNPEF do polo da UFJF.

As oficinas abordaram aspectos relativos a Física Moderna, em atividades que envolviam a compreensão do funcionamento de um diodo emissor de luz.

As atividades foram precedidas de uma leitura do texto de apoio sobre materiais semicondutores além de atividades envolvendo o simulador Crocodile.

O objetivo da oficina consistiu em submeter tanto o produto educacional quanto o material escrito (correspondente ao Capítulo 4 desta dissertação) aos olhares críticos daqueles profissionais, promover uma troca baseada nas experiências profissionais individuais e, por fim, enxergá-los como potenciais transmissores dos saberes ali adquiridos.

As oficinas foram desenvolvidas e realizadas em três formatos: presencial, remoto e híbrido, de acordo com a escolha do participante. Dos sete professores selecionados como público-alvo da pesquisa, quatro deles optaram pelo formato presencial, 2 pelo modelo remoto e um realizou o primeiro encontro de forma presencial e o segundo de forma remota e a este denominaremos de modelo híbrido.

A primeira aplicação ocorreu de forma presencial, com três professores, na cidade de Juiz de Fora, em um espaço aberto oferecido por um dos participantes e com uma duração por volta de seis, hora, incluindo o intervalo para o almoço e café.

A.2 REGISTRO DE IMAGENS

Passamos a apresentar o registro de imagens das oficinas presenciais, remotas e híbridas.

A.2.1 ENCONTRO PRESENCIAL COM O GRUPO DE 3 PARTICIPANTES

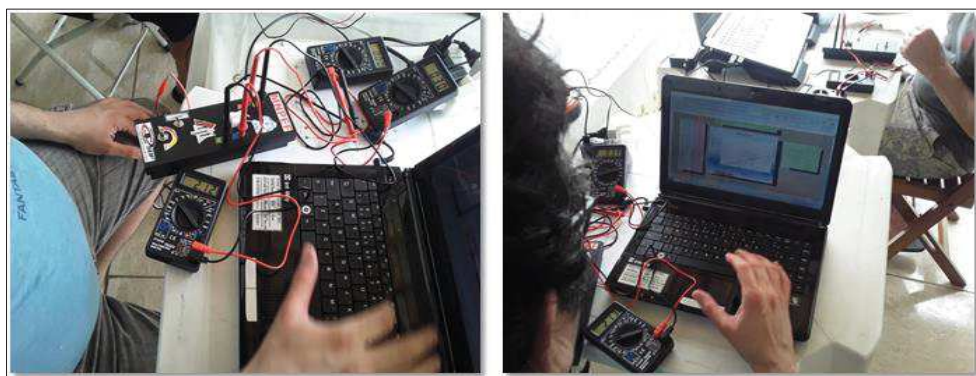
A realização das oficinas no formato presencial foi realizada sob os protocolos de saúde, ou seja, foram respeitados os distanciamentos, o uso do álcool em gel e a utilização de máscaras faciais. O minicurso foi realizado em um único encontro com duração de aproximadamente 8h, considerando os intervalos para almoço e lanche da tarde.

Figura 61 - Professor “B” Criando os circuitos no simulador



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 62 - Professor “C” realizando o experimento da Constante de Planck em dois momentos

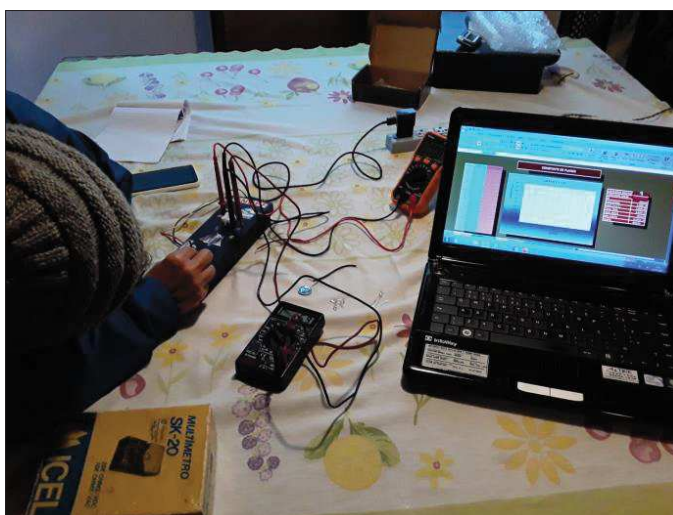


Fonte: Elaboração própria (2020)

A.2.2 ENCONTRO PRESENCIAL INDIVIDUAL

A realização das mesmas oficinas, realizadas presencialmente, porém de forma individual, durou aproximadamente três horas e meia, sem intervalo.

Figura 63 - Professor “D” realizando o experimento da Constante de Planck



Fonte: Elaboração própria (2020)

A.2.3 ENCONTRO EXCLUSIVAMENTE REMOTO

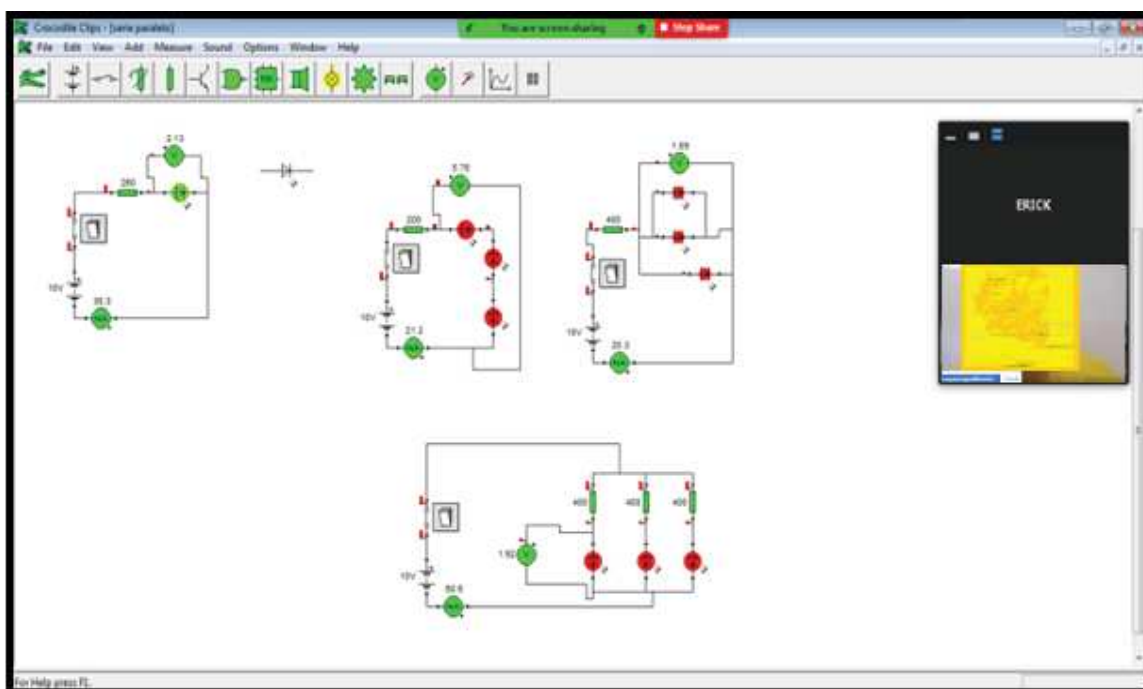
Já no formato exclusivamente remoto, o minicurso se deu em três encontros semanais, perfazendo um total de aproximadamente oito horas de duração.

Figura 64 - Professor “E” medindo o potencial de corte de um dos leds



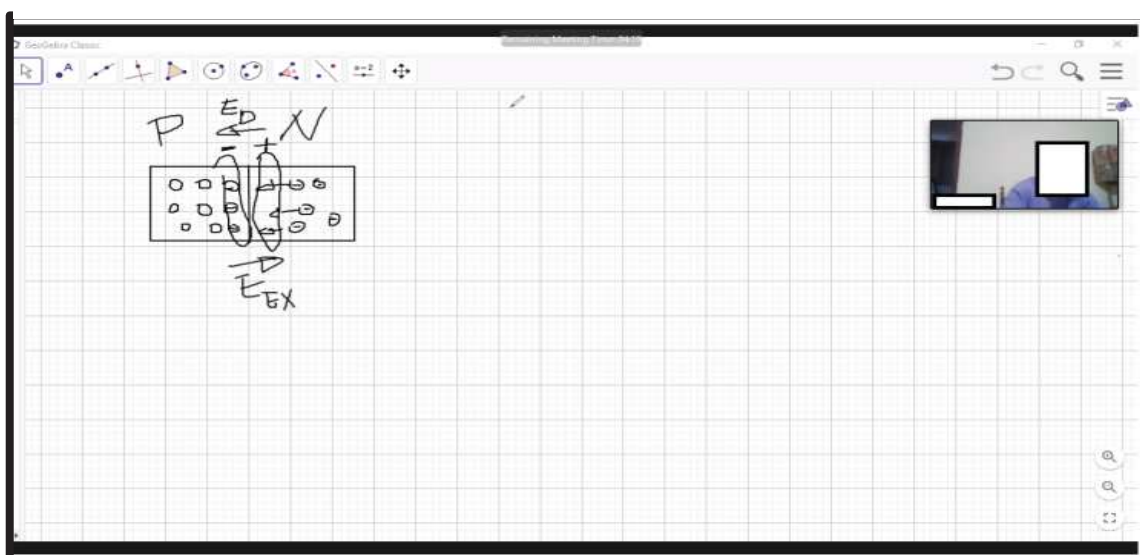
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 65 - Professor “F” compartilhando tela – Construindo Circuitos no simulador *Crocodile*



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 66 - Explicando a zona de depleção em uma junção PN – Plataforma Zoom



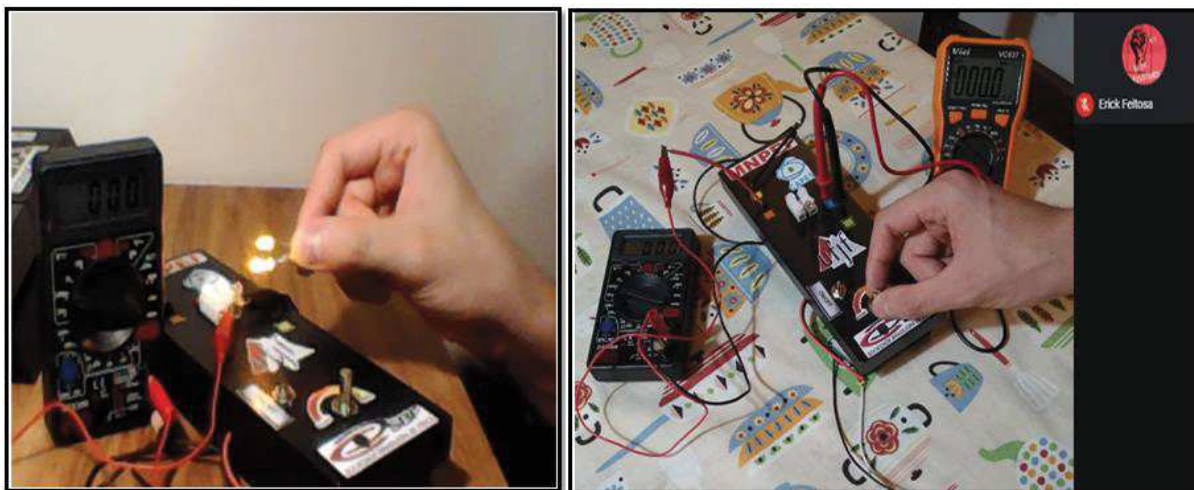
Fonte: Elaboração própria (2020)

Em alguns momentos, visando o compartilhamento de uma segunda tela, utilizou-se o celular como um terceiro convidado. E assim, mais que um compartilhamento de tela, tornou-se possível exibir qualquer item que estivesse fora do alcance da *webcam* (fig. 54 e 56).

A.2.4 ENCONTRO HÍBRIDO

O modelo híbrido, pelo qual um dos participantes optou, teve dois encontros, o primeiro remoto e o segundo, presencial, cada um com duração de cerca de duas horas e meia.

Figura 67- A esquerda o encontro presencial e a direita o encontro virtual



Fonte: Elaboração própria (2020)

A.3. SUGESTÕES APRESENTADAS

- Reduzir o número de medições para o cálculo da constante de Planck;
- Produção de um material de consulta para alunos utilizarem durante as atividades (ex: pedir aos alunos que desenhem o espectro eletromagnético);
- No experimento descobrindo a cor do led, pedir ao aluno para confrontar intensidade com a frequência (iluminar o LED com vários outros LEDs de uma mesma cor);
- Realização dos experimentos utilizando o simulador;
- Propor a reprodução dos experimentos utilizando o simulador como desafio.

APÊNDICE B - MATERIAIS DE APOIO E QUESTIONÁRIO

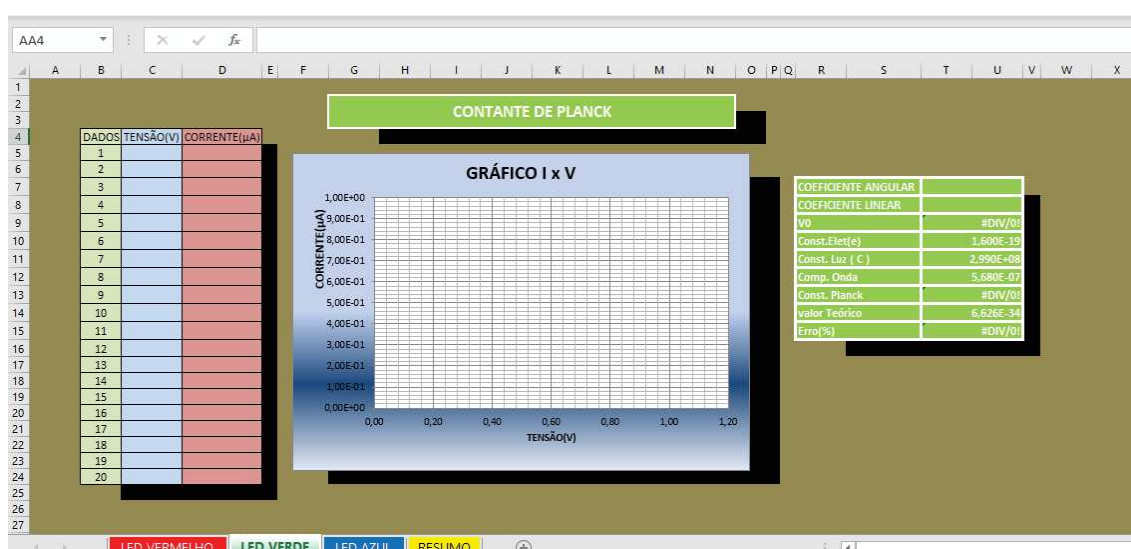
B.1 TEXTO DE APOIO

O texto de apoio constituiu-se da transcrição, na íntegra, de parte do Capítulo 5 da presente dissertação, mais especificamente das seções 5.2 e 5.3, que versam sobre a teoria de bandas dos sólidos, aprofundando o conhecimento sobre condutores, semicondutores e isolantes, dopagens do tipo P e N e junções.

B.2 PLANILHA

Para realização do experimento denominado Constante de Planck, foi fornecida uma planilha na qual o participante deveria lançar tanto os valores da DDP quanto da corrente elétrica aos quais o LED em questão está submetido. A partir desses lançamentos (20 medidas), a planilha gera o gráfico corrente (I) x DDP (V) e traça o primeiro ajuste de reta. Feita essa leitura, o participante deveria selecionar a melhor faixa de dados, montar um novo gráfico e fazer um novo ajuste de reta.

Figura 68 - Planilha Fornecida



Fonte: Elaboração própria (2020)

Em seguida, lançaria os valores dos coeficientes angular e linear e a planilha forneceria o valor experimental da constante de Planck.

Figura 69 - Tabela a Ser Preenchida na Planilha

COEFICIENTE ANGULAR	
COEFICIENTE LINEAR	
V0	=-(T8)/T7
Const.Elet(e)	=1,6*10 ⁻¹⁹
Const. Luz (C)	=2,99*10 ⁸
Comp. Onda	=568*10 ⁻⁹
Const. Planck	=(T10*T9*T12)/T11
valor Teórico	6,626E-34
Erro(%)	=ABS((T14-T13)/T14)*100%

Fonte: Elaboração própria (2020)

B.3 PROPOSTAS EXPERIMENTAIS

Quadro 5 - Propostas experimentais mediadas pelo planckômetro

ATIVIDADE	OBJETIVOS E CONTEÚDOS
Polarização Direta e Inversa	Discutir o motivo pelo qual, diferentemente das lâmpadas incandescentes, o LED não acende quando ligado de forma inversa.
Barreira de Potencial	Verificar que LEDs de cores diferentes apresentam barreiras de potencial diferentes e que tal fato está ligado as questões construtivas tais como o elemento dopante.
Cálculo da Constante de Planck	Fazer o cálculo da constante de Planck para três LEDs de cores diferentes e comparar os resultados entre eles e com o valor teórico.
Descobrimdo a Cor do LED	Mostrar que um LED para funcionar como gerador necessita de uma energia no mínimo igual ao do fóton emitido
Utilizando o Simulador	Apresentar o simulador <i>Crocodile Clips</i> , cujo uso é gratuito para alunos e professores; Demonstrar seus principais recursos; Criar cinco circuitos envolvendo LEDs, resistores, potenciômetros e multímetros; Comparar os valores teóricos com os apresentados pelo simulador; Discutir as vantagens e desvantagens dos circuitos envolvendo LEDs em série, paralelo, misto, abordando as questões sobre potência, consumo e segurança.
Responder ao questionário	Obter retorno a respeito das atividades e de seu aproveitamento.
Construção de uma placa solar com LEDs	Verificar se o aluno foi capaz de buscar o LED mais apropriado em relação a sua eficiência na geração de DDP quando exposto à luz solar e também e em relação à escolha de uma associação adequada para obtenção de uma maior intensidade de corrente.

Fonte: Elaboração própria (2020)

B.3.1 Atividade 1 – Polarização Direta e Inversa

Materiais necessários:

- Planckômetro
- LED
- Fonte de tensão constante (pilhas ou carregador celular, ambos com uma tensão entre 5 e 6 V)

Utilizando os instrumentos de medidas adequados e uma fonte de tensão variável, seu grupo deve medir, caso exista, o valor da corrente elétrica que passa pelo diodo e a voltagem aplicada em cada uma destas situações.

Procedimentos:

- Conecte o voltímetro – Terra no borne assinalado em verde e Fase no borne assinalado em azul;
- Conecte o amperímetro – Terra no borne assinalado em laranja e Fase no borne assinalado em amarelo; (escala 2000 μA)
- Insira um LED conectando primeiramente a perna maior do LED ao polo positivo (fio vermelho) e a menor ao polo negativo (fio preto), perfazendo uma polarização direta;
- Ligue o aparelho e vá girando o potenciômetro;
- Em seguida, desligue o aparelho e inverta o LED;
- Torne a ligar o aparelho e gire novamente o potenciômetro;

Questão:

- a) Por que, na polarização inversa, o LED não acendeu?

B.3.2 Atividade 2 - Barreira de Potencial

Nosso objetivo é verificar o valor da barreira de potencial dos LEDs vermelho, verde e azul.

Procedimentos:

Certifique-se de que o potenciômetro está no ponto mínimo e garanta que o aparato esteja desligado. Em seguida, faça uma polarização direta com o LED VERMELHO. Conecte

o voltímetro e o amperímetro (amperímetro na escala microampère) e voltímetro na escala 20 V. Vá girando lentamente o potenciômetro até que você observe que o LED tenha emitido luz. Anote o valor da DDP na tabela abaixo e repita a operação para os demais LEDs.

Tabela 2 – Tabela a Ser Preenchida Durante o Experimento Barreira de Potencial

LED	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)	FREQUÊNCIA (Hz)	TENSÃO DE CORTE(V)
VERMELHO	638		
VERDE	568		
AZUL	462		

- Adotando a velocidade de propagação da onda eletromagnética igual a $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, determine a frequência da luz emitida pelos LEDs utilizados e registre os valores obtidos na tabela acima;
- Desenhe o circuito representando o LED, a fonte, os multímetros, o potenciômetro e o resistor, de modo que, uma vez reproduzido, seja capaz de medir a corrente fornecida e a DDP sobre o LED.
- Como podem ser explicados os diferentes valores encontrados?
- Qual a relação que você enxerga entre a tensão de corte obtida e a frequência relativa à cor emitida?

B.3.3 Atividade 3 - Cálculo da Constante de Planck

Materiais necessários:

- Planckômetro
- 01 LED vermelho, 01 LED verde e 01 LED azul
- Fonte de tensão constante (pilhas ou carregador celular, ambos com uma tensão entre 5 e 6 V)
- 02 multímetros
- Planilha eletrônica

Certifique-se de que o potenciômetro esteja no ponto mínimo e garanta que o aparato esteja deligado. Em seguida, faça uma polarização direta com o LED VERMELHO. Conecte os multímetros (amperímetro na escala microampère) e voltímetro em 20 V. Ligue o aparelho e gire o potenciômetro até o LED iniciar um pequeno brilho (tensão de corte). Vá girando

levemente o potenciômetro e em seguida registre os valores obtidos tanto da tensão como da corrente na planilha. Repita a operação para os demais LEDs.

B.3.4 Atividade 4 - Descobrindo a Cor do LED

Materiais necessários:

- Planckômetro
- LEDs de diferentes cores
- 01 Multímetro
- Baterias

Certifique-se de que o potenciômetro esteja no ponto mínimo e garanta que o aparato esteja deligado e desconectado da fonte de energia. Em seguida, faça uma polarização direta com um LED de cor desconhecida e conecte o voltímetro nos terminais desse LED. Apanhe o LED AZUL, conecte a bateria e o aproxime do LED que se encontra no planckômetro. Verifique se o voltímetro registrou alguma DDP. Em seguida, substitua o LED azul pelo vermelho. Verifique se houve o registro de DDP. Agora substitua o LED vermelho pelo verde.

Com base em suas observações, diga qual a cor do LED em questão.

Tabela 3 – Tabela a ser Preenchida Durante o Experimento Descobrindo a Cor do Led

LED	DDP GERADA (V)
VIOLETA	
AZUL	
VERMELHO	
VERDE	
AMARELO	

- a) Com base na tabela acima, responda qual a cor do LED que estava conectado.
- b) Confira a cor e diga se você acertou ou não.
- c) Você saberia explicar o fenômeno envolvido?

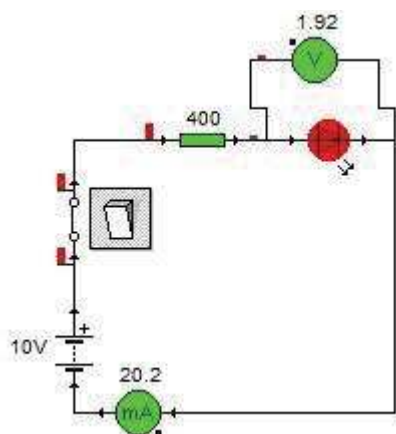
B.3.5 Atividade 05 - Utilizando o Simulador

Materiais necessários:

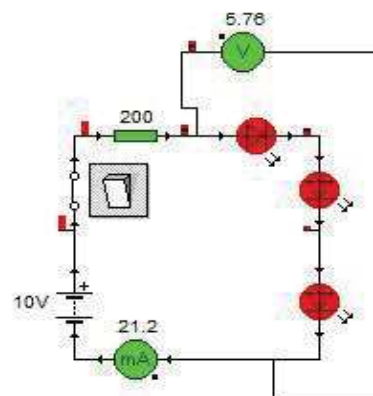
- Computador
- Simulador *Crocodile Clips*

De posse do simulador *Crocodile*, monte os circuitos abaixo:

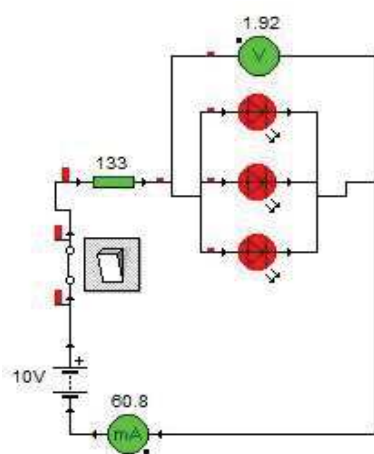
Circuito 01



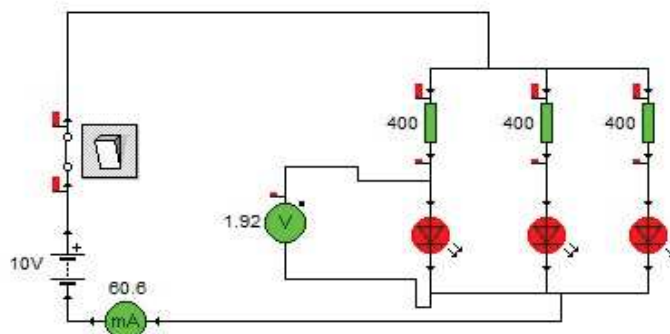
Circuito 02



Circuito 03



Circuito 04



QUESTÕES:

- a) Em relação aos circuitos 2 e 3, quais as vantagens e desvantagens de um em relação ao outro?
- b) Para montar os LEDs em paralelo você optaria pela montagem 03 ou 04? Justifique.
- c) Calcule o resistor de segurança para os circuitos 1 e 2, considerando a corrente no LED igual a 20 mA e sua tensão igual a 2,0 V.
- d) Qual deveria ser a DDP da fonte em cada caso para que não fosse necessário o uso do resistor de segurança? Isto é apropriado?

B.3.6 Atividade 6 - Construindo Uma Placa Solar Utilizando LEDs

Nesta etapa, você deverá confeccionar uma placa utilizando 06 LEDs, de forma a obter o melhor rendimento possível, levando em conta não somente a DDP, mas também a corrente. Não esqueça que a cor do LED será importante neste momento.

Questões:

- a) Desenhe o esquema do seu circuito;
- b) Explique por que escolheu esta associação;
- c) Quais foram os valores da DDP e corrente obtidas?
- d) Qual foi a cor do LED escolhida para o experimento?
- e) Você saberia explicar com poucas palavras por que razão este LED foi mais adequado?

APÊNDICE C - SIMULADORES SUGERIDOS

Listamos alguns simuladores que sem dúvidas enriquecerão as aulas, permitindo que o professo explore os assuntos. Alguns simuladores funcionam off-line, o que permite utilizá-los independente da internet.

Todos os simuladores sugeridos abaixo, todos fazem parte do Phet e poderão ser acessados através do site:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=cheerpj,java,flash,html&sort=alpha&view=grid

C1. SEMICONDUTORES

TÓPICOS

- Semicondutores
- Diodos
- Transistores

DESCRIÇÃO

Dope o semicondutor para criar um diodo ou transistor. Observe os elétrons mudarem a posição e a energia.

ALGUNS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Reconhecer que a bateria é a força motriz de um circuito.
- Descrever como os dopantes N e P alteram a estrutura de níveis de energia de elétrons em um metal.
- Explicar por que uma junção NP atua como um diodo, permitindo que a corrente flua de uma maneira, mas não outra.

C2. CONDUTIVIDADE

TÓPICOS

- Condutividade
- Níveis de Energia
- Fotocondutores

DESCRIÇÃO

Experimente a condutividade de metais, plásticos e fotocondutores. Veja porque os metais conduzem e os plásticos não, e porque alguns materiais conduzem somente quando você acende uma lanterna sobre eles.

ALGUNS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Reconheça a força motriz em um circuito.
- Explique a diferença no comportamento de condução entre os metais, plásticos e fotocondutores em termos da diferença na estrutura dos níveis de energia.
- Explique por que iluminar um fotocondutor faz ele conduzir.

C3. ESTRUTURA DE BANDAS

TÓPICOS

- Bandas de Energia
- Condutividade
- Eletricidade

DESCRIÇÃO

Explore a origem das bandas de energia em cristais de átomos. A estrutura dessas bandas determina como os materiais conduzem eletricidade.

ALGUNS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Descreva como a estrutura de bandas resulta em um retículo de muitos poços.
- Descreva como ir do potencial microscópico de um único átomo ao potencial macroscópico de um sólido.

C4. ESPECTRO DO CORPO NEGRO

TÓPICOS

- Corpo Negro
- Lei de Planck

- Lei de Wien
- Radiação Eletromagnética
- Mecânica Quântica
- Astronomia

DESCRIÇÃO

Como o espectro do corpo negro do sol se compara à luz visível? Aprenda sobre o espectro de corpo negro da Sirius A, do Sol, de uma lâmpada e da Terra. Ajuste a temperatura para ver o comprimento de onda e a intensidade da mudança do espectro. Veja a cor do pico da curva espectral.

ALGUNS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Descrever o que acontece com o espectro de corpo negro à medida que aumenta ou diminui a temperatura. O que acontece com a forma da curva e o pico desta curva?
- Descrever o espectro de corpo negro de uma lâmpada. Por que as lâmpadas ficam quentes? Elas parecem eficientes?
- Imagine que você veja dois objetos quentes e brilhantes - um está brilhando em laranja e o outro está brilhando em azul. Qual deles é mais quente?
- Encontrar a relação entre a temperatura e o comprimento de onda no pico da curva.

C5. LÂMPADAS DE NEÔNIO E OUTRAS LÂMPADAS DE DESCARGA

DESCRIÇÃO

Produza luz pelo bombardeio de átomos com elétrons. Veja como os espectros característicos de diferentes elementos são produzidos, e configure seus próprios estados de energia do elemento para produzir a luz de cores diferentes.

ALGUNS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Forneça um projeto básico para uma lâmpada de descarga e explique a função dos diferentes componentes.
- Explique a estrutura básica de um átomo e relacione-a com a cor da luz produzida por lâmpadas de descarga.
- Explique por que lâmpadas de descarga emitem apenas determinadas cores.
- Projete uma lâmpada de descarga para emitir qualquer espectro de cores desejado.

C6. LASER

DESCRIÇÃO

Crie um laser bombeando a câmara com um feixe de fótons. Gerencie os estados de energia dos átomos do laser para controlar a sua saída.

ALGUNS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Descrever como absorção e a emissão estimulada e espontânea funcionam, e explicar os requisitos para cada uma ocorrer.
- Descrever como funciona um laser.
- Explicar os requisitos para a emitir laser em termos de intensidade e comprimento de onda da luz, a refletividade do espelho, e as durações dos estados excitados do átomo.
- Solucionar um laser estragado.

C7. EFEITO FOTOELÉTRICO

TÓPICOS

- Luz
- Mecânica Quântica
- Fótons

DESCRIÇÃO

Veja como a luz bate em elétrons de um alvo metálico, e recrie a experiência que deu origem ao campo da mecânica quântica.

ALGUNS OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Visualizar e descrever a experiência do efeito fotoelétrico.
- Predizer corretamente os resultados de experimentos sobre o efeito fotoelétrico, tais como: como mudar a intensidade da luz afetará a corrente e a energia dos elétrons, como a alteração do comprimento de onda da luz irá afetar a corrente e a energia dos elétrons, como mudar a voltagem da luz irá afetar a corrente e a energia dos elétrons, como a alterar o material do alvo afetará a corrente e a energia dos elétrons

- Descrever como esses resultados nos levam ao modelo de fóton de luz (por exemplo: argumentar que apenas um modelo de fóton de luz pode explicar por que, quando a luz está brilhando sobre o metal, mas não há corrente, aumentando a frequência levará a uma corrente, mas aumentando a intensidade da luz ou a tensão entre as placas não).

APÊNDICE D - FORMULÁRIO DO GOOGLE FORMS

Materiais Semicondutores

Avaliação sobre os experimentos sugeridos.

*Obrigatório

Endereço de e-mail *

1) Das propostas apresentadas e realizadas juntamente com você, marque aquela(s) que você considera de aplicação viável(is) levando em consideração suas turmas. *

Marque todas que se aplicam.

- Polarização Direta e Inversa
- Barreira de Potencial Utilizando Leds de Diferentes Cores
- Cálculo da Constante de Planck
- Descobrindo a Cor do Led
- Utilizando o Simulador

2) Das propostas apresentadas e realizadas, qual delas você não deixaria de realizar? *

Marcar apenas uma opção.

- Polarização Direta e Inversa
- Barreira de Potencial Utilizando Leds de Diferentes Cores
- Cálculo da Constante de Planck
- Descobrindo a Cor do Led
- Utilizando o Simulador

3) Classifique as propostas experimentais abaixo, quanto ao grau de aplicação. *

Marque todas que se aplicam.

	Polarização Direta e Inversa	Barreira de Potencial Utilizando Leds de Diferentes Cores	Cálculo da Constante de Planck	Descobririndo a Cor do Led	Utilizando o Simulador	Placa Solar
Fácil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Razoável	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Difícil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4) Quanto ao produto utilizado, você o consideraria *

Marcar apenas uma opção.

- Fácil de utilizar e de fácil reprodução
- Fácil de utilizar porém de difícil reprodução
- Difícil de utilizar apesar de fácil reprodução
- Difícil de utilizar e de difícil reprodução

5) Quanto ao produto você o utilizaria em suas aulas? *

Marcar apenas uma opção.

- Sim, com certeza
- Sim, com algumas modificações
- Não, de modo algum

6) No caso da sua resposta a pergunta anterior tenha sido "sim, com alguma(s) modificação(ões)", poderia nos descrever em poucas palavras qual(is) seria(ão) a(s) modificação(ões)? *

7) Quanto ao material de apoio, ou seja, o texto a respeito dos materiais semicondutores você o considera: *

Marcar apenas uma opção.

- Muito bom
- Bom
- Razoável
- Fraco

8) Após assistir o vídeo "Led como gerador fotovoltaico", responda: A) Você acha que a cor do LED pode influenciar para eficiência quando o utilizamos como uma célula solar? Explique. *

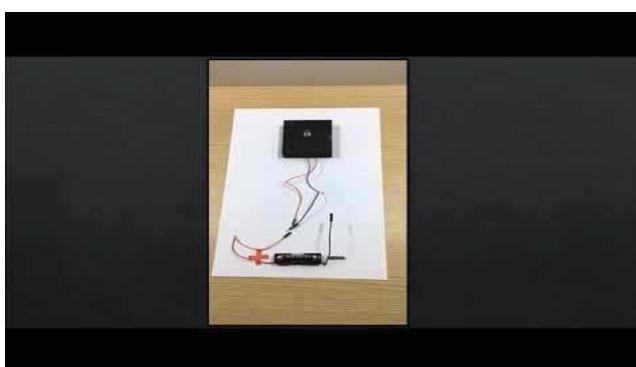
Figura 70 - Imagem Retirada do Vídeo: Led como gerador fotovoltaico



Fonte: <http://youtube.com/watch?v=H66XXXjsBYc>

9) Assista o vídeo "Acende ou não" e faça um breve comentário sobre o comportamento do LED, buscando dar uma rápida explicação para o ocorrido. *

Figura 71 - Imagem Retirada do Vídeo: Acende ou Não?



Fonte: <http://youtube.com/watch?v=AfEWi9IOCY>

10) Os materiais sólidos apresentam uma surpreendente faixa de condutividade elétrica. Uma forma de classificar os materiais sólidos é de acordo com a facilidade pela qual eles conduzem uma corrente elétrica. Assim, pode-se classificar os sólidos em três grupos: condutores, semicondutores e isolantes. Selecione os materiais que você classificaria como semicondutores. *

Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{cm}$)
Prata	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-6}$
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-6}$
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-6}$
Ferro	$10 \cdot 10^{-6}$
Platina	$11 \cdot 10^{-6}$
Germânio	47
Silício	$21 \cdot 10^4$
Vidro	10^{12} a 10^{13}
Mica	$9 \cdot 10^{16}$
Quartzo	$78 \cdot 10^{18}$

Marque todas que se aplicam.

- Prata
- Cobre
- Ouro
- Alumínio
- Tungstênio
- Ferro
- Platina
- Germânio
- Silício
- Vidro
- Mica
- Quartzo

11) A dopagem é um método utilizado para modificar a condutividade dos materiais semicondutores introduzindo impurezas (elementos de outras famílias da tabela periódica) em sua estrutura cristalina. Imagine que, para fazer o processo de dopagem de uma amostra de silício puro, tivéssemos que colocar um átomo de Arsênio para cada 10^6 átomos de silício. Qual seria a quantidade de elétrons livres que estariam contidos em uma amostra que contenha 10^{24} átomos de silício? *

Marcar apenas uma opção.

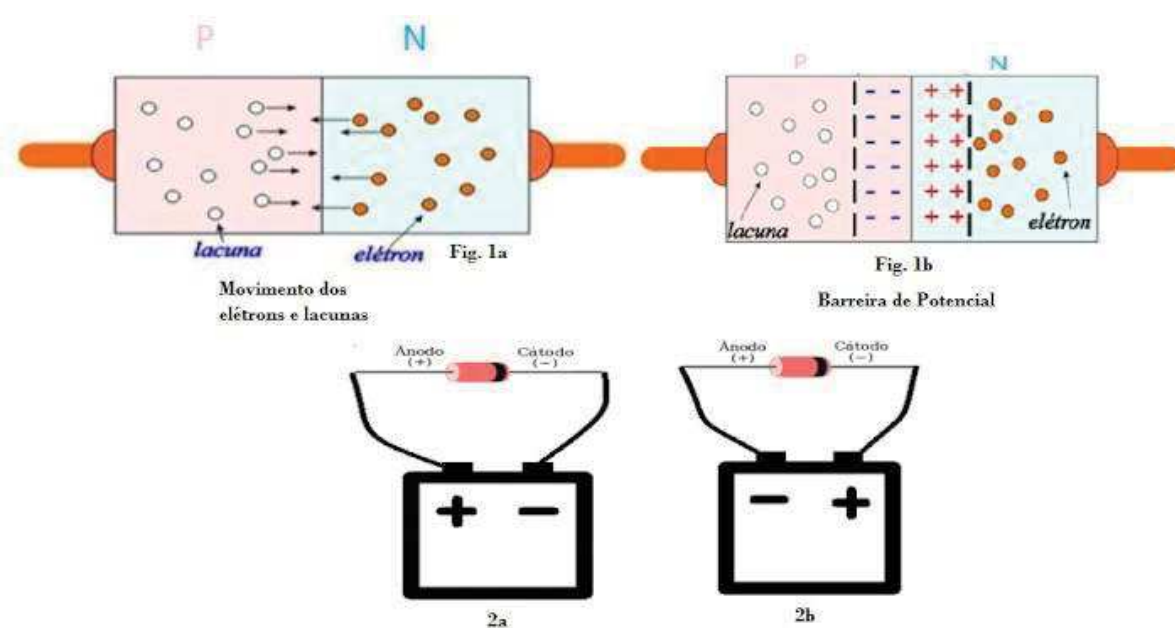
- 10^{24}
- 10^{16}
- 10^{18}
- 10^{19}
- 10^{21}

12) As dopagem podem ser do tipo N ou do tipo P. A dopagem do tipo N ocorre quando a rede cristalina, é introduzido um átomo com um número de valência superior ao dos átomos constituintes daquele semicondutor puro (intrínseco). Imagine que em uma rede de Silício deseja formar uma dopagem do tipo N. Qual dos elementos abaixo você utilizaria para este fim? *

Marcar apenas uma opção.

- Boro
- Fósforo
- Índio
- Alumínio
- Galio

13) Quando colocamos em contato um semiconductor do tipo N com um do tipo P, é estabelecido um movimento de elétrons da região N para a P e, de forma análoga, podemos dizer que há um deslocamento de lacunas da região P para a região N. O material do tipo N que estava inicialmente neutro, fica ionizado positivamente devido ao movimento dos elétrons da região N para a P. O mesmo raciocínio é válido para a região P: ela estava neutra, mas, ao receber um elétron do material tipo N, fica ionizada negativamente. O movimento de cargas elétricas na junção PN faz com que parte dos “elétrons livres” do material N ocupem algumas lacunas da parte P. Com isto, cria-se uma área desprovida de cargas livres denominada região de depleção. Apresentamos a seguir, duas maneiras distintas de se conectar o diodo a uma fonte de tensão. Na maneira (a), ligamos o anodo (+) ao polo positivo da bateria e o catodo (-) ao polo negativo. Esta ligação é chamada de polarização direta. Na maneira(b), ligamos ao contrário e dizemos que, deste modo, o diodo está inversamente polarizado. Com base nas informações acima, você conclui que ocorrerá condução de corrente elétrica : *



Marcar apenas uma opção.

- no modelo 2a
- no modelo 2b
- em ambos
- em nenhum dos dois

14) Os experimentos auxiliaram na compreensão dos fenômenos em questão? *
Marcar apenas uma opção.

Sim

Não

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE E - O PRODUTO EDUCACIONAL

MNPEF MESTRADO NACIONAL
PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA
POLO 24 - UFJF / IF Sudeste-MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ERICK DE OLIVEIRA FEITOSA

PRODUTO EDUCACIONAL

INTRODUÇÃO A CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SEMICONDUTORES DENTRO DA METODOLOGIA DE
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.

JUIZ DE FORA

2021

ERICK DE OLIVEIRA FEITOSA

**INTRODUÇÃO A CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SEMICONDUTORES DENTRO DA METODOLOGIA DE
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.**

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: TÍTULO DA DISSERTAÇÃO, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 – UFJF / IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof^ª Dr^ª Giovana Trevisan Nogueira

JUIZ DE FORA
2021

A ficha catalográfica deve ser impressa na parte inferior, no verso da folha de rosto. Para gerar a Ficha Catalográfica clique no link abaixo. Esta ficha só deve ser gerada quando a versão final da dissertação estiver pronta.

<http://www.ufjf.br/biblioteca/servicos/usando-a-ficha-catalografica/>

1.0 INTRODUÇÃO	19
1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO SEU DESENVOLVIMENTO.....	19
2.0 DESCRIÇÃO DETALHADA DO MATERIAL DESENVOLVIDO.....	21
2.1 CONHECENDO O PLANCKÔMETRO	23
2.1.1 Versão original	23
2.1.2 Ligando o planckômetro.....	25
2.1.3 - Desligando o planckômetro.....	25
2.1.4 Resolução de possíveis problemas	26
2.1.5 Esquema Elétrico.....	27
2.2 VERSÃO MODIFICADA DO PLANCKÔMETRO	28
2.2.1 Ligando o planckômetro.....	29
2.2.2 Desligando o planckômetro	29
2.2.3 Resolução de possíveis problemas	30
2.2.4 Esquema elétrico	31
2.3 CUIDADOS COM O <i>KIT</i> EXPERIMENTAL (ORIENTAÇÕES PARA AMBAS AS VERSÕES).....	31
2.3.1 Substituindo um LED	31
3.0 PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DO PRODUTO	33
3.1 ETAPA 1 - APRESENTAÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA	34
3.2 ETAPA 2 - ELABORAÇÃO COLABORATIVA DO PROJETO	35
3.3 ETAPA 3 - DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	36
3.4 ETAPA 4 - APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	36
4.0 TABELAS DE CUSTOS E SUGESTÕES DE MONTAGEM DO PLANCKÔMETRO	39
5.0 REFERÊNCIAS.....	41
6.0 APÊNDICES.....	42
APÊNDICE A – PROPOSTAS EXPERIMENTAIS	42
A.1 - Atividade 1 – Polarização direta e inversa	42
A.2 - Atividade 2 - Barreira de potencial de diferentes cores.	43
A.3 - Atividade 3 - Cálculo da constante de Planck.....	44
A.4 - Atividade 4 - Descobrindo a cor do LED.....	45
A.5 - Atividade 05 - Utilizando o simulador.....	45

A.6 - Atividade 6 - Construindo uma placa solar utilizando LEDs.....	47
APÊNDICE B - SIMULADORES SUGERIDOS.....	48
B1. Semicondutores.....	48
B2. Condutividade.....	48
B3. Espectro do corpo negro.....	48
B4. Lâmpadas de neônio e outras lâmpadas de descarga.....	49
Descrição.....	49
B5. Laser.....	49
B6. Efeito Fotoelétrico.....	49
7.0 ANEXOS.....	50
ANEXO A – ESTRUTURAÇÃO PRAXEOLÓGICA DE UMA PROPOSTA DE APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.....	50
ANEXO B - TEXTOS DE APOIO QUE PODEM SER UTILIZADOS COMO ÂNCORA	58
TEXTO A -ENERGIA SOLAR.....	58
TEXTO B - A CRISE DOS SEMICONDUTORES PODE ESTAR MAIS PRÓXIMA DE VOCÊ DO QUE IMAGINA.....	60

Caro Professor:

Este produto didático representa o resultado de diversas atividades acadêmicas e de pesquisas realizadas durante o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo UFJF/IF Sudeste MG, com apoio da Capes e sob orientação da professora Giovana Trevisan Nogueira.

O presente trabalho tem como elemento motivador a importância da inserção da Física Moderna e Contemporânea nas escolas de ensino médio. Representa, ainda, um esforço no sentido do enfrentamento das dificuldades docentes nesses espaços educacionais, principalmente no que tange à oferta de propostas experimentais e metodologias alternativas envolvendo os conteúdos citados da disciplina de Física.

Assim sendo, trazer à luz uma proposta metodológica e experimental que, em conjunto, possa conduzir docentes e alunos a análises, a discussões e à compreensão de tópicos da Física Moderna e Contemporânea a partir da compreensão do comportamento de certos materiais semicondutores.

Trata-se de um conjunto didático experimental, apelidado de “Planckômetro”, que permite o estudo de alguns conceitos e fenômenos relacionados à Física Moderna e Contemporânea, tais como o conceito de fóton, bandas de energia e a interação de fótons com a matéria, a partir da compreensão do comportamento do material semicondutor. O produto permite a exploração tanto dos aspectos de emissão de luz pelos LEDs quanto da absorção de luz sofrida pelos mesmos quando submetidos a iluminação oriunda de canetas lasers ou mesmo por outros LEDs.

Junto com este produto, apresentaremos também uma proposta de trabalho dentro da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), pois trata-se de uma ótima alternativa para aqueles que buscam uma visão alinhada com uma experimentação investigativa. Entretanto este produto experimental também pode adequar-se a diversas outras propostas experimentais, desde o tipo demonstrativo, passando pelo laboratório tradicional, até atividades experimentais abertas.

1.0 INTRODUÇÃO

É bem verdade que não podemos deixar de reconhecer o valor das aulas expositivas, mas é preciso reconhecer que a ela por si só não pode ser compreendida como a única fonte de transmissão de conhecimento. Assim sendo, o educador deve promover situações ou mesmo fazer uso de metodologias que promovam a ação do indivíduo na construção do próprio saber.

A teoria sócio-interacionista de Vygotsky vem respaldar a importância dessas ações. Segundo o próprio Vygotsky, é justamente a interação entre os envolvidos que faz com que a distância entre a Zona de Desenvolvimento Real (ZDR) e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) diminua, o que acaba por contribuir para o desenvolvimento do discente.

Assim sendo, promover um ambiente escolar interativo é garantir acima de tudo o direito a fala e ao uso de hipóteses para elaboração e internalização do saber. É abrir as portas, convidar os alunos e convencê-los que a troca de conhecimentos e experiências além de realçar a aprendizagem certamente a torna mais duradoura.

Desta forma, cumpre-nos apenas informar que nosso trabalho pautou-se na metodologia da Aprendizagem Baseada em projetos à luz da teoria sociointeracionista de Vygotsky, uma vez que tanto a interdisciplinaridade como o trabalho em equipe são algumas das mais importantes características da ABP.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO SEU DESENVOLVIMENTO

A metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) tem como principal objetivo, no cenário ensino-aprendizagem, tornar o aluno capaz de assumir o papel de protagonista na busca da construção do seu próprio aprendizado dentro de um processo investigativo, coletivo e colaborativo e assim, transformar a mentalidade do educando.

Como fonte motivadora ou mesmo provocativa, utiliza-se a estimulação para solução de problemas reais o que se dará a partir da integração de diferentes conhecimentos que em conjunto promoverão o desenvolvimento de competências e habilidades que possam preparar este aluno a lidar com situações de seu cotidiano e dessa forma, torná-lo capaz de resolver problemas reais.

O processo, inicia-se geralmente pela etapa denominada âncora, cuja função é a de descrever, apresentar e introduzir informações básicas com objetivo de preparar o terreno e ao mesmo tempo gerar interesses por parte dos alunos. Este processo pode ser realizado por intermédio de reportagens, vídeos, simuladores, modelos experimentais

expositivos entre outros recursos. É importante que, durante essa etapa, o profissional busque levantar o quanto a turma sabe sobre o assunto. Superado esse momento, é chegada a hora de apresentar a questão motriz. Trata-se de uma pergunta mais que motivadora, diríamos desafiadora e que não possa ser respondida de forma imediata, ou seja, que requeira um trabalho de pesquisa.

Em busca da solução do problema proposto pelo educador, os alunos deverão realizar diversas pesquisas a fim de aprofundarem a respeito da temática. Para a que se possa experienciar a ABP em sua essência, é crucial que o professor estimule o trabalho coletivo, orientando, definindo etapas e solicitando cronogramas. Todo e qualquer assistência deve ser rotineiramente proporcionada pelo professor ou mesmo no interior do processo coletivo, em um processo denominado feedback. É importante que o professor tenha em mãos as fontes necessárias para que os alunos iniciem suas pesquisas e que essas tenham total coerência com a estrutura disponível para os alunos, ou seja, não adianta, por exemplo, fornecer sites interessantes se não houver acesso à internet. Espera-se ainda, que sejam trabalhadas junto aos alunos, habilidades tais como pensamentos críticos que possam auxiliá-los a discernir entre ciência e informação falsa.

É importante a elaboração de instrumentos que possam avaliar os participantes tanto de forma coletiva quanto individual. A participação dos alunos da turma no processo avaliativo é bastante relevante, uma vez que ser avaliado e avaliar são práticas que os acompanharão pelo resto de suas vidas.

Por fim, é importante e essencial dar voz aos alunos permitindo que eles apresentem suas soluções para o público, limitando-os à própria imaginação, afinal, são diversas as possibilidades, tais como blogs, publicações no Youtube, cartazes, vídeos, construção de modelos, entre outros. É muito importante que os alunos se sintam respeitados e, acima de tudo, valorizados nessas escolhas.

2.0 DESCRIÇÃO DETALHADA DO MATERIAL DESENVOLVIDO

Nesta seção apresentaremos o produto didático elaborado ao longo das atividades acadêmicas desenvolvidas no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo UFJF /IF Sudeste MG.

Trata-se de um conjunto *didático* experimental, apelidado de “planckômetro”, que decorre dos estudos e pesquisas realizados ao longo do referido curso, tendo como elemento motivador a importância da inserção da Física Moderna e Contemporânea nas escolas de ensino médio. Representa, ainda, um esforço no sentido do enfrentamento das dificuldades docentes nesses espaços educacionais, principalmente no que tange à oferta de propostas experimentais e metodologias alternativas envolvendo os conteúdos citados da disciplina de Física.

Ao longo do processo, foram construídas duas versões deste conjunto. A primeira, que chamaremos aqui de versão original, foi elaborada pensando no ensino presencial, antes do surgimento da pandemia da COVID-19.

Como se pode observar nas Fig. 1 e 2, esta versão é composta por uma maleta, três canetas laser – sendo uma vermelha, uma violeta e outra verde –, um espectrômetro portátil, um carregador e um painel de LEDs acoplado com um minimultímetro digital. Através de botões seletores, podemos escolher o funcionamento deste painel na função “emissão”, na qual, um determinado LED é conectado a uma fonte de tensão. Podemos então observar, por exemplo, a tensão mínima necessária para acender este LED. A outra função possível é a de “absorção”. Nesta função, os LEDs estão desconectados da fonte de tensão. Podemos então, iluminar cada LED com um dos lasers e verificar, através da medida de tensão nos terminais do LED, se há ou não absorção da luz incidente.

Figura 1 - Kit original



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 2 - Planckômetro original



Fonte: Elaboração própria (2020)

O planckômetro visa a possibilitar uma introdução a conceitos relativos à Física Moderna e Contemporânea, tais como a teoria de bandas para os sólidos, quantização de energia, barreiras de potencial, dopagens, efeitos fotovoltaicos, obtenção da constante de Planck, sempre a partir da compreensão de fenômenos envolvendo semicondutores.

O cenário mundial de emergência em saúde pública decorrente da pandemia de coronavírus e enfrentado por todo o mundo durante os anos 2020 e 2021 impossibilitou-nos de aplicar o produto nos moldes inicialmente planejados. A princípio, este conjunto óptico seria utilizado dentro da metodologia ABP, com estudantes do ensino médio. Entretanto, com o surgimento da COVID-19, tivemos que alterar o método de validação do produto.

Considerando o que diz a Resolução nº 1 do Programa MNPEF, de 03 de junho de 2020, no § 4º do art. 4º, que flexibiliza a aplicação dos produtos educacionais, optou-se, então, pela validação do produto por intermédio de oficinas remotas voltadas para professores de Física do ensino médio. No entanto, para isso, foi necessário que o conjunto didático fosse enviado pelo correio até esses profissionais. Deste modo, algumas adaptações se impuseram a fim de torná-lo menor, mais barato e de montagem mais simples, resguardados, contudo, os cuidados para que não houvesse nenhum prejuízo em relação ao potencial pedagógico.

Figura 3 - Planckômetro adaptado



Fonte: Elaboração própria (2020)

A segunda versão do planckômetro (fig. 3), a qual chamaremos de versão adaptada, foi construída a partir de uma pequena caixa, na qual se encontram duas entradas, uma para o voltímetro e outra para o amperímetro. Nesta versão, nem os LEDs e nem o voltímetro e o amperímetro estão embutidos na caixa. O voltímetro e o amperímetro utilizados são multímetros comuns, dos próprios professores.

Comparando as duas versões do planckômetro, verificamos que a versão adaptada se mostrou muito eficiente, de fácil montagem e transporte, além de ter menor custo. Por outro lado, na versão original, todos os elementos (LEDs e multímetros) estão embutidos em um único equipamento, o que pode ser mais fácil para utilização em sala de aula.

Ambas as versões possibilitam propostas muito interessantes, capazes de despertar a curiosidade dos discentes e ao mesmo tempo convidá-los a certos desafios que envolvem descobertas sobre a cor do LED, a barreira de potencial, a polarização direta e inversa, além do cálculo da constante de Planck, como já mencionamos e será pormenorizado no ao longo da escrita.

Embora, em nosso trabalho, tenhamos atrelado o uso do planckômetro à metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos amparada pela teoria sociointeracionista de Vygotsky, o docente poderá vir a utilizá-lo da forma que melhor lhe convier. Pode-se articular esse produto educacional a outras metodologias de aprendizagem. É importante salientar que, quando o que se busca é um ensino motivador, deve-se evitar a forma meramente expositiva, pois, como já alertado por Carvalho (2013, p. 2), no “ensino expositivo toda a linha de raciocínio está com o professor o aluno só a segue e procura entendê-la, mas não é o agente do pensamento”.

Na próxima seção apresentaremos uma proposta de utilização deste produto educacional, dentro da ABP, utilizando o tema “construção de uma célula solar caseira” como questão motivadora, desenvolvida em paralelo ao Planckômetro.

2.1 CONHECENDO O PLANCKÔMETRO

Primeiramente, apresentaremos a versão original do produto educacional, detalhando sua construção e seus recursos. Em seguida, faremos o mesmo para a versão modificada.

2.1.1 Versão original

A versão original do produto educacional, refere-se, como explicado anteriormente, ao produto educacional elaborado antes da pandemia da COVID-19 e pautado em uma proposta de ensino presencial.

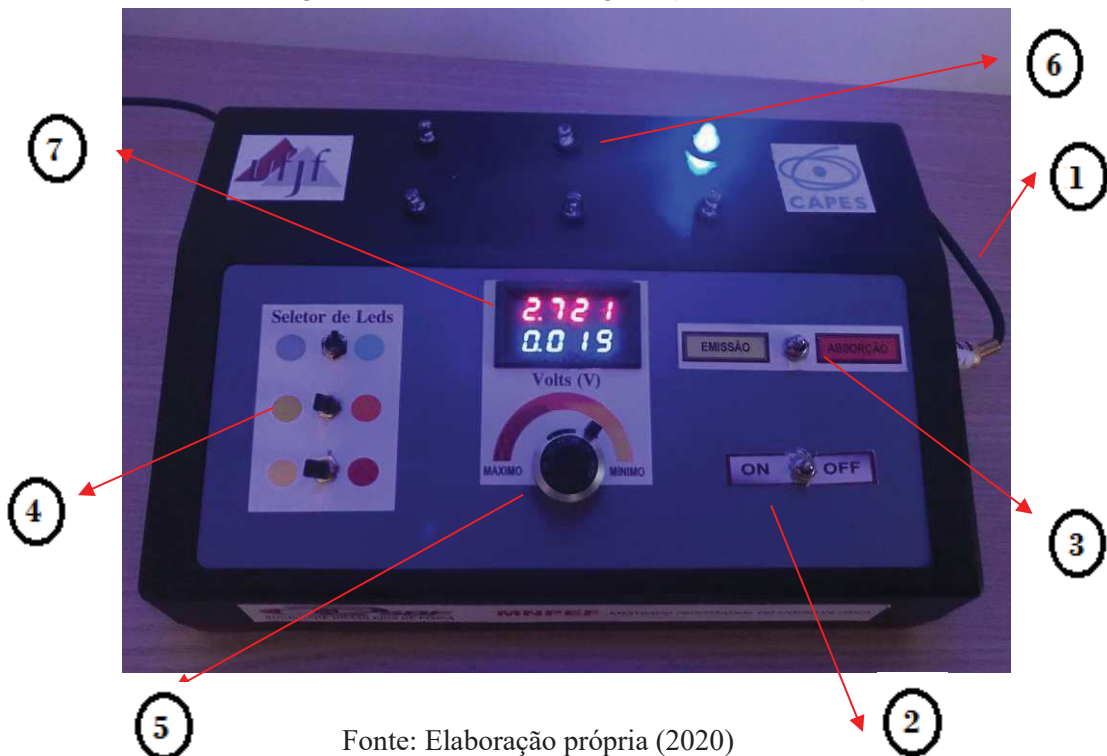
Figura 4 – Kit original



Fonte: Elaboração própria (2020)

1. Fonte de alimentação 5,0 V;
2. Espectrômetro;
3. Conjunto de canetas ópticas;
4. Painel de LEDs (Planckômetro).

Figura 5 - Planckômetro original (Painel de LEDs)



Fonte: Elaboração própria (2020)

1. Conexão para fonte – entrada de energia;
2. Chave liga/desliga;
3. Chave para seleção entre os módulos Emissão/Recepção
4. Chaves Seletoras, utilizadas para que o usuário escolha o LED a ser utilizado. Atenção: Certifique-se que haja apenas um LED escolhido.
5. Potenciômetro, utilizado para o ajuste da tensão;
6. Conjunto de LEDs;
7. Mini Voltímetro/Amperímetro. Indica a tensão ajustada quando o módulo emissão for selecionado ou a tensão obtida quando o módulo absorção for selecionado;

2.1.2 Ligando o planckômetro

Os procedimentos a seguir são necessários para **LIGAR** o planckômetro:

- a) Certifique-se de que a chave liga/desliga (2) está na posição OFF;
- b) Ajuste o potenciômetro (5) esteja posicionado na posição mínimo;
- c) Certifique-se que não há nenhum LED selecionado (4);
- d) Conecte a fonte de alimentação (1), à entrada de energia, localizada na lateral do kit, conforme ilustrado na Fig. 5;
- e) Conecte a outra extremidade da fonte de alimentação à rede elétrica;

- OBS: Uma vez ligado, o voltímetro (7) acenderá.

2.1.3 - Desligando o planckômetro

Siga os procedimentos abaixo para **DESLIGAR** o planckômetro:

- a) Posicione a chave liga/desliga (2) na posição OFF;
- b) Ajuste o potenciômetro (5) para o mínimo;
- c) Certifique-se que não haja nenhum LED selecionado (4);

d) Desconecte a fonte de alimentação da rede elétrica e em seguida, desconecte a outra extremidade da entrada de energia (1) localizada na lateral do kit, conforme ilustrado na Fig. 5;

- OBS: Uma vez desligado, o voltímetro (7) se apagará.

2.1.4 Resolução de possíveis problemas

Caso tenha algum problema ao operar o planckômetro, aqui estão algumas dicas a serem seguidas antes de tomar outras providências:

Quadro 1 - Problemas e soluções para operar o planckômetro – Versão original

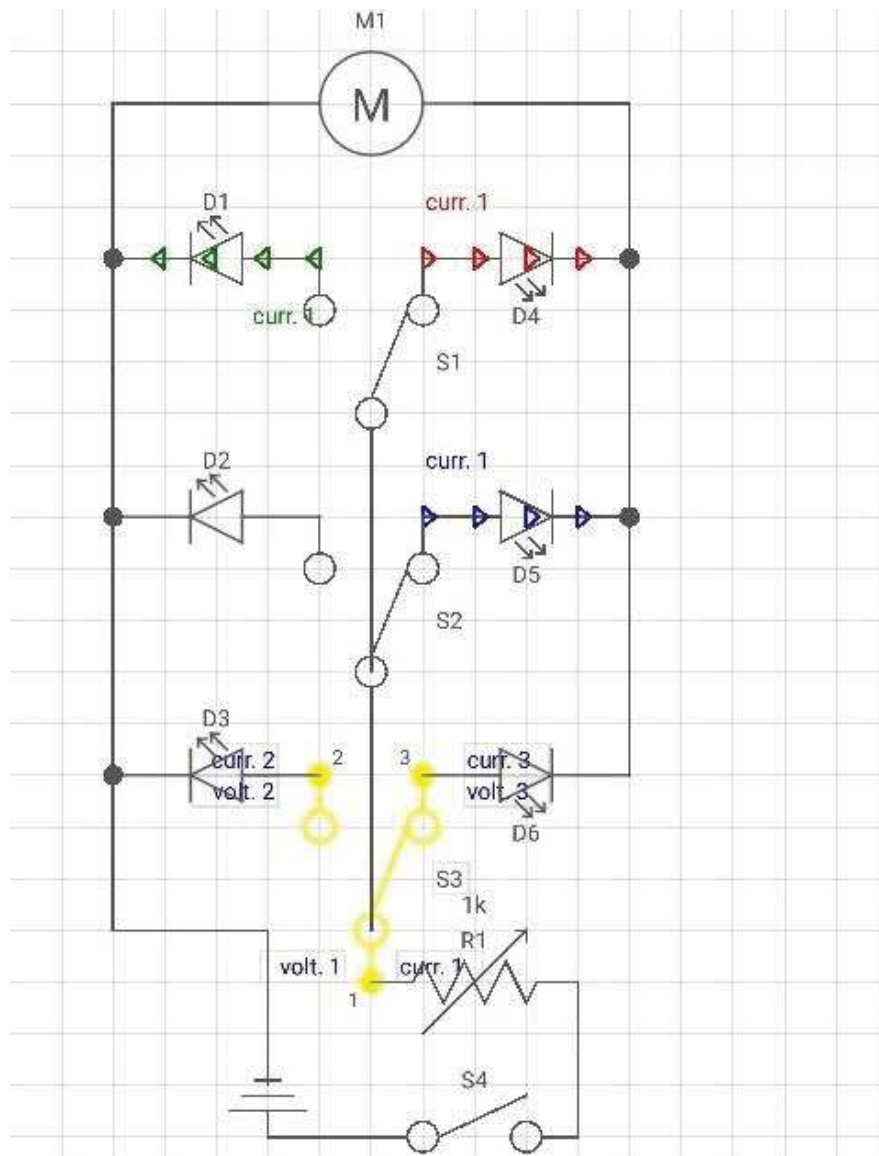
PROBLEMA	SUGESTÃO
O Voltímetro não Acende	<ul style="list-style-type: none"> - Certifique-se que a fonte esteja conectada à rede e ao aparelho; - Verifique se a rede elétrica está ativa.
O LED não Acende	<ul style="list-style-type: none"> - Certifique-se que a fonte esteja conectada à rede e ao aparelho; - Certifique-se que a rede elétrica está ativa. - Verifique se a chave de seleção dos módulos (2) está na posição EMISSÃO; - Certifique-se de que o potenciômetro (6) não esteja na posição mínimo; - Certifique-se de que há algum LED selecionado a partir das chaves seletoras (5).
O Voltímetro não indica valor quando estou utilizando o módulo absorção.	<ul style="list-style-type: none"> - Verifique realmente se a chave de seleção dos módulos (2) está na posição ABSORÇÃO; - Verifique se a luz emitida pelo Laser está atingindo o respectivo LED selecionado através das chaves seletoras (5); - Escolha um laser de outra cor.
O Laser não funciona	<ul style="list-style-type: none"> - Verifique as baterias da caneta óptica.

Fonte: Elaboração própria (2020)

2.1.5 Esquema Elétrico

A ilustração a seguir representa o esquema do circuito do planckômetro:

Figura 52 - Esquema do circuito



Fonte: Elaboração Própria (2020)

2.2 VERSÃO MODIFICADA DO PLANCKÔMETRO

A versão modificada, surgiu a partir da proposta da realização de oficinas remotas, nas quais os participantes obrigatoriamente deveriam possuir o produto educacional em mãos. Daí, foram realizadas adaptações, tornando-o menor, mais econômico financeiramente e o mais importante, mantendo os mesmos recursos do modelo anterior aqui caracterizado por original.

Figura 6 - Planckômetro modificado (detalhamento)



Fonte: Elaboração própria (2020)

1. Fonte de alimentação;
2. Chave liga/desliga;
3. Bornes para conexão do Amperímetro;
4. Bornes para conexão do Voltímetro;
5. Potenciômetro, utilizado para o ajuste da tensão;
6. Conector para o LED

2.2.1 Ligando o planckômetro

Siga os procedimentos abaixo para **LIGAR** o planckômetro:

- a) Certifique-se de que a chave liga/desliga (2) está na posição OFF;
- b) Ajuste o potenciômetro (5) na posição mínimo;
- c) Conecte o voltímetro (3) e ajuste para escala 20 V;
- d) Conecte o amperímetro (4) e ajuste a escala 200 mA
- e) Conecte o LED desejado na posição (6);
- f) Conecte a fonte à rede elétrica;

2.2.2 Desligando o planckômetro

Siga os procedimentos abaixo para **DESLIGAR** o planckômetro:

- a) Ajuste o potenciômetro (5) para o mínimo;
- b) Posicione a chave liga/desliga (2) na posição OFF;
- c) Desligue os multímetros (3 e 4);
- d) Desconecte a fonte de alimentação (1) da rede elétrica e em seguida;
- e) Retire o LED do conector (6).

2.2.3 Resolução de possíveis problemas

Caso haja algum problema ao operar o planckômetro, seguem-se algumas dicas a serem seguidas antes de se tomar outras providências:

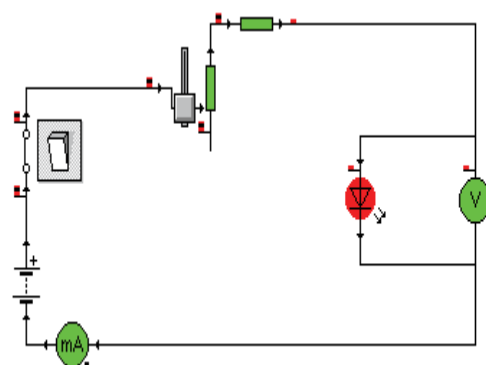
Quadro 2 - Problemas e soluções para operar o planckômetro - Versão modificada

PROBLEMA	SUGESTÃO
O(s) multímetro(s) não funciona(m)	<ul style="list-style-type: none"> - Certifique-se de que a fonte esteja conectada à rede e ao aparelho; - Verifique se a rede elétrica está ativa. - Verifique as conexões; - Certifique-se se o(s) multímetro(s) está(ão) ligado(s) e na escala apropriada;
O LED não Acende	<ul style="list-style-type: none"> - Certifique-se que a fonte esteja conectada à rede e ao aparelho; - Certifique-se que a rede elétrica está ativa. - Verifique se a chave (2) está na posição; - Certifique-se de que o potenciômetro (6) não esteja na posição mínimo; - Verifique se o amperímetro está ligado e devidamente conectado. Caso não esteja usado o amperímetro, você deverá fazer uma junção interligando os bornes por meio de um fio; - Certifique-se de que o LED está conectado corretamente (polarização direta). - Certifique-se que o LED não esteja queimado. Você poderá testá-lo utilizando uma bateria.

Fonte: Elaboração própria (2020)

2.2.4 Esquema elétrico

Figura 6 - Esquema do circuito do planckômetro modificado



Fonte: Elaboração própria (2020)

2.3 CUIDADOS COM O *KIT* EXPERIMENTAL (ORIENTAÇÕES PARA AMBAS AS VERSÕES)

Os devidos cuidados com seu *kit* contribuirão para que tenha uma longa duração, um bom funcionamento, além de reduzir sensivelmente os riscos de danos. Recomenda-se, portanto:

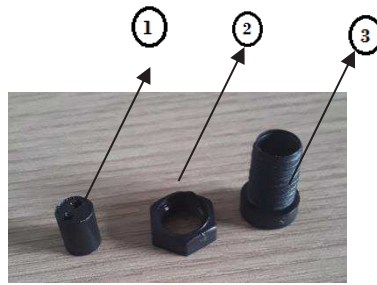
- ✓ Não o expor ao Sol;
- ✓ Garantir que não seja atingido por água ou outro líquido, resguardando os circuitos;
- ✓ Para limpeza, utilizar apenas um pano úmido, quase seco;
- ✓ Manter guardado em sua caixa;
- ✓ Seguir corretamente as instruções de uso.

2.3.1 Substituindo um LED

Para substituir um LED que porventura tenha queimado, as orientações são as seguintes:

- ✓ Certifique-se de qual LED deve ser substituído;
- ✓ Desparafuse os quatro parafusos do fundo da caixa e em seguida retire o a mesma;
- ✓ Solte a solda que une o LED aos fios;

Figura 7 - Suporte para LED



Fonte: Elaboração própria (2019)

- ✓ Solte a porca (2) do suporte (3) do LED e retire-o, puxando-o pela parte externa da caixa. Em seguida, segurando o suporte, empurre o LED. Juntamente com ele, sairá um pequeno suporte (1). Agora basta extrair o LED.
- ✓ Para recolocar um novo led, insira-o primeiramente no suporte menor (1) e em seguida, introduza o suporte menor juntamente com o novo led, no suporte maior (3). Finalmente, introduza o conjunto na caixa e reaperte a rosca.
- ✓ Solde os fios, lembrando que o positivo deverá ser soldado na perna maior do LED, conforme indica a figura ao lado.

Figura 8 - LED



Fonte: <http://www.ultracoloringpages.com/pt/p/1%C3%A2mpada-de-led-desenho-para-colorir/a8c3072b185eec3bddc4bde300a0ffffb>

3.0 PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DO PRODUTO

O Aprendizado Baseado em Projetos, tem o propósito de integrar diferentes conhecimentos, fomentar o desenvolvimento de competências, a construção dos conhecimentos além do trabalho colaborativo.

Para Moran (2018), a ABP é uma metodologia que busca o envolvimento dos alunos com pesquisas, trabalhos, apresentações, no intuito de que resolvam problemas ou desenvolvam projetos que tenham algum tipo de ligação com suas vidas fora da sala de aula.

Como já elucidado, o presente projeto tem por finalidade permitir aos alunos de ensino médio estudar conceitos de Física Moderna e Contemporânea, como a teoria de bandas dos sólidos, modelos atômicos, quantização de energia, barreiras de potencial, dopagens, espectros de absorção e emissão, a partir da compreensão de fenômenos envolvendo semicondutores. Paralelamente, em razão da perspectiva didática e da metodologia adotada – a ABP articulada à teoria sociointeracionista vygotskiana, intenta-se incentivar um papel discente ativo e colaborativo em busca do conhecimento.

A tabela 1 apresenta um resumo da proposta de uso do Planckômetro dentro da APB. Como questão norteadora, apresentaremos uma proposta de construção de uma célula solar a partir de LEDs, levando-se em consideração as curvas de absorção e emissão desses materiais semicondutores para maximizar a eficiência das placas. Para a elaboração do projeto, os alunos deverão investigar os princípios físicos de funcionamento de componentes eletrônicos semicondutores, através de pesquisas bibliográficas, atividades experimentais investigativas com o Planckômetro e uso de simuladores.

Tabela 1

Título	<ul style="list-style-type: none"> ● A Física Envolvida por de tras das Placas Fotovoltaicas.
Apresentação e Descrição (Âncora)	<ul style="list-style-type: none"> ● Protótipo de Célula Solar; ● Texto (Energia Solar) – Anexo B e C
Questão Motriz	É possível construir uma célula solar caseira a partir de LEDs?
Sugestão de Atividades	<ul style="list-style-type: none"> ● Manipulação das placas solares do protótipo de Célula solar; ● Polarização direta e inversa; ● Barreira de Potencial; ● Descobrimdo a Cor do Led; ● Utilização do Simulador Crocodile; ● Cálculo da Constante de Planck.
Produto (Artefatos)	<ul style="list-style-type: none"> ● Confecção de uma placa solar de máxima eficiência, construída a partir de LEDs.

Materiais e Recursos	<ul style="list-style-type: none"> ● Protótipo de Célular Solar; ● Planckômetro; ● Multímetros (Caso utilize a segunda versão do Planckômetro); ● Simulador Crocodile; ● Protótipo de gerador Solar.
----------------------	---

De forma bem sucinta, o desenvolvimento de atividades dentro da ABP pode ser divididas em 4 etapas principais:

- Etapa 1 - Apresentação do tema e do problema
- Etapa 2 - Elaboração colaborativa do projeto
- Etapa 3 - Desenvolvimento do projeto
- Etapa 4 - Apresentação e avaliação dos resultados

Nas próximas seções, apresentaremos uma proposta de como trabalhar os conceitos de Física Moderna a partir do estudo de materiais semicondutores dentro de cada uma destas etapas, utilizando nosso aparato experimental como elemento motivador.

3.1 ETAPA 1 - APRESENTAÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA

A primeira etapa do projeto consiste na apresentação do tema e da metodologia de trabalho planejada, na apresentação do protótipo de um gerador solar e do aparato experimental, que funciona como âncora, e, finalmente, na apresentação da questão motriz.

- **Âncora do Projeto:** Protótipo de gerador solar (Fig. 9) adquirido por meio da empresa de comércio eletrônico Mercado Livre. O aparato é constituído por três células fotovoltaicas, um pequeno motor (ventilador), um LED (abajur) e um carregador de pilhas. Quando em situações de incidência solar ou sob luz oriunda de lâmpadas incandescentes, o artefato é capaz de gerar energia suficiente para acionar o ventilador e acender o abajur.

- **Questão Motriz:** É possível construir uma célula solar caseira a partir de LEDs?

Nesse primeiro momento, é possível explorar as diversas formas de associação entre as placas fotovoltaicas, ligando-as ora em série, ora em paralelo, ora em associação mista, e verificando, sempre que possível, tanto a DDP quanto a corrente fornecida em cada tipo de associação. Essa prática simples ensinará questões relacionadas à potência, uma vez que o aluno poderá observar, por exemplo, que, quando as placas são dispostas em série, há um aumento na DDP, no entanto, o motor não será acionado, já que não haverá corrente suficiente para isso.

Esse primeiro diálogo é fundamental, pois permitirá um breve acesso aos conhecimentos prévios dos alunos envolvidos. Após as apresentações e questionamentos, o professor poderá sugerir uma pesquisa sobre a energia solar, por exemplo. Assim, poderá preparar o terreno para a futura culminância do projeto, que consiste em desafiar os alunos para a construção de uma placa solar confeccionada com LEDs, que possa oferecer o melhor rendimento possível, tendo como restrição apenas o número de LEDs utilizados por cada grupo.

Figura 9 – Célula solar comercial



Fonte: Elaboração própria (2020)

3.2 ETAPA 2 - ELABORAÇÃO COLABORATIVA DO PROJETO

A segunda etapa da proposta didática em tela consiste na elaboração do projeto em conjunto com os alunos, por meio de um debate que se proponha responder as seguintes questões:

- O que sabemos sobre o assunto?
- O que queremos saber?
- Como descobriremos?
- Esse tema possui aplicação na sociedade?

Nessa etapa, espera-se que os alunos possam cumprir a contextualização sociocultural estabelecida nos PCNs (BRASIL, 1999):

- Reconhecer a Física enquanto construção humana e suas relações com o contexto cultural, social, político e econômico;
- Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico;
- Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e ou tecnológicos relevantes.

Assim, no intuito de se atingir uma nova zona de desenvolvimento potencial dos alunos, obter informações a respeito dos seus conhecimentos prévios em relação aos assuntos a serem explorados assim como promover um engajamento sócio político-econômico desses alunos, sugiro que se faça leituras de textos, reportagens ou até mesmo que se reproduza alguns vídeos e que em seguida, se faça uma discussão com todos os envolvidos.

3.3 ETAPA 3 - DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A terceira etapa do projeto será realizada pelos alunos, parcialmente em casa, por meio de pesquisas bibliográficas, uso de simuladores etc., e parcialmente em aula, ocasião para o uso dos aparatos experimentais para investigação, para o acompanhamento e orientação do professor em relação ao andamento do projeto e para discussões entre os grupos sobre as informações já coletadas/descobertas.

Assim espera-se que os alunos desenvolvam a capacidade de investigação científica, que envolve classificar, organizar, sistematizar e identificar regularidades, fazer hipóteses e testar; construir e investigar situações-problema utilizando modelos; e articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas.

3.4 ETAPA 4 - APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Ao longo do nosso projeto, cuja proposta é o ensino de alguns tópicos de FMC a partir da compreensão do funcionamento de certos materiais condutores, temos como desafio, a confecção de uma placa solar de máxima eficiência, construída a partir de LEDs. É bom lembrar que eficiência aqui entendida está relacionada à potência e não simplesmente àquele modelo que ofereça maior DDP apenas.

Como orientação, sugere-se que o número de LEDs disponíveis para a confecção da placa solar seja restrito a um número máximo compreendido entre seis e oito unidades. É importante ter precaução de não entregar informações que possam suscitar o uso de LEDs maiores (10 mm) ou LEDs não capsulados; o ideal é deixar que os alunos busquem essas informações e, principalmente, que as testem.

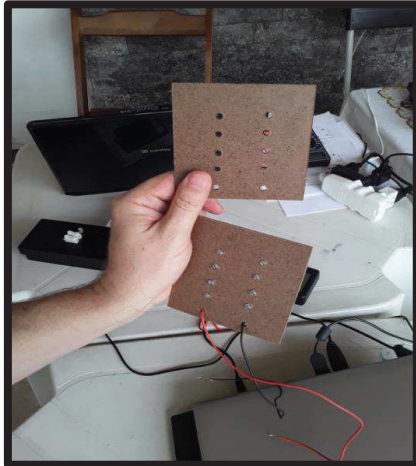
Durante a construção das placas solares, é provável que surjam discussões sobre qual cor de LED venha a ser a melhor para essa construção ou que tipo de associação (série, paralelo ou mista) deve ser usado. Quanto as questões relativas a absorção ou emissão de luz, caberá, mais uma vez ao docente, conduzir essa discussão, remetendo mais uma vez, o aluno aos experimentos da barreira de potencial, descobrindo a cor do led. Já em relação a associação, o professor poderá retomar o modelo das células comerciais e explorar mais uma vez, as diferentes associações dessas células.

Caso não o tenha utilizado as células comerciais, recomenda-se uma recapitulação das características das associações de geradores, potência dissipada e associações série/paralelo. E nesse sentido, a utilização do simulador *Crocodile* ou mesmo similares, certamente contribuirão para que esses alunos possam, reelaborarem suas ideias. Em nossas oficinas, optamos pelo simulador *Crocodile* por ser um aplicativo gratuito, de fácil utilização, com vários recursos e também por apresentar bons resultados.

Outro questionamento muito importante que deve ser levantado pelo professor, caso a pergunta não surja naturalmente entre os estudantes, diz respeito à inclinação das placas solares. A utilização do vídeo produzido por Fotovoltaica (2017), fornece orientações para a determinação da melhor inclinação das placas solares. Os alunos poderão, ainda, relacionar a melhor inclinação para cidades diferentes. Para essa etapa, pode-se explorar o programa *Google Earth*, que disponibiliza as coordenadas de uma cidade e de posse dessa informação, em conjunto como o *site* do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), descobrir a melhor angulação para a cidade desejada. Pode-se, ainda, consultar o capítulo sobre energia solar do *Atlas de energia elétrica do Brasil* (ANEEL, 2005), que fornece vasto material sobre o tema.

É importante, ainda, que se levante o seguinte questionamento: há algum modelo que tenha maior aproveitamento dos raios solares, independente da estação? Provavelmente os alunos chegarão a algum modelo que acompanhe o movimento aparente do Sol.

Figura 10 - Confeção de uma placa solar



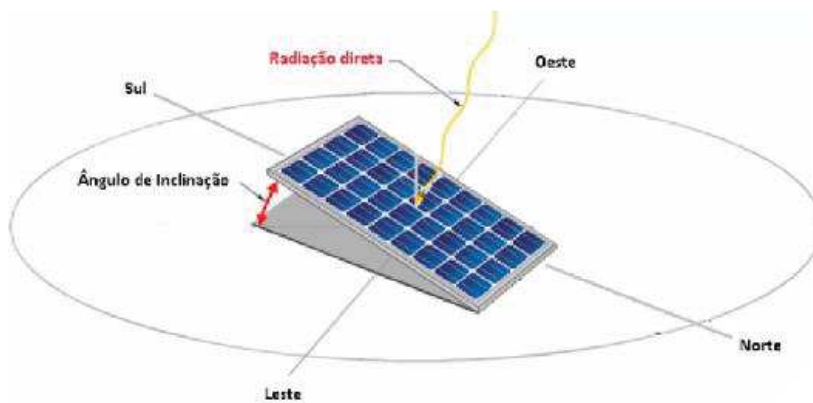
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 11- Experimento com a placa solar



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 12 - Ângulo de inclinação das placas solares



Fonte: Energia Fotovoltaica (2017)

Dentro das possibilidades, é aconselhável trabalhar os temas energia, semicondutores, luz fria etc. de forma que se explore a interdisciplinaridade ou quiçá a transdisciplinaridade e assim, mostrar as interações globais das várias ciências.

4.0 TABELAS DE CUSTOS E SUGESTÕES DE MONTAGEM DO PLANCKÔMETRO

Aqui apresentamos os valores apurados à época da elaboração do projeto para a construção do planckômetro, sem levar em conta os custos com fios e soldas.

Tabela 2 - Previsão de custos do Pplanckômetro (Versão original)

PLANCKÔMETRO MODELO ORIGINAL - 6 LEDS			
MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR
Caixa Plástica - Montagem Eletrônica - Patola Pb-900	1	R\$ 54,99	R\$ 54,99
Potenciometro Multivoltas Modelo 3590s 100k 10 Voltas	1	R\$ 34,00	R\$ 34,00
Voltmetro Amperimetro Digital 200 Vdc 10a 4 Dígitos	1	R\$ 29,99	R\$ 29,99
LED 5mm Vermelho Alto Brilho	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
LED 5mm Verde Alto Brilho	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
LED 5mm Amarelo Alto Brilho	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
LED 5mm Laranja Alto Brilho	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
LED 5mm Azul Alto Brilho	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
LED 5mm Violeta Alto Brilho	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
SMTS-102 Mini Chave Alavanca - 3 Terminais - liga/desliga	3	R\$ 4,50	R\$ 13,50
Chave Alavanca 1 Polo 2 Terminais ON-OFF	2	R\$ 4,00	R\$ 8,00
Plug Jack RCA Macho	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Plug Jack RCA Fêmea	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Carregador Portátil Celular 100-240 V Saída 5V/1A	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Suporte Para LED 5mm	6	R\$ 2,00	R\$ 12,00
TOTAL			R\$ 169,48

Fonte: Elaboração própria (2020)

Tabela 3 - Previsão de custos do Planckômetro (Versão adaptada)

PLANCKÔMETRO VERSÃO ADAPTADA			
MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR
Caixa MDF - CASA DE ARTESANATOS	1	R\$ 3,50	R\$ 3,50
Potenciometro Linear 100k Ω	1	R\$ 2,90	R\$ 2,90
Resistor 400 Ω	1	R\$ 2,50	R\$ 2,50
Conjunto de 4 LEDs 5mm Alto Brilho	1	R\$ 0,50	R\$ 2,00
Chave Alavanca 1 Polo 2 Terminais ON-OFF	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
Bornes	4	R\$ 2,00	R\$ 8,00
Borne Conexão Rápida	1	R\$ 1,20	R\$ 1,20
Carregador Portátil Celular 100-240 V Saída 5V/1 ^a	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
TOTAL			R\$ 34,10

Fonte: Elaboração própria (2020)

5.0 REFERÊNCIAS

ABREU, Maria Conceição; PERALTA, Luis. **Ano da Luz – medir a constante de Planck com díodos LED.** *Gazeta de Física*, Lisboa, vol. 39, n. 1/2, p. 82-85. Jun.2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/pdf>. Acesso: 10 abr. 2020.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. **Física Moderna Experimental.** 3. ed. São Paulo: Manole, 2011.

DIAS, I. F. L.; TEIXEIRA, R. C.; DUARTE, J. L. **Introdução aos semicondutores e suas aplicações tecnológicas.** Londrina, PR: Eduel, 2005.

ENERGIA FOTOVOLTAICA. **Painel solar.** Qual a melhor inclinação? [Pernambuco]: Energia Fotovoltaica, 28 jun. 2017. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GzUS8i6vUmg>. Acesso em: 20 set. 2019.

LORENZ, Katharina; MARQUES, José Gonçalves; MONTEIRO, Teresa. **Díodos Emissores de Luz e Iluminação.** Lisboa, vol. 39, n. 1/2, p. 50-54. Jun.2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/991/pdf>. Acesso: 10 abr. 2020.

MOURA, Sílio Lima de et al. **Constante de Planck: Uma Nova visão para o Ensino Médio.** *Química Nova na Escola*, São Paulo, vol. 33, nº4, p. 249-251, nov. 2011. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_4/246-EEQ-6011.pdf. Acesso em: 12 mar. 2020.

SANTOS, Erick Santana dos; JR., Roberto dos Santos Menezes; SANTANA, Victor Mancir da Silva. **Determinação Experimental da Constante de Planck Pela Observação da Corrente de Descarga do Capacitor.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol.32, n.3, p.824-836, dez. 2015. Disponível em: [file:///C:/Users/feito/Dropbox/My%20PC%20\(LAPTOP-479TKPJT\)/Downloads/36352-Texto%20do%20Artigo-139746-1-10-20151127.pdf](file:///C:/Users/feito/Dropbox/My%20PC%20(LAPTOP-479TKPJT)/Downloads/36352-Texto%20do%20Artigo-139746-1-10-20151127.pdf). Acesso em 20 mar.2020.

6.0 APÊNDICES

APÊNDICE A – PROPOSTAS EXPERIMENTAIS

Quadro 3 - Propostas experimentais mediadas pelo planckômetro

ATIVIDADE	OBJETIVOS E CONTEÚDOS
Polarização Direta e Inversa	Discutir o motivo pelo qual, diferentemente das lâmpadas incandescentes, o LED não acende quando ligado de forma inversa.
Barreira de Potencial	Verificar que LEDs de cores diferentes apresentam barreiras de potencial diferentes e que tal fato está ligado as questões construtivas tais como o elemento dopante.
Cálculo da Constante de Planck	Fazer o cálculo da constante de Planck para três LEDs de cores diferentes e comparar os resultados entre eles e com o valor teórico.
Descobrimdo a Cor do LED	Mostrar que um LED para funcionar como gerador necessita de uma energia no mínimo igual ao do fóton emitido
Utilizando o Simulador	Apresentar o simulador <i>Crocodile Clips</i> , cujo uso é gratuito para alunos e professores; Demonstrar seus principais recursos; Criar cinco circuitos envolvendo LEDs, resistores, potenciômetros e multímetros; Comparar os valores teóricos com os apresentados pelo simulador; Discutir as vantagens e desvantagens dos circuitos envolvendo LEDs em série, paralelo, misto, abordando as questões sobre potência, consumo e segurança.
Responder ao questionário	Obter retorno a respeito das atividades e de seu aproveitamento.
Construção de uma placa solar com LEDs	Verificar se o aluno foi capaz de buscar o LED mais apropriado em relação a sua eficiência na geração de DDP quando exposto à luz solar e também e em relação à escolha de uma associação adequada para obtenção de uma maior intensidade de corrente.

Fonte: Elaboração própria (2020)

A.1 - Atividade 1 – Polarização direta e inversa

Materiais necessários:

- Planckômetro
- LED
- Fonte de tensão constante (pilhas ou carregador celular, ambos com uma tensão entre 5 e 6 V)

Utilizando os instrumentos de medidas adequados e uma fonte de tensão variável, seu grupo deve medir, caso exista, o valor da corrente elétrica que passa pelo diodo e a voltagem aplicada em cada uma destas situações.

Procedimentos:

- Conecte o voltímetro – Terra no borne assinalado em verde e Fase no borne assinalado em azul;
- Conecte o amperímetro – Terra no borne assinalado em laranja e Fase no borne assinalado em amarelo; (escala 2000 μA)
- Insira um LED conectando primeiramente a perna maior do LED ao polo positivo (fio vermelho) e a menor ao polo negativo (fio preto), perfazendo uma polarização direta;
- Ligue o aparelho e vá girando o potenciômetro;
- Em seguida, desligue o aparelho e inverta o LED;
- Torne a ligar o aparelho e gire novamente o potenciômetro;

Questão:

- a) Por que, na polarização inversa, o LED não acendeu?

A.2 - Atividade 2 - Barreira de potencial de diferentes cores.

Nosso objetivo é verificar o valor da barreira de potencial dos LEDs vermelho, verde e azul.

Procedimentos:

Certifique-se de que o potenciômetro está no ponto mínimo e garanta que o aparato esteja desligado. Em seguida, faça uma polarização direta com o LED VERMELHO. Conecte o voltímetro e o amperímetro (amperímetro na escala microampère) e voltímetro na escala 20 V. Vá girando lentamente o potenciômetro até que você observe que o LED tenha emitido luz. Anote o valor da DDP na tabela abaixo e repita a operação para os demais LEDs.

LED	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)	FREQUÊNCIA (Hz)	TENSÃO DE CORTE(V)
VERMELHO	638		
VERDE	568		
AZUL	462		

- Adotando a velocidade de propagação da onda eletromagnética igual a $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, determine a frequência da luz emitida pelos LEDs utilizados e registre os valores obtidos na tabela acima;
- Desenhe o circuito representando o LED, a fonte, os multímetros, o potenciômetro e o resistor, de modo que, uma vez reproduzido, seja capaz de medir a corrente fornecida e a DDP sobre o LED.
- Como podem ser explicados os diferentes valores encontrados?
- Qual a relação que você enxerga entre a tensão de corte obtida e a frequência relativa à cor emitida?

A.3 - Atividade 3 - Cálculo da constante de Planck

Materiais necessários:

- Planckômetro
- 01 LED vermelho, 01 LED verde e 01 LED azul
- Fonte de tensão constante (pilhas ou carregador celular, ambos com uma tensão entre 5 e 6 V)
- 02 multímetros
- Planilha eletrônica

Certifique-se de que o potenciômetro esteja no ponto mínimo e garanta que o aparato esteja deligado. Em seguida, faça uma polarização direta com o LED VERMELHO. Conecte os multímetros (amperímetro na escala microampère) e voltímetro em 20 V. Ligue o aparelho e gire o potenciômetro até o LED iniciar um pequeno brilho (tensão de corte). Vá girando levemente o potenciômetro e em seguida registre os valores obtidos tanto da tensão como da corrente na planilha. Repita a operação para os demais LEDs.

A.4 - Atividade 4 - Descobrimdo a cor do LED

Materiais necessários:

- Planckômetro
- LEDs de diferentes cores
- 01 Multímetro
- Baterias

Certifique-se de que o potenciômetro esteja no ponto mínimo e garanta que o aparato esteja deligado e desconectado da fonte de energia. Em seguida, faça uma polarização direta com um LED de cor desconhecida e conecte o voltímetro nos terminais desse LED. Apanhe o LED AZUL, conecte a bateria e o aproxime do LED que se encontra no planckômetro. Verifique se o voltímetro registrou alguma DDP. Em seguida, substitua o LED azul pelo vermelho. Verifique se houve o registro de DDP. Agora substitua o LED vermelho pelo verde.

Com base em suas observações, diga qual a cor do LED em questão.

LED	DDP GERADA (V)
VIOLETA	
AZUL	
VERMELHO	
VERDE	
AMARELO	

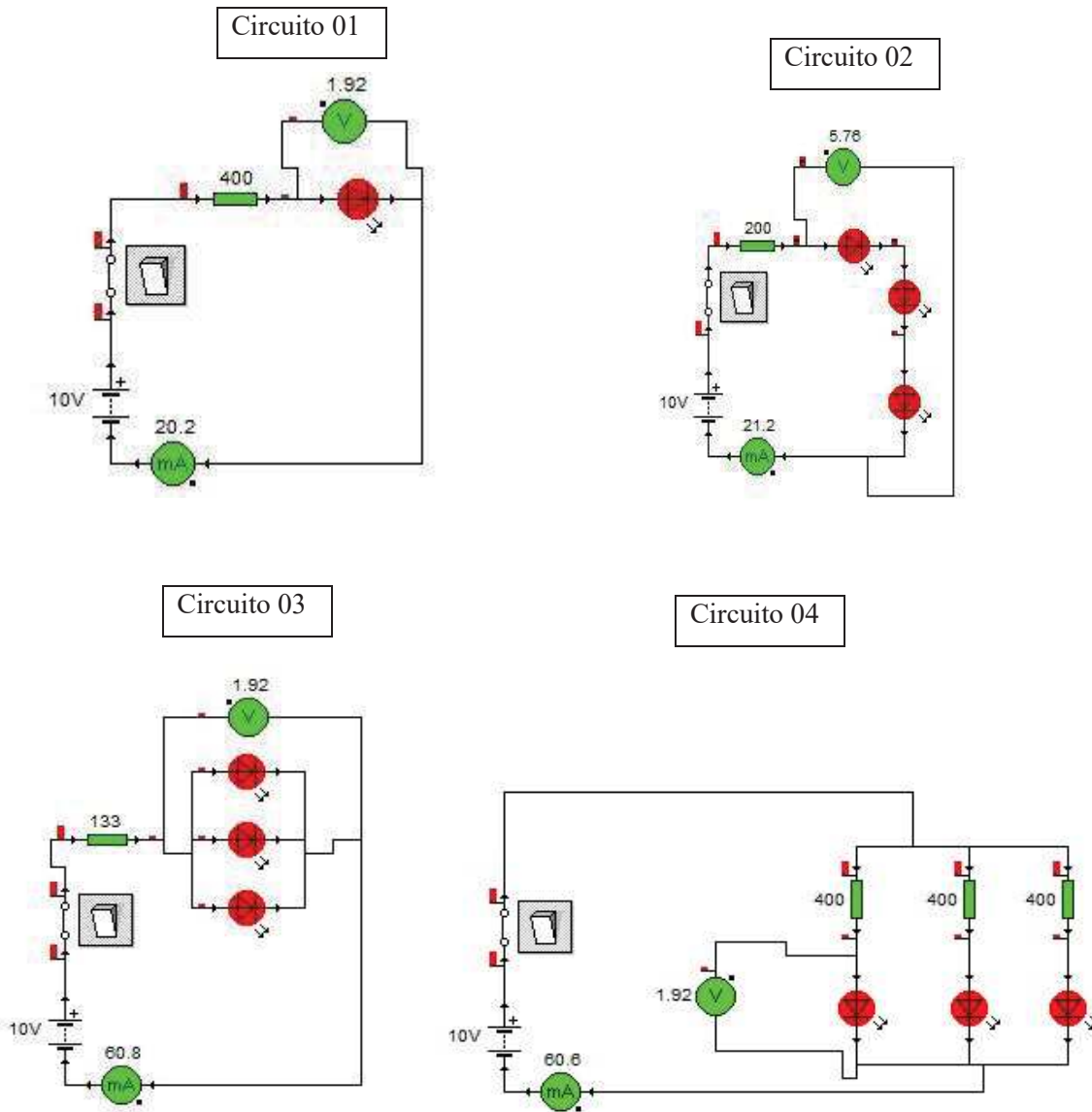
- Com base na tabela acima, responda qual a cor do LED que estava conectado.
- Confira a cor e diga se você acertou ou não.
- Você saberia explicar o fenômeno envolvido?

A.5 - Atividade 05 - Utilizando o simulador

Materiais necessários:

- Computador
- Simulador *Crocodile Clips*

De posse do simulador *Crocodile*, monte os circuitos abaixo:



QUESTÕES:

- Em relação aos circuitos 2 e 3, quais as vantagens e desvantagens de um em relação ao outro?
- Para montar os LEDs em paralelo você optaria pela montagem 03 ou 04? Justifique.
- Calcule o resistor de segurança para os circuitos 1 e 2, considerando a corrente no LED igual a 20 mA e sua tensão igual a 2,0 V.

d) Qual deveria ser a ddp da fonte em cada caso para que não fosse necessário o uso do resistor de segurança? Isto é apropriado?

A.6 - Atividade 6 - Construindo uma placa solar utilizando LEDs

Nesta etapa, você deverá confeccionar uma placa utilizando 06 LEDs, de forma a obter o melhor rendimento possível, levando em conta não somente a DDP, mas também a corrente. Não esqueça que a cor do LED será importante neste momento.

Questões:

- a) Desenhe o esquema do seu circuito;
- b) Explique por que escolheu esta associação;
- c) Quais foram os valores da DDP e corrente obtidas?
- d) Qual foi a cor do LED escolhida para o experimento?
- e) Você saberia explicar com poucas palavras por que razão este LED foi mais adequado?

APÊNDICE B - SIMULADORES SUGERIDOS

Listamos alguns simuladores que sem dúvidas enriquecerão as aulas, permitindo que o professo explore os assuntos. Alguns simuladores funcionam off-line, o que permite utilizá-los independente da internet.

Todos os simuladores sugeridos abaixo, todos fazem parte do Phet e poderão ser acessados através do site:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=cheerpj,java,flash,html&sort=alpha&view=grid

B1. Semicondutores

Este simulador permite que o usuário crie diodos ou transistores a partir de dopagens no semicondutor e com isto será possível observar os elétrons mudarem de posição e energia.

B2. Condutividade

Com este simulador, o usuário poderá observar a diferença no comportamento de condução entre os metais, plásticos e fotocondutores em termos da diferença na estrutura dos níveis de energia.

B3. Espectro do corpo negro

Com este simulador, é possível analisar e comparar o espectro do corpo negro do Sol, da Sirius A, da lâmpada e da Terra. Ajustando a temperatura, é possível ver, por exemplo, o comprimento de onda e a intensidade da mudança do espectro além de poder verificar a cor do pico da curva espectral.

- entre a temperatura e o comprimento de onda no pico da curva.

B4. Lâmpadas de neônio e outras lâmpadas de descarga

Descrição

Permite a observação de como os espectros característicos de elementos tais como Hidrogênio, Mercúrio, Sódio e Neônio são produzidos, além de possibilitar a configuração do próprio estado de energia para produzir luz de cores diferentes.

B5. Laser

Através deste simulador, o usuário pode criar um laser bombeando a câmara com um feixe de fótons e assim, gerenciar os estados de energia dos átomos do laser para controlar a sua saída.

B6. Efeito Fotoelétrico

Permite que o usuário veja como a luz bate em elétrons de um alvo metálico, e recrie a experiência que deu origem ao campo da mecânica quântica.

7.0 ANEXOS

ANEXO A – ESTRUTURAÇÃO PRAXEOLÓGICA DE UMA PROPOSTA DE APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS⁴

Quadro 4 - Introdução do Projeto

T1 - Introduzir o projeto		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T11 – Apresentar a ideia âncora à turma;	τ 11 – Podem ser usadas pequenas narrativas, trechos de vídeos, partes de noticiários, etc.	θ 11 – É fundamental que a técnica escolhida seja capaz de gerar interesse verdadeiro, para que o aluno se engaje cognitiva e emocionalmente com o projeto.
T12 – Apresentar a questão motriz; ou	τ 12 – Exposição dialogada envolvendo a turma toda;	θ 12 – A apresentação (ou o processo de desenvolvimento com os alunos) deve motivar os alunos e orientar seus esforços na determinação de informações específicas necessárias para abordar o problema;
T12 – Desenvolver a questão motriz com os alunos;	τ 12 – Diálogo com a turma toda em formato de <i>brainstorming</i> ;	
T13 – Promover a reflexão acerca da questão motriz e a consequente criação de questões específicas associadas a ela;	τ 13 – Diálogo com a turma toda em formato de <i>Brainstorming</i> ;	θ 13 – O <i>Brainstorming</i> propicia o desenvolvimento do pensamento reflexivo e também o desenvolvimento criativo de questões específicas sobre o tema do projeto;
T14 – Registrar as questões específicas que surgirem durante a discussão;	τ 14 – Registro no quadro por um aluno selecionado pelo professor.	θ 14 – A discussão costuma gerar muitas ideias interessantes e, ao anotá-las em lugar visível, permite a reflexão e o compartilhamento das ideias com todos;

⁴ A fonte de todos os quadros é Pasqualetto (2018, p. 72 à 83)

Quadro 5 - Planejamento do Projeto em Equipes

T2 - Planejar o projeto em equipes		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T21 – Dividir a turma em grupos;	τ 21 – Os grupos podem ser divididos segundo diversos critérios tais como: afinidade, posicionamento quanto ao tema do projeto, ou mesmo aleatoriamente.	θ 21 – Em projetos de ABP é importante que os grupos trabalhem de forma eficaz, o que, dependendo do projeto e da turma, pode exigir diferentes critérios de agrupamento.
T22 – Estabelecer parâmetros e metas gerais a serem seguidos pelos grupos;	τ 22 – Elaboração de cronograma, rubricas e determinação dos artefatos a serem desenvolvidos conforme características do projeto;	θ 22 – Para que possam concentrar seus esforços no desenvolvimento do projeto de forma produtiva, os alunos precisam saber o que precisa ser alcançado e o tempo disponível;
T23 – Encorajar e orientar os grupos no estabelecimento de metas específicas e linhas do tempo baseadas nas metas gerais estabelecidas pelo professor;	τ 23 – Orientação verbal, por escrito, ou outra estratégia que estimule e oriente os grupos a desenvolverem seus planejamentos;	θ 23 – O desenvolvimento de um planejamento em grupo favorece a adequada utilização do tempo disponível, oferecendo oportunidade de participação e dando ciência das etapas do projeto a todos. No contexto da ABP, isso é fundamental, pois “os alunos dirigem uma quantidade muito maior de seu tempo de ensino do que nas aulas tradicionais” (BENDER, 2014, p. 108). No entanto, a falta de experiência dos estudantes pode exigir orientação personalizada aos grupos;
T24 – Estimular os grupos a desenvolverem questões específicas que julgam que devem ser abordadas e determinar quem deve pesquisar cada questão;	τ 24 – <i>Brainstorming</i> por grupos;	θ 24 – O <i>brainstorming</i> propicia o desenvolvimento do pensamento reflexivo e o desenvolvimento criativo de questões específicas sobre o tema do projeto;
T25 – Incentivar uma estrutura organizacional interna nos grupos, que contemple, no mínimo, tarefas com papéis específicos para cada aluno;	τ 25 – Diálogo direto, incentivando as estruturas de “governança em grupo” a partir das características individuais dos estudantes e garantindo a definição de quem pesquisar cada questão levantada;	θ 25 – Para que o grupo trabalhe de forma eficiente, é importante que cada um desempenhe um papel e todos saibam quem faz o que na equipe;

T26 - Solicitar aos estudantes um resumo por escrito do planejamento do grupo, contendo as tarefas e seus respectivos responsáveis;	τ26 – Exposição dialogada, solicitação por escrito, ou outra estratégia que seja eficiente em informar e explicar as ações esperadas em T26;	θ26 – A técnica escolhida deverá ser prática e eficiente a fim de que os grupos se organizem para a realização das atividades e tornem explícito para todos, inclusive para o professor, o que se espera que cada um faça, aumentando as chances de comprometimento dos alunos com o grupo;
---	--	---

Quadro 6 - Desenvolvimento da Pesquisa Inicial

T3 – Desenvolver a pesquisa inicial		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T31 – Preparar fontes de pesquisas sobre o projeto a serem consultadas pelos alunos;	τ31 – Fornecimento de livros, verificação de infraestrutura para que os alunos acessem a internet, bem como a necessidade de outras formas de pesquisa;	θ31 – Os alunos precisam ter à disposição recursos suficientes para realizar as atividades do projeto.
T32 – Ajudar os estudantes no desenvolvimento das pesquisas;	τ32 – <i>Webquests</i> (tarefa de pesquisa em que “os estudantes seguem <i>links</i> da internet identificados pelo professor para responderem perguntas específicas de compreensão sobre um tópico particular” (BENDER, 2014, p.85). Exemplo: Quadro 4.2 p. 86); retomada das rubricas (“procedimento ou guia de pontuação, que lista critérios específicos para o desempenho dos alunos e descreve diferentes níveis de desempenho para esses critérios” (BENDER, 2014, p. 133). Exemplo Quadro 1.3 (BENDER, 2014, p. 20)).	θ32 – As <i>webquests</i> orientam os estudantes em uma pesquisa pela internet em que tomam contato com informações específicas que sejam necessárias para a conclusão do projeto, além de sugerir explorações menos estruturadas que podem resultar em informações adicionais. A discussão das rubricas, por sua vez, proporciona excelente orientação aos alunos através de orientações detalhadas, que permitem aos indivíduos autoavaliarem seu trabalho durante o processo de desenvolvimento ou de conclusão do trabalho.
T33 – Monitorar e garantir a adaptação dos estudantes à ABP;	τ33 – Incentivar que os alunos trabalhem em duplas sempre que necessário e circular pela sala, dando orientações sobre a pesquisa;	θ33 – “Pode ser positivo deixar que eles concluam essa fase de pesquisa inicial trabalhando em duplas. Isso não apenas tenderá a mantê-los focados na tarefa em questão, mas eles também podem se sentir mais à vontade trabalhando com um colega” (BENDER, 2014, p. 63).
T34 – Supervisionar e administrar o trabalho de pesquisa dos estudantes;	τ34 – Verificação do andamento das pesquisas e das necessidades dos estudantes, incluindo as condições de infraestrutura e, quando necessário, propondo tarefas alternativas.	θ34 – Para garantir o bom andamento do trabalho dos grupos, o professor precisa estar ciente das dificuldades dos estudantes e das limitações de recursos enfrentadas e, em caso de necessidade, propor alternativas.
T35 – Preparar e apresentar lições específicas;	τ35 – Minilições cujos temas são oriundos de necessidades identificadas nas etapas anteriores. (“[...] minilição é	θ35 – Não há problema em o professor apresentar algumas informações de maneira tradicional ao longo de uma iniciativa de ABP.

	uma lição em tópicos, bastante curta, na qual um professor (ou grupo de alunos) apresenta uma instrução específica e direta com informações das quais todas as equipes de ABP poderiam necessitar para completar seus projetos” (BENDER, 2014, p. 48)).	No entanto, essas lições devem ocorrer por requisição dos alunos, devem ser poucas ao longo do projeto e devem ser muito curtas e altamente focadas em um tópico.
T36 – Orientar os estudantes sobre como avaliar informações de diferentes fontes;	τ36 – Série de questionamentos de caráter reflexivo apresentada no quadro 4.5 (BENDER, 2014, p. 90).	θ36 – “Diferentemente dos livros didáticos, cuja precisão tem sido avaliada por especialistas, além de serem aprovados pelos comitês estaduais de currículo, as informações na internet não sofrem censura alguma e muitas delas são imprecisas ou enganosas. [...] Em uma era de sobrecarga total de informações, resgatar informações adequadas e avaliar sua precisão é extremamente importante” (BENDER, 2014, p. 90).

Quadro 7 - Criação, Desenvolvimento e Avaliação da Apresentação e Artefatos

T4 – Criar, desenvolver e avaliar a apresentação e os artefatos		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T41 – Orientar a criação e o desenvolvimento dos artefatos;	τ41 – “[...] o professor passará por cada aluno da turma, ajudando, orientando, sugerindo recursos adicionais e, de modo geral, facilitando a aprendizagem” (Bender, 2014, p.64).	θ41 – Com forte ênfase no envolvimento dos alunos em problemas e projetos que eles considerem válidos, o papel do professor no ensino na ABP é predominantemente o de facilitador;
T42 – Promover e acompanhar a reunião em que os grupos examinarão o seu progresso na apresentação e em cada artefato solicitado;	τ42 – Diálogo do professor com cada grupo;	θ42 – A reunião em grupo permite que o professor ofereça <i>feedback</i> verbal sobre o que o grupo cumpriu, o que foi concluído e o que ainda falta fazer.
T43 – Auxiliar no processo de avaliação formativa;	τ43 – Fornecer questões orientadoras que permitam a reflexão sobre o que já foi desenvolvido;	θ43 – A reflexão acerca de perguntas fundamentais permitirá a reflexão sobre o trabalho desenvolvido até então e, na maior parte dos casos, levando a informações adicionais que devem ser coletadas e incorporadas de alguma forma ao projeto;

Quadro 8 - Desenvolvimento da Segunda Fase da Pesquisa

T5 – Desenvolver a segunda fase de pesquisa		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T51 – Acompanhar e orientar a busca por informações que preencham as lacunas identificadas na reunião de avaliação dos grupos;	τ 51 – Orientação direta e personalizada sobre os conhecimentos ainda necessários para que cada grupo conclua suas tarefas;	θ 51 – Equipes diferentes podem ter buscado abordagens distintas para a resolução do problema geral e apresentarão variações em relação àquilo de que necessitam para concluir seus projetos. Os alunos podem se beneficiar de um <i>feedback</i> personalizado;
T52 – Assessorar os grupos no gerenciamento do tempo disponível;	τ 52 – Orientação direta e personalizada aos grupos sobre a otimização do tempo para a conclusão das tarefas;	θ 52 – Deve-se evitar maiores mudanças na direção geral do projeto de ABP, pois, conforme as equipes se aproximam da fase final, é provável que o tempo alocado para o projeto fique bastante limitado;
T53 – Oferecer informações complementares sobre tópicos específicos;	τ 53 – Minilições oferecidas pelo professor ou por palestrantes convidados;	θ 53 – Não há problema em o professor apresentar algumas informações de maneira tradicional ao longo de uma iniciativa de ABP. No entanto, essas lições devem ocorrer por requisição dos alunos, devem ser poucas ao longo do projeto e devem ser muito curtas e altamente focadas em um tópico.
T54 – Solicitar a realização das tarefas individuais ainda não completadas;	τ 54 – Solicitação direta ou outra técnica que seja mais adequada à realidade dos alunos;	θ 54 – A técnica escolhida deve ser eficaz em mover os alunos a completar as tarefas ainda pendentes tendo em vista que “[...] as tarefas individuais solicitadas devem ser concluídas durante esta fase do projeto de ABP” (BENDER 2014 p.65).

Quadro 9 - Desenvolvimento da Versão Final da Apresentação e dos Artefatos

T6 – Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos;		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T61 – Orientar a incorporação dos dados da segunda fase de pesquisa à apresentação final e à versão final dos artefatos;	τ 61 – Diálogo direto ou outra técnica que seja mais adequada à realidade do projeto;	θ 61 – É fundamental que a comunicação nessa etapa seja eficiente, pois o projeto encontra-se em suas etapas finais e, portanto, “[...] deve-se fazer apenas mudanças que resultarão em uma melhora significativa” (BENDER, 2014, p. 65).

T62 – Assessorar os grupos em uma avaliação interna, formalmente estruturada, dos artefatos;	τ62 – Apresentação e orientação quanto ao emprego da avaliação pelos colegas baseada em equipes, i. e., envolvendo apenas os membros do grupo. (a estrutura de avaliação pelos colegas é descrita no Capítulo 6) ⁵ ;	θ62 – O trabalho em equipes é uma competência importante para os estudantes do século XXI, mas, apesar disso, muitos alunos não tiveram essa experiência anteriormente, o que pode fazer com que eles não tenham habilidade para esse tipo de avaliação.
--	---	--

Quadro 10 - Avaliação do projeto e dos alunos

T7 – Avaliar o projeto e os alunos		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T71 – Promover uma avaliação formativa;	τ71 – Uso de rubricas de avaliação e de <i>webquests</i> ou outras técnicas coerentes com a profundidade esperada, com o nível de ensino e das limitações de tempo do projeto (BENDER, 2014, p. 21);	θ71 – “Devido ao alto nível de especificidade exigido pelas rubricas, elas fornecem excelente orientação para os projetos de alunos dentro do <i>framework</i> da ABP e, por essa razão, devem ser compartilhadas com os alunos antes ou à medida que as tarefas de ABP forem realizadas” (BENDER, 2014, p. 133). De forma semelhante, as <i>webquests</i> fornecem orientação aos estudantes, pois costumam incluir “um mecanismo de avaliação que declare claramente as expectativas, e um método para resumir a experiência” (BENDER, 2014, p. 85).
T72 – Organizar as apresentações finais;	τ72 – Agendamento das apresentações com os grupos;	θ72 – Acertar as datas e ordem de apresentação com a participação dos grupos tende a desenvolver um senso de responsabilidade e de validação coletiva do processo de decisão;
T73 – Dirigir a avaliação final com a turma inteira;	τ73 – Avaliação pelos colegas (não é a única opção, mas é a sugerida pelo autor);	θ73 – É importante que os estudantes vivenciem a experiência de avaliar e ser avaliado por seus pares. Esse processo, se bem conduzido, permitirá a compreensão de que avaliar é fornecer oportunidades de melhorias no trabalho do colega;

⁵ Capítulo 6 - BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos**. Educação diferenciada para o século XXI. São Paulo: Ed. Penso, 2015.

<p>T74 – Atribuir notas ou conceitos individuais;</p>	<p>τ74 – Média ponderada dos diferentes instrumentos utilizados ao longo do projeto. São sugeridos diversos instrumentos de avaliação de caráter individual e coletivo, tais como: rubricas, autoavaliações (reflexivas, numéricas e/ou abertas), avaliação de colegas e avaliação de portfólio, além de questionamentos, individuais ou coletivos, durante os momentos de orientação ao longo do projeto;</p>	<p>θ74 – As ações de ABP envolvem tarefas coletivas e individuais e oferecem a possibilidade de múltiplas avaliações ao longo do projeto, o que leva o autor a recomendar a combinação de notas de caráter individual e coletivo. Ele entende que a atribuição da nota deve celebrar e valorizar o trabalho do aluno ao longo de todo o projeto.</p>
---	--	--

Quadro 11 - Publicação do Projeto

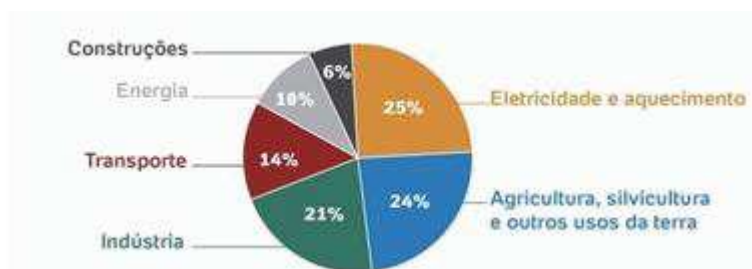
T8 – Publicar o projeto		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T81 – Promover a publicação do projeto e de seus artefatos;	τ81 – “As oportunidades de publicação são limitadas apenas pela imaginação coletiva do professor e das turmas” (BENDER, 2014, p.53). O autor cita algumas opções para publicação, sem limitar-se a elas: YouTube e website da escola para artefatos em formato de vídeo, artigos em jornais para artefatos em formato de texto, envio de relatórios dos resultados do projeto aos representantes governamentais ou ainda apresentações para grupos de fora da escola, entre outras (no Quadro 3.3 da página 54 de Bender (2014) são apresentadas outras opções de publicação).	θ81 – A técnica escolhida deve levar em conta fatores como o tipo de artefato, o nível de exposição dos alunos e o interesse deles, já que o objetivo da publicação é, principalmente, a valorização do trabalho desenvolvido pelos alunos.

ANEXO B - TEXTOS DE APOIO QUE PODEM SER UTILIZADOS COMO ÂNCORA

TEXTO A -ENERGIA SOLAR

As emissões de gases de efeito estufa tem colocado o planeta em risco e causado mudanças drásticas no clima e conseqüentemente em toda fauna e flora. Algo que talvez você não saiba, é que no Ranking mundial de atividades econômicas que produzem os gases do efeito estufa, a eletricidade e o aquecimento são os campeões. A queima de carvão, gás natural e petróleo para gerar eletricidade ou aquecer representam 25% das emissões de todo o mundo. Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável, as emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao uso da energia relacionadas ao uso de energia têm de diminuir em 70% até 2050 para que as mudanças climáticas fiquem limitadas a acréscimos na temperatura média global “significativamente abaixo” de dois graus celsius em comparação com os níveis pré-industriais.

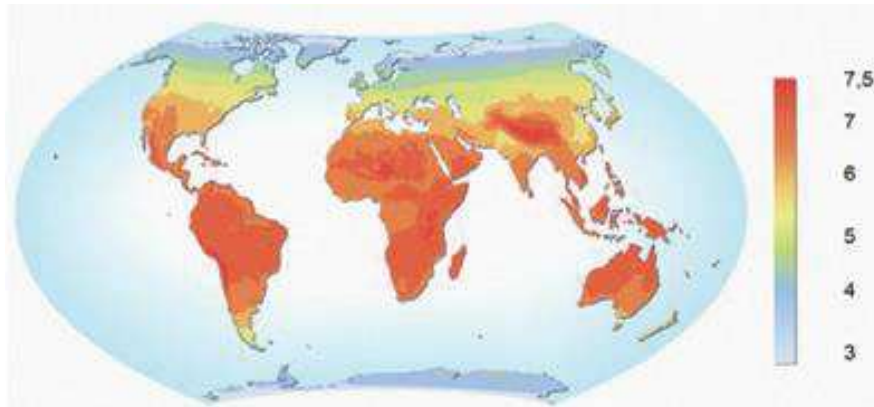
Emissões globais dos gases do efeito estufa por setor econômico



Fonte: IPCC (2014), baseado nas emissões globais de 2010. Arte UOL

Sabemos que o Sol é a fonte de energia primária mais abundante para nosso planeta. Num sentido bastante amplo, pode-se dizer que, com exceção da energia nuclear, todas as outras fontes, renováveis ou não, são apenas diferentes formas de energia solar. Segundo **(Vichi e Mansor, 2009)**, a quantidade de radiação solar que atinge o planeta anualmente equivale a 7.500 vezes o consumo de energia primária de sua população.

Energia solar anual média ao nível do solo, 1983-2005-valores em kWh/m²/dia



Fonte: Nasa 2008

Os pesquisadores lembram ainda, que se apenas 0,1% da energia solar pudesse ser convertida com uma eficiência de 10%, ainda assim a energia gerada seria quatro vezes maior que a capacidade mundial total de geração de energia, que é de 3000 GW.

Além da utilização no aquecimento de água através de coletores solares, a energia solar pode ser usada para a geração de eletricidade através do uso de painéis fotovoltaicos, que convertem diretamente a energia solar em energia elétrica (energia solar fotovoltaica), ou pelo aquecimento de fluidos cujos vapores são usados para movimentar turbinas geradoras de eletricidade (energia solar térmica).

TEXTO B - A CRISE DOS SEMICONDUTORES PODE ESTAR MAIS PRÓXIMA DE VOCÊ DO QUE IMAGINA

Todos nós, em algum momento nas últimas décadas, ouvimos falar sobre microprocessadores ou semicondutores. No entanto, geralmente associamos o seu conceito à altíssima tecnologia: foguetes, Nasa, grandes computadores, alto processamento, etc., mas isso não é correto. Eles estão muito mais na nossa vida do que pensamos.

Você sabia que a sua cafeteira programável usa muitos semicondutores? Os carros novos os utilizam tanto no motor quanto na interface de comunicação com celulares e aplicativos. Torradeiras, televisões, celulares, laptops, todos podem necessitar de um componente deste no seu desenvolvimento.

A fabricação desses componentes passa pela maior crise da história. Para se ter uma ideia, se um pequeno empresário que tem automação como principal negócio solicitar, pela internet, um componente desses em tempos normais, em oito semanas ele receberia a sua encomenda.

Hoje, a demora pode chegar a 52 semanas, praticamente um ano. Imagine quantos negócios seriam inviabilizados com esta crise? O atraso também atinge grandes indústrias. A estimativa é de que 700 mil veículos deixarão de ser produzidos no mundo apenas por causa da escassez de um componente que não chega a custar US\$ 4. Detalhe: destes automóveis, 80 mil estão só na América Latina.

Impactos na inflação

E como se isso não bastasse, esta falta está influenciando a inflação nos Estados Unidos, não só nos aumentos de preços de carros novos pela escassez de oferta, mas também pelo aumento expressivo do preço de veículos usados. Aqui, no Brasil, uma grande companhia do setor paralisou a produção de duas grandes plantas em razão da insuficiência de peças.

Em uma análise mais simples, percebemos que a falta de um componente que raramente atinge US\$ 4 pode ter efeitos em inflação, renda, emprego e produção, bem como impacta diretamente empresas pequenas de tecnologia, startups e empreendedores individuais. E estamos falando apenas um setor, o automobilístico. Um gigante da tecnologia está pensando em adiar o lançamento de seu *smartphone* de ponta por falta de itens. Vários setores multiplicam os efeitos negativos dessa escassez.

Crise dos semicondutores

Portanto, vale a pena entendermos as causas dessa crise. Costumo chamar os semicondutores de “petróleo moderno”, tamanho o efeito e a complexidade geopolítica. Podemos, então, dividir a crise em causas estruturais e causas conjunturais.

Dentre as estruturais, podemos contar com a guerra tecnológica entre Estados Unidos e China, que prejudicou as cadeias globais de produção. E essa causa é reforçada por um agravante: Taiwan, via TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited), produz grande parte da oferta mundial, chegando a 80% dos semicondutores mais modernos. A ilha, ao sul chinês, é palco do maior conflito geopolítico da atualidade: a China não reconhece a independência da região, e o governo autônomo, hoje, é alinhado com os norte-americanos. Um potencial conflito poderia piorar ainda mais a situação. Além disso, a construção e uma nova planta envolvem custo de bilhões de dólares. Só uma máquina custa centenas de milhões de dólares para a produção destes elementos, os quais podem levar mais de anos para serem construídos e necessitam de um Boeing 747 para o seu transporte. Isso sem contar dos efeitos terríveis da pandemia na produção.

Já os fatores conjunturais envolvem acontecimentos de curto prazo. O frio extremo no Texas, espécie de “Vale do Silício do Hardware” no país estadunidense, dizimou a produção naquele Estado. O semicondutor envolve um processo de produção delicado, em que pequenas variações de temperatura podem ter efeito devastador. No Japão, uma grande planta da Renesas pegou fogo e destruiu uma grande capacidade produtiva. Além disso Taiwan enfrenta a maior seca em 58 anos, e a produção destes componentes envolve a utilização de uma elevada quantidade de água de extrema pureza.

O que podemos esperar de agora em diante? Estes fatores conjunturais devem ser resolvidos prontamente, o que nos faz imaginar que estamos no pior momento possível e que o cenário deve melhorar de forma rápida, mas não completa. Aquelas 52 semanas de entrega, no início do artigo, podem voltar para 25 ou 30, mas vai levar tempo para chegar a oito. Isso vai depender do desdobramento do conflito sino-americano e de novos investimentos.

Esses novos investimentos já vêm acontecendo. Notícias de capital da Intel na ordem de US\$ 20 bilhões no Arkansas; da Bosch de US\$ 1,5 bilhão na Europa; da TSMC de US\$ 12 bilhões nos Estados Unidos; e do governo chinês em autossuficiência já foram anunciados. Os investimentos no país norte-americano são favorecidos por um projeto de conceder US\$ 54 bilhões em incentivos fiscais a fabricantes de processadores e semicondutores. As empresas estão pleiteando esses incentivos.

Contudo, a maturação deste dinheiro geralmente pode durar até dois anos. Assim, uma parte da escassez deve permanecer até lá, não tão grave, mas como resquício. Vamos ter de aprender a conviver com ela, inexoravelmente. Revezes do nosso tempo.

Publicado por

ANDRÉ SACCONATO

Economista da Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de São Paulo (FecomercioSP) e membro do Conselho de Economia Empresarial e Política da mesma instituição. PhD em Economia, Relações Governamentais e Ambiente de negócios, também é professor do MBA da FIA-USP

<https://www.contabeis.com.br/artigos/6754/a-crise-dos-semicondutores-pode-estar-mais-proxima-de-voce-do-que-imagina/> - em 23 de julho

ANEXO A – ESTRUTURAÇÃO PRAXEOLÓGICA DE UMA PROPOSTA DE APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS (ABP) 6

Quadro 6 - Introdução do Projeto

T1 - Introduzir o projeto		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T11 – Apresentar a ideia âncora à turma;	τ 11 – Podem ser usadas pequenas narrativas, trechos de vídeos, partes de noticiários, etc.	θ 11 – É fundamental que a técnica escolhida seja capaz de gerar interesse verdadeiro, para que o aluno se engaje cognitiva e emocionalmente com o projeto.
T12 – Apresentar a questão motriz; ou	τ 12 – Exposição dialogada envolvendo a turma toda;	θ 12 – A apresentação (ou o processo de desenvolvimento com os alunos) deve motivar os alunos e orientar seus esforços na determinação de informações específicas necessárias para abordar o problema;
T12 – Desenvolver a questão motriz com os alunos;	τ 12 – Diálogo com a turma toda em formato de <i>brainstorming</i> ;	
T13 – Promover a reflexão acerca da questão motriz e a consequente criação de questões específicas associadas a ela;	τ 13 – Diálogo com a turma toda em formato de <i>Brainstorming</i> ;	θ 13 – O <i>Brainstorming</i> propicia o desenvolvimento do pensamento reflexivo e também o desenvolvimento criativo de questões específicas sobre o tema do projeto;
T14 – Registrar as questões específicas que surgirem durante a discussão;	τ 14 – Registro no quadro por um aluno selecionado pelo professor.	θ 14 – A discussão costuma gerar muitas ideias interessantes e, ao anotá-las em lugar visível, permite a reflexão e o compartilhamento das ideias com todos;

⁶ A fonte de todos os quadros é Pasqualetto (2018, p. 72 à 83)

Quadro 7 - Planejamento do Projeto em Equipes

T2 - Planejar o projeto em equipes		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T21 – Dividir a turma em grupos;	τ_{21} – Os grupos podem ser divididos segundo diversos critérios tais como: afinidade, posicionamento quanto ao tema do projeto, ou mesmo aleatoriamente.	θ_{21} – Em projetos de ABP é importante que os grupos trabalhem de forma eficaz, o que, dependendo do projeto e da turma, pode exigir diferentes critérios de agrupamento.
T22 – Estabelecer parâmetros e metas gerais a serem seguidos pelos grupos;	τ_{22} – Elaboração de cronograma, rubricas e determinação dos artefatos a serem desenvolvidos conforme características do projeto;	θ_{22} – Para que possam concentrar seus esforços no desenvolvimento do projeto de forma produtiva, os alunos precisam saber o que precisa ser alcançado e o tempo disponível;
T23 – Encorajar e orientar os grupos no estabelecimento de metas específicas e linhas do tempo baseadas nas metas gerais estabelecidas pelo professor;	τ_{23} – Orientação verbal, por escrito, ou outra estratégia que estimule e oriente os grupos a desenvolverem seus planejamentos;	θ_{23} – O desenvolvimento de um planejamento em grupo favorece a adequada utilização do tempo disponível, oferecendo oportunidade de participação e dando ciência das etapas do projeto a todos. No contexto da ABP, isso é fundamental, pois “os alunos dirigem uma quantidade muito maior de seu tempo de ensino do que nas aulas tradicionais” (BENDER, 2014, p. 108). No entanto, a falta de experiência dos estudantes pode exigir orientação personalizada aos grupos;
T24 – Estimular os grupos a desenvolverem questões específicas que julgam que devem ser abordadas e determinar quem deve pesquisar cada questão;	τ_{24} – <i>Brainstorming</i> por grupos;	θ_{24} – O <i>brainstorming</i> propicia o desenvolvimento do pensamento reflexivo e o desenvolvimento criativo de questões específicas sobre o tema do projeto;
T25 – Incentivar uma estrutura organizacional interna nos grupos, que contemple, no mínimo, tarefas com papéis específicos para cada aluno;	τ_{25} – Diálogo direto, incentivando as estruturas de “governança em grupo” a partir das características individuais dos estudantes e garantindo a definição de quem pesquisar cada questão levantada;	θ_{25} – Para que o grupo trabalhe de forma eficiente, é importante que cada um desempenhe um papel e todos saibam quem faz o que na equipe;
T26 - Solicitar aos estudantes um resumo por escrito do planejamento do grupo, contendo as tarefas e seus respectivos responsáveis;	τ_{26} – Exposição dialogada, solicitação por escrito, ou outra estratégia que seja eficiente em informar e explicar as ações esperadas em T26;	θ_{26} – A técnica escolhida deverá ser prática e eficiente a fim de que os grupos se organizem para a realização das atividades e tornem explícito para todos, inclusive para o professor, o que se espera que cada um faça, aumentando as chances de comprometimento dos alunos com o grupo;

Quadro 8 - Desenvolvimento da Pesquisa Inicial

T3 – Desenvolver a pesquisa inicial		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T31 – Preparar fontes de pesquisas sobre o projeto a serem consultadas pelos alunos;	τ 31 – Fornecimento de livros, verificação de infraestrutura para que os alunos acessem a internet, bem como a necessidade de outras formas de pesquisa;	θ 31 – Os alunos precisam ter à disposição recursos suficientes para realizar as atividades do projeto.
T32 – Ajudar os estudantes no desenvolvimento das pesquisas;	τ 32 – <i>Webquests</i> (tarefa de pesquisa em que “os estudantes seguem <i>links</i> da internet identificados pelo professor para responderem perguntas específicas de compreensão sobre um tópico particular” (BENDER, 2014, p.85). Exemplo: Quadro 4.2 p. 86); retomada das rubricas (“procedimento ou guia de pontuação, que lista critérios específicos para o desempenho dos alunos e descreve diferentes níveis de desempenho para esses critérios” (BENDER, 2014, p. 133). Exemplo Quadro 1.3 (BENDER, 2014, p. 20)).	θ 32 – As <i>webquests</i> orientam os estudantes em uma pesquisa pela internet em que tomam contato com informações específicas que sejam necessárias para a conclusão do projeto, além de sugerir explorações menos estruturadas que podem resultar em informações adicionais. A discussão das rubricas, por sua vez, proporciona excelente orientação aos alunos através de orientações detalhadas, que permitem aos indivíduos autoavaliarem seu trabalho durante o processo de desenvolvimento ou de conclusão do trabalho.
T33 – Monitorar e garantir a adaptação dos estudantes à ABP;	τ 33 – Incentivar que os alunos trabalhem em duplas sempre que necessário e circular pela sala, dando orientações sobre a pesquisa;	θ 33 – “Pode ser positivo deixar que eles concluam essa fase de pesquisa inicial trabalhando em duplas. Isso não apenas tenderá a mantê-los focados na tarefa em questão, mas eles também podem se sentir mais à vontade trabalhando com um colega” (BENDER, 2014, p. 63).
T34 – Supervisionar e administrar o trabalho de pesquisa dos estudantes;	τ 34 – Verificação do andamento das pesquisas e das necessidades dos estudantes, incluindo as condições de infraestrutura e, quando necessário, propondo tarefas alternativas.	θ 34 – Para garantir o bom andamento do trabalho dos grupos, o professor precisa estar ciente das dificuldades dos estudantes e das limitações de recursos enfrentadas e, em caso de necessidade, propor alternativas.
T35 – Preparar e apresentar lições específicas;	τ 35 – Minilições cujos temas são oriundos de necessidades identificadas nas etapas anteriores. (“[...] minilição é uma lição em tópicos, bastante curta, na qual um professor (ou grupo de alunos) apresenta uma instrução específica e direta com informações das quais todas as equipes de ABP poderiam necessitar para completar seus projetos” (BENDER, 2014, p. 48)).	θ 35 – Não há problema em o professor apresentar algumas informações de maneira tradicional ao longo de uma iniciativa de ABP. No entanto, essas lições devem ocorrer por requisição dos alunos, devem ser poucas ao longo do projeto e devem ser muito curtas e altamente focadas em um tópico.
T36 – Orientar os estudantes sobre como avaliar	τ 36 – Série de questionamentos de caráter	θ 36 – “Diferentemente dos livros didáticos, cuja precisão tem sido

informações de diferentes fontes;	reflexivo apresentada no quadro 4.5 (BENDER, 2014, p. 90).	avaliada por especialistas, além de serem aprovados pelos comitês estaduais de currículo, as informações na internet não sofrem censura alguma e muitas delas são imprecisas ou enganosas. [...] Em uma era de sobrecarga total de informações, resgatar informações adequadas e avaliar sua precisão é extremamente importante” (BENDER, 2014, p. 90).
-----------------------------------	--	---

Quadro 9 - Criação, Desenvolvimento e Avaliação da Apresentação e Artefatos

T4 – Criar, desenvolver e avaliar a apresentação e os artefatos		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T41 – Orientar a criação e o desenvolvimento dos artefatos;	τ 41 – “[...] o professor passará por cada aluno da turma, ajudando, orientando, sugerindo recursos adicionais e, de modo geral, facilitando a aprendizagem” (Bender, 2014, p.64).	θ 41 – Com forte ênfase no envolvimento dos alunos em problemas e projetos que eles considerem válidos, o papel do professor no ensino na ABP é predominantemente o de facilitador;
T42 – Promover e acompanhar a reunião em que os grupos examinarão o seu progresso na apresentação e em cada artefato solicitado;	τ 42 – Diálogo do professor com cada grupo;	θ 42 – A reunião em grupo permite que o professor ofereça <i>feedback</i> verbal sobre o que o grupo cumpriu, o que foi concluído e o que ainda falta fazer.
T43 – Auxiliar no processo de avaliação formativa;	τ 43 – Fornecer questões orientadoras que permitam a reflexão sobre o que já foi desenvolvido;	θ 43 – A reflexão acerca de perguntas fundamentais permitirá a reflexão sobre o trabalho desenvolvido até então e, na maior parte dos casos, levando a informações adicionais que devem ser coletadas e incorporadas de alguma forma ao projeto;

Quadro 10 - Desenvolvimento da Segunda Fase da Pesquisa

T5 – Desenvolver a segunda fase de pesquisa		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T51 – Acompanhar e orientar a busca por informações que preencham as lacunas identificadas na reunião de avaliação dos grupos;	τ 51 – Orientação direta e personalizada sobre os conhecimentos ainda necessários para que cada grupo conclua suas tarefas;	θ 51 – Equipes diferentes podem ter buscado abordagens distintas para a resolução do problema geral e apresentarão variações em relação àquilo de que necessitam para concluir seus projetos. Os alunos podem se beneficiar de um <i>feedback</i> personalizado;

<p>T52 – Assessorar os grupos no gerenciamento do tempo disponível;</p>	<p>τ52 – Orientação direta e personalizada aos grupos sobre a otimização do tempo para a conclusão das tarefas;</p>	<p>θ52 – Deve-se evitar maiores mudanças na direção geral do projeto de ABP, pois, conforme as equipes se aproximam da fase final, é provável que o tempo alocado para o projeto fique bastante limitado;</p>
<p>T53 – Oferecer informações complementares sobre tópicos específicos;</p>	<p>τ53 – Minilições oferecidas pelo professor ou por palestrantes convidados;</p>	<p>θ53 – Não há problema em o professor apresentar algumas informações de maneira tradicional ao longo de uma iniciativa de ABP. No entanto, essas lições devem ocorrer por requisição dos alunos, devem ser poucas ao longo do projeto e devem ser muito curtas e altamente focadas em um tópico.</p>
<p>T54 – Solicitar a realização das tarefas individuais ainda não completadas;</p>	<p>τ54 – Solicitação direta ou outra técnica que seja mais adequada à realidade dos alunos;</p>	<p>θ54 – A técnica escolhida deve ser eficaz em mover os alunos a completar as tarefas ainda pendentes tendo em vista que “[...] as tarefas individuais solicitadas devem ser concluídas durante esta fase do projeto de ABP” (BENDER 2014 p.65).</p>

Quadro 11 - Desenvolvimento da Versão Final da Apresentação e dos Artefatos

T6 – Desenvolver a versão final da apresentação e dos artefatos;		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T61 – Orientar a incorporação dos dados da segunda fase de pesquisa à apresentação final e à versão final dos artefatos;	τ 61 – Diálogo direto ou outra técnica que seja mais adequada à realidade do projeto;	θ 61 – É fundamental que a comunicação nessa etapa seja eficiente, pois o projeto encontra-se em suas etapas finais e, portanto, “[...] deve-se fazer apenas mudanças que resultarão em uma melhora significativa” (BENDER, 2014, p. 65).
T62 – Assessorar os grupos em uma avaliação interna, formalmente estruturada, dos artefatos;	τ 62 – Apresentação e orientação quanto ao emprego da avaliação pelos colegas baseada em equipes, i. e., envolvendo apenas os membros do grupo. (a estrutura de avaliação pelos colegas é descrita no Capítulo 6) ⁷ ;	θ 62 – O trabalho em equipes é uma competência importante para os estudantes do século XXI, mas, apesar disso, muitos alunos não tiveram essa experiência anteriormente, o que pode fazer com que eles não tenham habilidade para esse tipo de avaliação.

⁷ Capítulo 6 - BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos**. Educação diferenciada para o século XXI. São Paulo: Ed. Penso, 2015.

Quadro 12 - Avaliação do projeto e dos alunos

T7 – Avaliar o projeto e os alunos		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T71 – Promover uma avaliação formativa;	τ 71 – Uso de rubricas de avaliação e de <i>webquests</i> ou outras técnicas coerentes com a profundidade esperada, com o nível de ensino e das limitações de tempo do projeto (BENDER, 2014, p. 21);	θ 71 – “Devido ao alto nível de especificidade exigido pelas rubricas, elas fornecem excelente orientação para os projetos de alunos dentro do <i>framework</i> da ABP e, por essa razão, devem ser compartilhadas com os alunos antes ou à medida que as tarefas de ABP forem realizadas” (BENDER, 2014, p. 133). De forma semelhante, as <i>webquests</i> fornecem orientação aos estudantes, pois costumam incluir “um mecanismo de avaliação que declare claramente as expectativas, e um método para resumir a experiência” (BENDER, 2014, p. 85).
T72 – Organizar as apresentações finais;	τ 72 – Agendamento das apresentações com os grupos;	θ 72 – Acertar as datas e ordem de apresentação com a participação dos grupos tende a desenvolver um senso de responsabilidade e de validação coletiva do processo de decisão;
T73 – Dirigir a avaliação final com a turma inteira;	τ 73 – Avaliação pelos colegas (não é a única opção, mas é a sugerida pelo autor);	θ 73 – É importante que os estudantes vivenciem a experiência de avaliar e ser avaliado por seus pares. Esse processo, se bem conduzido, permitirá a compreensão de que avaliar é fornecer oportunidades de melhorias no trabalho do colega;
T74 – Atribuir notas ou conceitos individuais;	τ 74 – Média ponderada dos diferentes instrumentos utilizados ao longo do projeto. São sugeridos diversos instrumentos de avaliação de caráter individual e coletivo, tais como: rubricas, autoavaliações (reflexivas, numéricas e/ou abertas), avaliação de colegas e avaliação de portfólio, além de questionamentos, individuais ou coletivos, durante os momentos de orientação ao longo do projeto;	θ 74 – As ações de ABP envolvem tarefas coletivas e individuais e oferecem a possibilidade de múltiplas avaliações ao longo do projeto, o que leva o autor a recomendar a combinação de notas de caráter individual e coletivo. Ele entende que a atribuição da nota deve celebrar e valorizar o trabalho do aluno ao longo de todo o projeto.

Quadro 13 - Publicação do Projeto

T8 – Publicar o projeto		
Subtipo de tarefa	Técnica	Tecnologia
T81 – Promover a publicação do projeto e de seus artefatos;	τ81 – “As oportunidades de publicação são limitadas apenas pela imaginação coletiva do professor e das turmas” (BENDER, 2014, p.53). O autor cita algumas opções para publicação, sem limitar-se a elas: YouTube e <i>website</i> da escola para artefatos em formato de vídeo, artigos em jornais para artefatos em formato de texto, envio de relatórios dos resultados do projeto aos representantes governamentais ou ainda apresentações para grupos de fora da escola, entre outras (no Quadro 3.3 da página 54 de Bender (2014) são apresentadas outras opções de publicação).	θ81 – A técnica escolhida deve levar em conta fatores como o tipo de artefato, o nível de exposição dos alunos e o interesse deles, já que o objetivo da publicação é, principalmente, a valorização do trabalho desenvolvido pelos alunos.

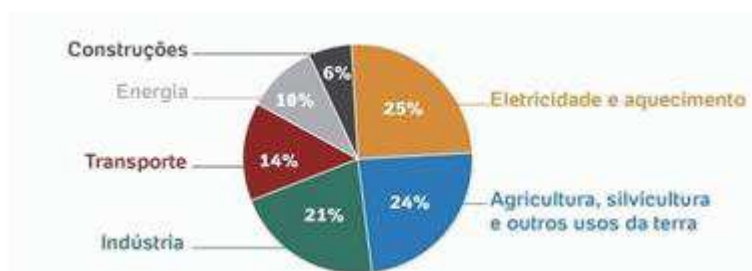
ANEXO B - TEXTOS DE APOIO QUE PODEM SER UTILIZADOS COMO ÂNCORA

TEXTO A - ENERGIA SOLAR

As emissões de gases de efeito estufa tem colocado o planeta em risco e causado mudanças drásticas no clima e conseqüentemente em toda fauna e flora. Algo que talvez você não saiba, é que no Ranking mundial de atividades econômicas que produzem os gases do efeito estufa, a eletricidade e o aquecimento são os campeões. A queima de carvão, gás natural e petróleo para gerar eletricidade ou aquecer representam 25% das emissões de todo o mundo.

Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável, as emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao uso da energia relacionadas ao uso de energia têm de diminuir em 70% até 2050 para que as mudanças climáticas fiquem limitadas a acréscimos na temperatura média global “significativamente abaixo” de dois graus celsius em comparação com os níveis pré-industriais.

Emissões globais dos gases do efeito estufa por setor econômico

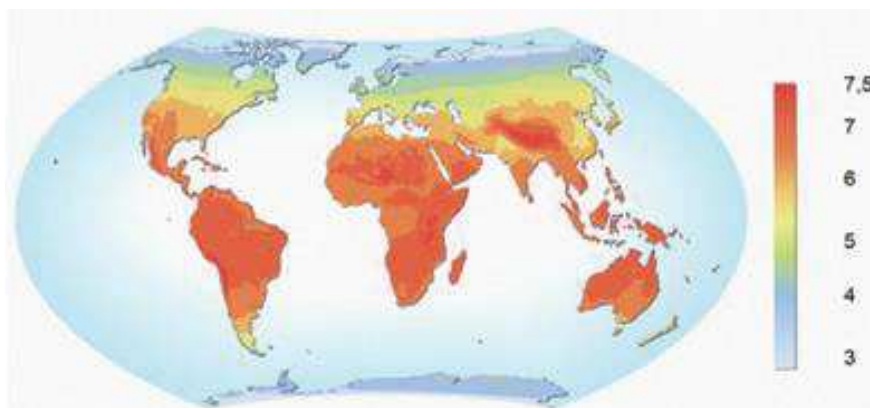


Fonte: IPCC (2014), baseado nas emissões globais de 2010. Arte UOL

Sabemos que o Sol é a fonte de energia primária mais abundante para nosso planeta. Num sentido bastante amplo, pode-se dizer que, com exceção da energia nuclear, todas as outras fontes, renováveis ou não, são apenas diferentes formas de energia solar.

Segundo **(Vichi e Mansor, 2009)**, a quantidade de radiação solar que atinge o planeta anualmente equivale a 7.500 vezes o consumo de energia primária de sua população.

Energia solar anual média ao nível do solo, 1983-2005-valores em kWh/m²/dia



Fonte: Nasa 2008

Os pesquisadores lembram ainda, que se apenas 0,1% da energia solar pudesse ser convertida com uma eficiência de 10%, ainda assim a energia gerada seria quatro vezes maior que a capacidade mundial total de geração de energia, que é de 3000 GW.

Além da utilização no aquecimento de água através de coletores solares, a energia solar pode ser usada para a geração de eletricidade através do uso de painéis fotovoltaicos, que convertem diretamente a energia solar em energia elétrica (energia solar fotovoltaica), ou pelo aquecimento de fluidos cujos vapores são usados para movimentar turbinas geradoras de eletricidade (energia solar térmica).

Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 757-767, 2009

Se apenas 0,1% da energia solar pudesse ser convertida com uma eficiência de 10%, ainda assim a energia gerada seria quatro vezes maior que a capacidade mundial total de geração de energia, que é de 3000 GW. A radiação solar que atinge anualmente a superfície da Terra, $3,4 \times 10^6$ EJ, é uma ordem de grandeza maior que a soma de todas as fontes não renováveis (provadas e estimadas), incluindo os combustíveis fósseis e nucleares.

TEXTO B - A CRISE DOS SEMICONDUTORES PODE ESTAR MAIS PRÓXIMA DE VOCÊ DO QUE IMAGINA

Todos nós, em algum momento nas últimas décadas, ouvimos falar sobre microprocessadores ou semicondutores. No entanto, geralmente associamos o seu conceito à altíssima tecnologia: foguetes, Nasa, grandes computadores, alto processamento, etc., mas isso não é correto. Eles estão muito mais na nossa vida do que pensamos.

Você sabia que a sua cafeteira programável usa muitos semicondutores? Os carros novos os utilizam tanto no motor quanto na interface de comunicação com celulares e aplicativos. Torradeiras, televisões, celulares, laptops, todos podem necessitar de um componente deste no seu desenvolvimento.

A fabricação desses componentes passa pela maior crise da história. Para se ter uma ideia, se um pequeno empresário que tem automação como principal negócio solicitar, pela internet, um componente desses em tempos normais, em oito semanas ele receberia a sua encomenda. Hoje, a demora pode chegar a 52 semanas, praticamente um ano. Imagine quantos negócios seriam inviabilizados com esta crise? O atraso também atinge grandes indústrias. A estimativa é de que 700 mil veículos deixarão de ser produzidos no mundo apenas por causa da escassez de um componente que não chega a custar US\$ 4. Detalhe: destes automóveis, 80 mil estão só na América Latina.

Impactos na inflação

E como se isso não bastasse, esta falta está influenciando a inflação nos Estados Unidos, não só nos aumentos de preços de carros novos pela escassez de oferta, mas também pelo aumento expressivo do preço de veículos usados. Aqui, no Brasil, uma grande companhia do setor paralisou a produção de duas grandes plantas em razão da insuficiência de peças.

Em uma análise mais simples, percebemos que a falta de um componente que raramente atinge US\$ 4 pode ter efeitos em inflação, renda, emprego e produção, bem como impacta diretamente empresas pequenas de tecnologia, startups e empreendedores individuais. E estamos falando apenas um setor, o automobilístico. Um gigante da tecnologia está pensando em adiar o lançamento de seu *smartphone* de ponta por falta de itens. Vários setores multiplicam os efeitos negativos dessa escassez.

Crise dos semicondutores

Portanto, vale a pena entendermos as causas dessa crise. Costumo chamar os semicondutores de “petróleo moderno”, tamanho o efeito e a complexidade geopolítica. Podemos, então, dividir a crise em causas estruturais e causas conjunturais.

Dentre as estruturais, podemos contar com a guerra tecnológica entre Estados Unidos e China, que prejudicou as cadeias globais de produção. E essa causa é reforçada por um agravante: Taiwan, via TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited), produz grande parte da oferta mundial, chegando a 80% dos semicondutores mais modernos. A ilha, ao sul chinês, é palco do maior conflito geopolítico da atualidade: a China não reconhece a

independência da região, e o governo autônomo, hoje, é alinhado com os norte-americanos. Um potencial conflito poderia piorar ainda mais a situação. Além disso, a construção e uma nova planta envolvem custo de bilhões de dólares. Só uma máquina custa centenas de milhões de dólares para a produção destes elementos, os quais podem levar mais de anos para serem construídos e necessitam de um Boeing 747 para o seu transporte. Isso sem contar dos efeitos terríveis da pandemia na produção.

Já os fatores conjunturais envolvem acontecimentos de curto prazo. O frio extremo no Texas, espécie de “Vale do Silício do Hardware” no país estadunidense, dizimou a produção naquele Estado. O semicondutor envolve um processo de produção delicado, em que pequenas variações de temperatura podem ter efeito devastador. No Japão, uma grande planta da Renesas pegou fogo e destruiu uma grande capacidade produtiva. Além disso Taiwan enfrenta a maior seca em 58 anos, e a produção destes componentes envolve a utilização de uma elevada quantidade de água de extrema pureza.

O que podemos esperar de agora em diante? Estes fatores conjunturais devem ser resolvidos prontamente, o que nos faz imaginar que estamos no pior momento possível e que o cenário deve melhorar de forma rápida, mas não completa. Aquelas 52 semanas de entrega, no início do artigo, podem voltar para 25 ou 30, mas vai levar tempo para chegar a oito. Isso vai depender do desdobramento do conflito sino-americano e de novos investimentos.

Esses novos investimentos já vêm acontecendo. Notícias de capital da Intel na ordem de US\$ 20 bilhões no Arkansas; da Bosch de US\$ 1,5 bilhão na Europa; da TSMC de US\$ 12 bilhões nos Estados Unidos; e do governo chinês em autossuficiência já foram anunciados. Os investimentos no país norte-americano são favorecidos por um projeto de conceder US\$ 54 bilhões em incentivos fiscais a fabricantes de processadores e semicondutores. As empresas estão pleiteando esses incentivos.

Contudo, a maturação deste dinheiro geralmente pode durar até dois anos. Assim, uma parte da escassez deve permanecer até lá, não tão grave, mas como resquício. Vamos ter de aprender a conviver com ela, inexoravelmente. Revezes do nosso tempo.

Publicado por
ANDRÉ SACCONATO

Economista da Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de São Paulo (FecomercioSP) e membro do Conselho de Economia Empresarial e Política da mesma instituição. PhD em Economia, Relações Governamentais e Ambiente de negócios, também é professor do MBA da FIA-USP

<https://www.contabeis.com.br/artigos/6754/a-crise-dos-semicondutores-pode-estar-mais-proxima-de-voce-do-que-imagina/> - em 23 de julho